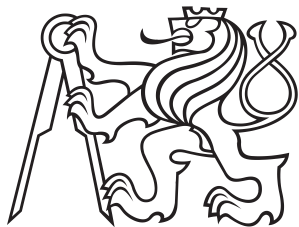


Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Inteligentní budovy

Obnovitelné zdroje a návrh fotovoltaického systému.

Bc. Jan Jakub Baroň

Vedoucí: Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.

Obor: Inteligentní budovy

Leden 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Baroň** Jméno: **Jan Jakub** Osobní číslo: **483421**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Obnovitelné zdroje a návrh fotovoltaického systému

Název diplomové práce anglicky:

Renewable sources and design of a photovoltaic system

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište druhy obnovitelných zdrojů energie a typy fotovoltaických elektráren.
- 2) Navrhněte fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm elektřiny a řídicí jednotkou a proveďte jeho optimalizaci.
- 3) Popište a navrhněte připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční soustavy.
- 4) Zhodnoťte celou FVE z technického a ekonomického hlediska.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BENDA, V. a kol. Obnovitelné zdroje energie. 1. vydání Praha: Profi press, 2012, 208 s. ISBN 978-808-6726-489.
- 2) HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vydání Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- 3) LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. Praha: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
- 4) SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 5., aktualizované a doplněné vydání Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3494-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D. katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **14.02.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **22.09.2024**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji Ing. Mgr. Vítu Kleinovi, Ph.D. za vedení mé práce, za podporu a pomoc při jejím zpracování. Děkuji také panu Ing. Pavlovi Baroňovi za přínosné konzultace a Bc. Martinovi Tůmovi za poskytnutí dronu k pořízení snímků realizace návrhu fotovoltaické elektrárny.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem veškerou použitou literaturu.

V Praze, 09. ledna 2024

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o dvou návrzích fotovoltaických instalací pro rodinný dům na konkrétní adrese. Nejdříve popisuje obnovitelné zdroje a jejich obecné využití. Dále se zaměřuje na různé typy fotovoltaických elektráren. V další kapitole jsou představeny oba návrhy fotovoltaické instalace a stručný popis jejich jednotlivých částí. Další kapitola zpracovává návrh připojení fotovoltaické elektrárny k distribuční síti. Poslední dvě části diplomové práce jsou zaměřeny na srovnání těchto dvou návrhů, a to po technické a ekonomické stránce. Pro tento účel jsou použita zvolená ekonomická kritéria s určujícím kritériem čisté současné hodnoty. Ta jsou vypočtena pomocí výpočetní tabulky vytvořené v programu Microsoft Excel.

Klíčová slova: obnovitelné zdroje, fotovoltaická elektrárna, akumulace energie, návrh fotovoltaické elektrárny, čistá současná hodnota

Vedoucí: Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky,
FEL ČVUT v Praze.

Abstract

The diploma presents two designs of photovoltaics installations for a family house on a specific address. At first it describes renewable sources and their usage. Later on the different types of photovoltaic plant are described. Then the two photovoltaic installations are presented with a brief description of their components. The next chapter is about designing the connection of the photovoltaic system into the grid. Last two parts of the diploma discuss the comparison of these two designs economically and technically. For this purpose the chosen economic criterions are used with the main focus on calculating the net present value. Microsoft Excel software was used for these calculations.

Keywords: renewable sources, photovoltaic power plant, accumulation of energy, design of photovoltaic plant, net present value

Title translation: Renewable sources and design of a photovoltaic system.

Obsah

Seznam zkratk	1	3.1.1 Hybridní fotovoltaické panely	22
1 Úvod	3	3.2 Fotovoltaiky na pozemcích	22
2 Obnovitelné zdroje	5	3.3 Koncentrované fotovoltaiky	23
2.1 Role obnovitelných zdrojů v dnešní energetice	5	3.4 Plovoucí fotovoltaiky	25
2.2 Typy obnovitelných zdrojů	6	4 Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům a jeho optimalizace	27
2.2.1 Větrná energie	6	4.1 Ideální umístění panelů	28
2.2.2 Geotermální energie	8	4.2 Optimalizace nabíjecích cyklů	29
2.2.3 Vodní energie	9	4.2.1 PWM regulátory	30
2.2.4 Biomasa	11	4.2.2 MPPT regulátory	31
2.2.5 Sluneční energie	13	4.3 FVE 1	31
2.2.6 Fotovoltaické elektrárny	16	4.3.1 Fotovoltaické panely	33
2.3 Současný stav OZE	18	4.3.2 Střídače	34
3 Typy fotovoltaických elektráren (fotovoltaiky)	21	4.3.3 Regulátor	35
3.1 Fotovoltaiky na střechách budov	21	4.3.4 Akumulátorové úložiště a regulace dobíjení	36
		4.4 FVE 2	37

4.4.1 Fotovoltaické panely	37	5.6.5 Fáze realizace	49
4.4.2 Střídač	38	5.6.6 Revize provedeného díla	50
4.4.3 Regulátor a akumulátorové úložiště	39	5.7 Návrh připojení fotovoltaické elektrárny k distribuční síti	50
5 Připojení FVE do distribuční soustavy	41	5.7.1 Výčet norem využitých pro uskutečnění návrhu připojení k distribuční síti	50
5.1 Systémy připojené k síti bez akumulace	41	5.7.2 Způsob technického řešení elektrických rozvodů od napojení fotovoltaické elektrárny po distribuční síť	52
5.2 Hybridní systémy	42	5.7.3 Zapojení prvků FVE do technologického celku	53
5.3 Ostrovní systémy	44	6 Technické a ekonomické zhodnocení navržených fotovoltaických elektráren	55
5.4 Zapojení fotovoltaických článků	45	6.1 Použitá ekonomická kritéria	55
5.5 Stínění a bypass diody	46	6.1.1 Tok hotovosti	55
5.6 Administrativně právní kroky k připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě	48	6.1.2 Diskontovaný tok hotovosti	56
5.6.1 Podání žádosti o připojení	48	6.1.3 Zůstatková hodnota zařízení	57
5.6.2 EAN kódy	48	6.1.4 Čistá současná hodnota	57
5.6.3 Ověření chodu sítě výpočtem nebo měřením	49		
5.6.4 Smlouva o připojení	49		

6.1.5 Vnitřní výnosové procento . . .	58
6.1.6 Reálná doba návratnosti	59
6.2 Ekonomické hodnocení projektu FVE 1	59
6.2.1 Přiznání dotační podpory . . .	59
6.2.2 Provozní výdaje a reinvestice	60
6.2.3 Výsledek ekonomického hodnocení projektu FVE 1	62
6.2.4 Citlivostní analýzy	65
6.3 Ekonomické zhodnocení projektu FVE 2	68
6.3.1 Výsledek ekonomického hodnocení projektu FVE 2	70
6.3.2 Citlivostní analýzy	71
6.4 Technické zhodnocení projektů FVE 1 a FVE 2	74
7 Závěr	77
A Bibliografie	79

Obrázky

2.1 Pole s větrnými elektrárnami. . . .	6	2.12 Výroba elektřiny brutto v ČR za rok 2021	19
2.2 Výkonová charakteristika větrné elektrárny Vestas 90.	7	2.13 Přírůstek nových fotovoltaických elektráren podle krajů v roce 2022	20
2.3 Schéma tepelného čerpadla.	8	3.1 Hybridní fotovoltaický panel. Převzato z [24]	22
2.4 Schéma Francisovy turbíny.	10	3.2 Fotovoltaická elektrárna Ralsko a Mimoň. Převzato z [25]	23
2.5 Schéma Peltonovy turbíny.	10	3.3 Čip koncentrované fotovoltaiky. Převzato z [28]	24
2.6 Možnosti energetického využití biomasy.	11	3.4 Noor Quartazate Solar Complex, největší fotovoltaická elektrárna světa, Maroko. Převzato z [29]	24
2.7 Přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně	14	3.5 Plovoucí fotovoltaická elektrárna na jezeře Silbersee III [33]	26
2.8 Závislost účinnosti generace η nerovnovážných nosičů slunečním zářením na šířce, resp. potřebné energii E_z na průchod zakázaného pásu polovodiče pro spektrum AM 1,5.	17	4.1 Rodinná dřevostavba na adrese Bezručova 1264/8. Zdroj: Vlastní	27
2.9 Náhradní schéma fotovoltaického článku.	18	4.2 Střecha zahradního domku osazená panely z návrhu FVE 1. Zdroj: Vlastní	29
2.10 Výroba elektrické energie z OZE	18	4.3 Výnos energie fotovoltaických panelů v závislosti na natočení a sklonu modulu. Zdroj: [35]	29
2.11 Vývoj výroby elektřiny OZE . .	19		

4.4 Rozložení pulzů PWM regulátoru se střední hodnotou 75% (vyznačeno červeně). Zdroj: [36]	30	4.13 Měnič Solinteg hybridní třífázový MHT-10K-25. Zdroj: [39]	39
4.5 Vliv osvitů a teploty fotovoltaického panelu na výkon. Zobrazení maximálního bodu výkonu (MPP) Zdroj: [36]	31	4.14 Pylontech Controlbox FC0500M-40S-V2 s akumulátory FORCE H2 FH9637M HV 3,5kw. Zdroj: [s.r.o._2023]	40
4.6 Obě fotovoltaické instalace na adrese Bezručova 1264/8. Zdroj: Vlastní	32	5.1 Zjednodušený diagram on-grid připojení fotovoltaického systému k distribuční síti. Zdroj: Vlastní	42
4.7 Upravený snímek z katastru nemovitostí adresy Bezručova 1264/8.	32	5.2 Zjednodušený diagram možného hybridního připojení fotovoltaického systému k distribuční síti. Zdroj: Vlastní	43
4.8 Panel JA Solar: JAM72S20 455/MR s černým rámem Mono.	33	5.3 Zjednodušený blokový diagram ostrovního fotovoltaického systému. Zdroj: [36]	45
4.9 Victron Multiplus II 48/5000 VA/50A. Zdroj: https://www.4solar.cz	34	5.4 Skladba fotovoltaického pole, stringu a modulu. Zdroj: [44]	46
4.10 Victron Smart Solar RS 450/200-Tr. Zdroj: www.batterysset.com	35	5.5 Schéma zapojení obtokové (bypass) diody. Zdroj: [45]	47
4.11 Akumulátorový rack pro LiFePO baterie PylonTech US 3000B 48V 3,55 kWh. Zdroj: Vlastní.	36	5.6 VA charakteristika solárního panelu s bypassovými diodami přes různý počet článků ($E = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 300 \text{ K}$). Zdroj: [45]	47
4.12 Fotovoltaický panel Huasun HJT 460 Wp. Zdroj: [38]	38		

6.1 Vývoj toku hotovosti projektu FVE 1 v čase.	64
6.2 Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na diskontní sazbě projektu FVE 1. . .	65
6.3 Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na prodejní ceně elektrické energie projektu FVE 1.	66
6.4 Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na investičních nákladech projektu FVE 1.	67
6.5 Vývoj toku hotovosti projektu FVE 2 v čase.	71
6.6 Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na diskontní sazbě projektu FVE 2. . .	72
6.7 Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na prodejní ceně elektrické energie projektu FVE 2.	73
6.8 Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na investičních nákladech projektu FVE 2.	74

Tabulky

2.1 Výhřevnost štěpky podle vlhkosti.	12
2.2 Výhřevnost slámy z obilnin a řepky olejky.	12
4.1 Základní parametry panelu HCM72x9 410 Wp perc (STC)....	33
4.2 Základní parametry střídače Victron Multiplus II 48/5000 VA/50A	34
4.3 Základní parametry regulátoru Victron Smart Solar RS 450/200-Tr.	35
4.4 Základní parametry akumulátorů PylonTech US 3000B 48V 3,55 kWh.	37
4.5 Základní parametry panelu Huasun HJT 460 Wp	38
4.6 Základní parametry měniče Solinteq MHT-10K-25	39
4.7 Základní parametry akumulátorového boxu FORCE H2 FH9637M HV	40

6.1 Rozpočet projektu FVE 1. V rozpočtu jsou započteny jen 4 kusy akumulátorů, jelikož jeden byl získán jako dar (ve výpočtu s ním není počítáno).	61	6.9 Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na prodejní ceně elektrické energie pro projekt FVE 2.	73
6.2 Finální výpočetní tabulka ekonomických kritérií projektu FVE 1.	63	6.10 Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na investičních nákladech projektu FVE 2.	74
6.3 Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na výši diskontní sazby projektu FVE 1. . . .	65		
6.4 Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na prodejní ceně elektrické energie projektu FVE 1.	66		
6.5 Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na investičních nákladech projektu FVE 1.	67		
6.6 Finální výpočetní tabulka ekonomických kritérií projektu FVE 2.	69		
6.7 Rozpočet projektu FVE 2.	70		
6.8 Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na výši diskontní sazby projektu FVE 2. . . .	72		

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
AC	Alternating current, střídavý proud
AM	Air mass, objem vzduchu
CA	Citlivostní analýza
CF	Cash flow, tok hotovosti
Cu	Cuprum, měď
ČSN	Československá státní norma, nyní označuje technické normy ČR
ČR	Česká republika
DC	Direct current, stejnosměrný proud
DPH	Daň z přidané hodnoty
EAN	European article number, evropský výrobní identifikační kód
FVE	Fotovoltaická elektrárna
IRR	Internal rate of return, vnitřní výnosové procento
MPP	Maximum power point, bod maximálního výkonu
MPPT	Maximum power point tracker, sledovač maximálního bodu výkonu
NN	Nízké napětí
NOCT	Nominal operating cell temperature, nominální provozní teplota článku
NPV	Net present value, čistá současná hodnota
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PV	Photovoltaic, fotovoltaický
PWM	Pulse width modulation, pulzně šířková modulace
RD	Rodinný dům
SCC	Solar charge controler, regulátor nabíjecích cyklů
STC	Standard test condition, standardní testovací podmínky
VN	Vysoké napětí

Kapitola 1

Úvod

Potřeba elektrické energie je v dnešní době již neodmyslitelně spojena s naším každodenním životem. Každým rokem tato potřeba narůstá a jelikož většina energie stále pochází z fosilních neobnovitelných zdrojů, jejichž rezervy se stále tenčí, je třeba hledat náhradu za tyto zdroje. Takovou náhradou mohou být obnovitelné zdroje energie využívající energii Slunce, které na rozdíl od fosilních paliv neznečišťují svým provozem okolní prostředí a nezpůsobují při výrobě elektrické energie úniky plynů, jako jsou dusík, síra nebo oxid uhličitý. Nicméně je třeba si uvědomit, že na výrobu těchto technologií jsou ve značné míře také používána fosilní paliva, která životní prostředí zatěžují. Hlavním přínosem rodinných fotovoltaických elektráren je výroba energie v místě jeho spotřeby. Tímto se z části eliminuje potřeba distribuce elektrické energie na dlouhé vzdálenosti, která s sebou vždy přináší ztráty. U větších objektů lze energetické samostatnosti dosáhnout jen těžko, ovšem i zde mohou fotovoltaické systémy výrazně snížit potřebu elektrické energie z distribuční sítě.

Cílem této diplomové práce je vytvořit dva kompletní návrhy fotovoltaických systémů pro konkrétní objekt a jejich následné technické a ekonomické. V práci jsou popsány jednotlivé prvky, ze kterých se fotovoltaický systém skládá, a také je zde navrženo připojení systému k distribuční soustavě podle zákona č. 458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon).

Výsledek této práce může přinést poznatky pro optimalizaci návrhů dalších FVE a zároveň může posloužit jako doporučení pro širší veřejnost při realizaci fotovoltaické elektrárny na jejich objekt. Dalším přínosem je v neposlední řadě také podpora rozvoje obnovitelných zdrojů.

Typografická poznámka:

V celé práci jsou využívána dvě slovní spojení pro označení akumulátorového uložení: bateriové uložení a akumulátorové uložení. Technicky správně je pouze varianta akumulátorové uložení, ale tato varianta se příliš nepoužívá

v běžných textech a i v akademických textech je často zaměňována právě pojmem bateriového uložení.

Kapitola 2

Obnovitelné zdroje

2.1 Role obnovitelných zdrojů v dnešní energetice

V současné době je lidstvo stále závislé na energii z fosilních paliv, jako je uhlí, zemní plyn a ropa. Rezervy těchto neobnovitelných zdrojů jsou ovšem vyčerpávány příliš rychle [1]. Například zásoby uhlí byly v posledních sto padesáti letech sníženy natolik, že se jejich vyčerpání očekává v druhé polovině tohoto století [2]. Docházejí i rezervy ostatních zmíněných paliv, a proto se musí dovážet na větší vzdálenosti, což negativně ovlivňuje jejich cenu a zvyšuje jejich dopad na životní prostředí planety. Spalování těchto paliv totiž doprovází vznik oxidu uhličitého, dusíku a síry. Tyto plyny jsou významnými činiteli skleníkového efektu, který má za důsledek ohřívání planety, což způsobuje mnoho dalších negativních změn [3].

Obnovitelné zdroje energie jsou takové, které se nevyčerpají. Obnovují se samovolně nebo s pomocí člověka. Mezi tyto zdroje patří geotermální energie, biomasa a energie slunce, větru a vody. Všechny tyto zdroje energie mají společných několik výhod. Jsou ekologicky šetrné, neznečišťují svým provozem ovzduší, půdu či vodu a nevytváří skleníkové plyny. Dále poskytují pro investory určitou míru nezávislosti na veřejné energetické síti, to ovšem platí jen pro správný návrh systému, který musí být povětšinou velmi předimenzovaný, aby zajistil opravdovou nezávislost. Lze využít kombinaci jednotlivých obnovitelných zdrojů, a tak dosáhnout nezávislosti šetrnějším způsobem. Poslední výhodou těchto zdrojů jsou zpravidla jejich nízké náklady na provoz z důvodu využití přírodních médií.

Nevýhodou je nespolehlivost těchto zdrojů a tedy potřebná akumulace či přizpůsobení spotřeby zásobovaného objektu. Zpravidla levný provoz pak často doprovází vysoké pořizovací náklady pro technologie na získávání energie z obnovitelných zdrojů. Další mínus pak může být zábor velkých plošných území pro výstavby elektráren využívající obnovitelné zdroje.

2.2 Typy obnovitelných zdrojů

2.2.1 Větrná energie

Nerovnoměrným zahříváním povrchu Země a vzduchových vrstev vznikají rozdílné tlakové vrstvy. Vyrovnáváním těchto tlakových vrstev říkáme proudění vzduchu neboli vítr. Toto proudění větru lze využít k výrobě elektřiny. Větrné turbíny jsou instalovány na otevřených místech, kde je dobrý přístup k větru, jako jsou například hřebeny hor, pobřeží nebo otevřené pláně. Větrné turbíny se skládají z velkých lopatek, které jsou umístěny na vysoké věži. Když vítr fouká, lopatky se začnou otáčet a pohání generátor, který produkuje elektrickou energii.

Často jsou také zmiňovány některé nevýhody výstavby větrných elektráren. Větrné turbíny mohou být velké a tedy náročné na instalaci, což může být nákladné a může vyvolat obavy z vizuálního znečištění krajiny [4] (posuďte sami 2.1). Větrné turbíny také mohou mít vliv na místní faunu a flóru a



Obrázek 2.1: Pole s větrnými elektrárnami. Zdroj: Fotolia.com.

mohou být rušivé pro místní obyvatele, kteří žijí poblíž. Navzdory těmto nevýhodám je větrná energie stále populární zdroj energie po celém světě. Zlepšující se technologie a snižující se náklady pomáhají větrné energii stávat se konkurenceschopnější, a to zejména v oblastech s vysokým větrným potenciálem. Mezi vedoucí země ve využití větrné energie patří Čína a Spojené státy, z evropských zemí je to Španělsko, Dánsko a Německo [5].

Větrné turbíny fungují na principu snižování rychlosti proudění vzduchu kolem nich, absorpci této kinetické energie proudu vzduchu do kinetické energie pohybu lopatek (rotoru) elektrárny. Pro kinetickou energii E_k pohybujícího

se vzduchu, resp jeho hmoty, platí rovnice:

$$E_k = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}\rho Vu^2, \quad (2.1)$$

kde m je hmotnost vzduchu [kg], u je jeho rychlost [$m \cdot s^{-1}$], ρ je hustota [$kg \cdot (m^3)^{-1}$] a V objem [m^3].

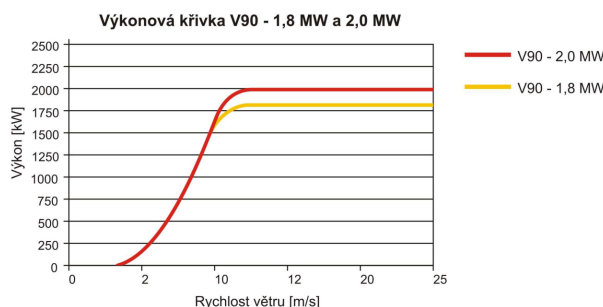
Kdybychom dokázali využít 100 % kinetické energie větru, proudícího jednotkovou plochou kolmou na směr proudění, platila by následující rovnice:

$$P = \frac{1}{2}\rho u^3, \quad (2.2)$$

kteřá udává tzv. hustotu výkonu větru P [$W \cdot m^{-4}$]. Pro funkci v reálném světě již zmíněnou rovnicí 2.2 musíme upravit následujícím způsobem:

$$P = \frac{1}{2}c_p S \rho u^3, \quad (2.3)$$

kde S je plocha [m^2] kterou opíší lopatky elektrárny při plné otočce a c_p je součinitel výkonu [%]. Teoretická maximální hodnota c_p je 0,593, jedná se o tzv. Betzův limit, reálné hodnoty c_p se však pohybují do 0,5. Není totiž pravda, že čím rychleji by vítr foukal, tím více energie by turbína vyráběla. Nárůst výkonové křivky typické větrné elektrárny (Vestas V90) lze vidět na



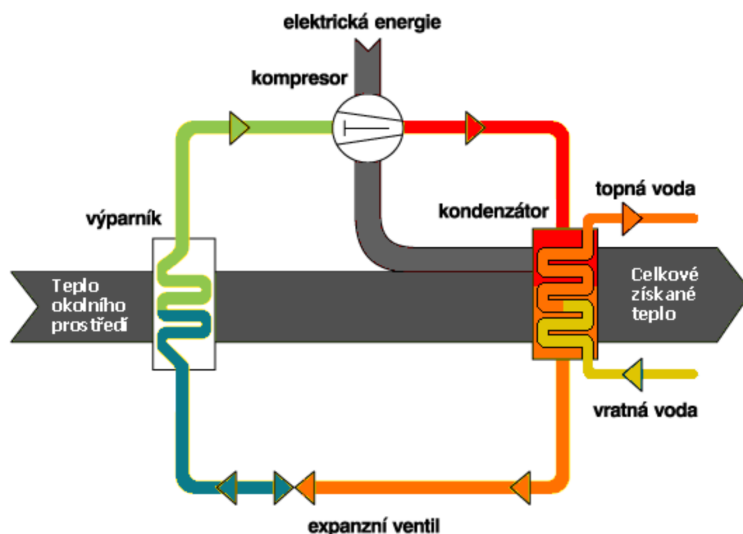
Obrázek 2.2: Výkonová charakteristika větrné elektrárny Vestas 90. Na vodorovné ose je rychlost větru v [$m \cdot s^{-1}$] a na svislé ose výkon P [kW] Zdroj: [6].

obrázku 2.2, a to ve dvou provedeních 2 MW a 1,8 MW. Zde vidíme, že výkon začne narůstat u rychlosti větru $4 m \cdot s^{-1}$ a dosáhne svého maxima mezi 10 a $15 m \cdot s^{-1}$. Dále již pak výkon s rychlostí větru nestoupá. Pokud dojde k situaci, že rychlost větru přesáhne mez $25 m \cdot s^{-1}$, jsou elektrárny z bezpečnostních důvodů vypínány [7].

2.2.2 Geotermální energie

Geotermální energie je energie, která je získávána z tepla, které se přirozeně vyskytuje v zemi. Zdrojem tohoto tepla je jádro Země. Je získávána obvykle za pomoci geotermálních vrtů, které jsou hluboké i několik kilometrů pod zem. Do těchto vrtů jsou následně svedeny trubky, kterými je vedeno teplotnosné médium (obvykle voda). To je tímto způsobem ohříváno a dále využíváno, jako například zdroj teplé vody. Pokud je jako teplotnosné médium použita voda, často překračuje v procesu bod varu. Takto vzniklá pára může být využívána například pro chod turbín a následné generování elektrické energie, či opět pro distribuci tepla.

Geotermální energie je na většině území považována za nízkoteplotní zdroj (do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Z toho důvodu je často využívána s tepelnými čerpadly. To jsou stroje, které mohou získávat energii z okolního prostředí (vzduch, podzemní a povrchová voda, horniny, zemina) a předávat ji do otopného systému vytápěného objektu. Schéma tohoto stroje je na obrázku 2.3. Jedna z nevýhod



Obrázek 2.3: Schéma tepelného čerpadla. Zdroj: [8].

této metody získávání elektřiny a tepla je nutnost kvalitního geologického průzkumu. Je třeba zjistit, jaké podloží se v dané lokalitě nachází, zda nebude vrt v dlouhodobém časovém horizontu chladnout důsledkem jeho využívání a zda výkopové práce neovlivní stavby a spodní vodu v okolí.

O geotermální energii se často vedou diskuze, zda je opravdu obnovitelná [9], ovšem tyto pochyby jsou jen nepochopením slov obnovitelná a udržitelná. Obnovitelný zdroj je takový, který se časem zpět samovolně obnovuje a

můžeme z něj znovu získávat energii. Pojem obnovitelný je jasně definován českým zákonem č. 17/1992 Sb. o životním prostředí. Udržitelnost je způsob získávání energie: Tedy zda získáváme z daného zdroje energii způsobem, který nám jej nezničí.

Geotermální vrty mají svou vydatnost v závislosti na hloubce a umístění vrtu. Pokud budeme dlouhodobě čerpat větší množství energie nad vydatnost takového vrtu, bude postupně chladnout. Pokud budeme odebírat stejné množství i nadále, vrt přestane plnit svůj účel a jeho ohřev média bude zanedbatelný. To je příkladem neudržitelného hospodaření s geotermální energií.

■ 2.2.3 Vodní energie

Vodní energie je jedním z nejstarších a nejvíce využívaných zdrojů obnovitelné energie na světě. Je to energie, která se získává z pohybu vody, a to z toků řek, energie přílivu a odlivu, z přehradních nádrží, přečerpávacích elektráren a gravitačních vírů [10]. Získávání energie z vody využívá principu turbíny. Turbíny se rozdělují na rovnotlaké (akční) a přetlakové (reakční)[7]. Přetlakových turbín existuje více druhů, mezi dvě neznámější patří turbíny Francisova a Kaplanova.

Francisova turbína je nejpoužívanější turbínou na světě a je navržena pro střední spád vody a střední průtok.

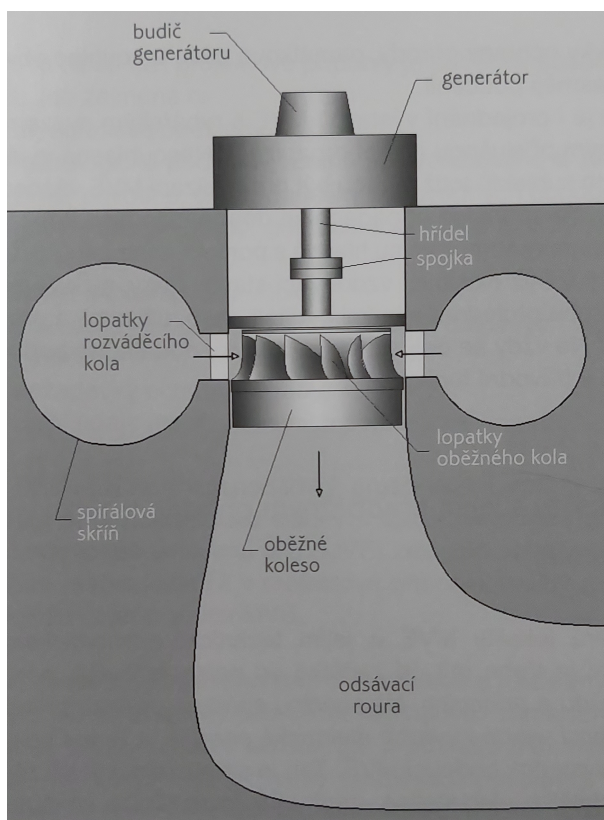
Velkou výhodou tohoto typu turbíny je její možnost přepínání mezi generátorem a čerpadlem [11]. Z tohoto důvodu je používána v přečerpávacích elektrárnách pro stabilizaci veřejné elektrické sítě. Největší přečerpávací elektrárna v České republice, Dlouhé stráně, využívá dvě tyto turbíny, které jsou zároveň největšími reverzními turbínami v Evropě a druhými největšími na světě [12]. Její schéma je zachyceno na obrázku 2.4.

Druhou populární turbínou je Kaplanova turbína. Tato turbína je navržena pro nízký spád vody a velké průtoky. Z tohoto důvodu je zpravidla využívána ve spodních tocích velkých řek. Oproti Francisově turbíně má vyšší účinnost, ale je výrazně složitější a dražší [13].

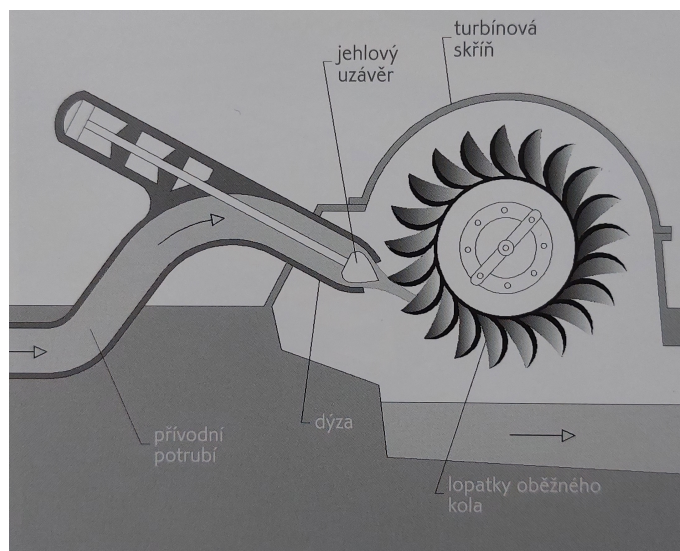
Mezi zástupce rovnotlakých turbín můžeme uvést například Peltonovu a Bánkiho turbínu. Tento typ turbíny využívá oběžné kolo umístěné nad dolní hladinou přírodního kanálu jak je vidět na obrázku 2.5.

Výpočet teoretického výkonu vodních turbín je dle rovnice:

$$P_t = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot t \cdot H}{t} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (2.4)$$



Obrázek 2.4: Schéma Francisovy turbíny. Zdroj: [7].



Obrázek 2.5: Schéma Peltonovy turbíny. Zdroj: [7].

kde Q je průtok turbínou [$m^3 \cdot s^{-1}$], ρ je hustota vody [$kg \cdot m^{-3}$], g je gravitační konstanta [$m \cdot s^{-2}$], H je výškový rozdíl hladin (také spád) [m] a t je čas [s]

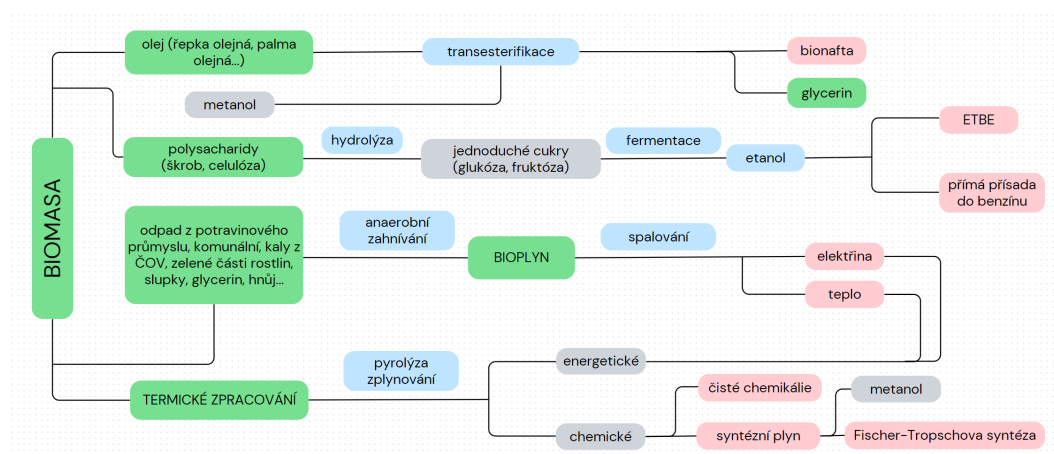
2.2.4 Biomasa

Biomasa je obnovitelný zdroj energie, který se získává z rostlinné nebo živočišné hmoty. Tato hmota může být jak organická, tak anorganická. Biomasa se využívá k výrobě tepla, elektřiny, biopaliv a dalších produktů.

Rostlinná biomasa může být získávána z různých zdrojů, jako například dřevěná štěpka, dřevěné piliny, sláma, cukrová třtina, řepka olejná, kukuřice, pšenice, řepa a další plodiny. Živočišná biomasa může být získávána z odpadů z chovu hospodářských zvířat, jako je hnůj a odpadní materiál z masného průmyslu.

Biomasa může být využívána k výrobě tepla a elektřiny pomocí spalovacích kotlů, parních turbín a dalších zařízení. Využití biomasy k výrobě tepla a elektřiny je běžné v mnoha zemích jako jsou Švédsko, Německo a Finsko.

Další způsob, jak se využívá biomasa, je výroba biopaliv. Biopaliva jsou paliva, která jsou vyráběna z biomasy, jako jsou bioetanol, biodiesel a bioplyn. Tyto biopaliva se používají jako alternativa k tradičním palivům, jako je benzin a nafta. Biomasa může být využívána také jako příměs do tradičních paliv. Další využití biomasy jsou na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6: Možnosti energetického využití biomasy. Zdroj: Vlastní.

Důležitým palivem v České republice získávaným z lesní biomasy je dřevní štěpka. Výhřevnost dřevní štěpky je ovlivněna jejím původem, složením a hlavně vlhkostí. V tabulce 2.1 lze vidět, jak klesá výhřevnost štěpky s narůstající vlhkostí.

Podobným u nás využívaným palivem, jako je štěpka, je sláma olejnin a obilnin. Tyto zbytky po rostlinné výrobě jsou z části využívány jako stelivo a krmivo pro živočišnou výrobu, část se využívá jako hnojivo pro další rostlin-

Stav štěpky	Obsah vody (%)	Výhřevnost (MJ/kg)
Čerstvá	55	7
Zavadlá	40	10,5
Polosuchá	30	12,2
Suchá	20	15

Tabulka 2.1: Výhřevnost štěpky podle vlhkosti. Zdroj: CZ Biom.

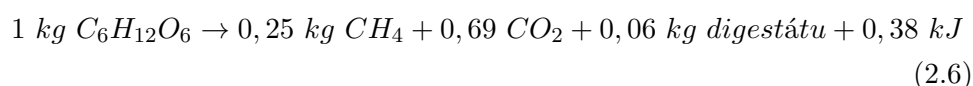
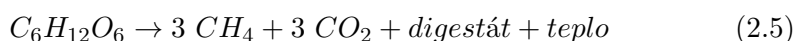
nou výrobu a zbytek je možné využít pro výrobu biomasy. V tabulce 2.2 je uvedena výhřevnost slámy z obilnin a řepky olejky.

Plodina/měsíc sklizně	Výhřevnost (MJ/kg)	Vlhkost (%)	Průměrný výnos (t/ha)
Sláma obilnin/ VII.–X.	14	15	4
Sláma řepky olejky/ VII.	13,5	17–18	3

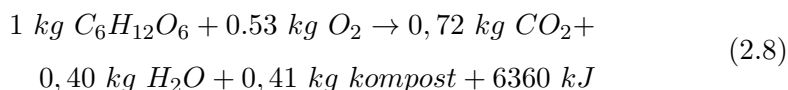
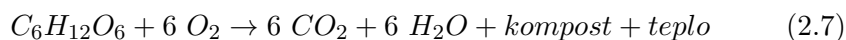
Tabulka 2.2: Výhřevnost slámy z obilnin a řepky olejky. Zdroj: CZ Biom.

Biomasa určená k energetickým účelům (Fytomasa, organické odpady živočišného původu či směsi různých druhů odpadní biomasy) lze využít jakožto vstupní surovinu pro výrobu bioplynu. Ten se vyrábí dvěma způsoby: anaerobní fermentací nebo aerobní fermentací. Rozdíl mezi nimi nám pomůže znázornit následující příklad [7] na glukóze $C_6H_{12}O_6$.

Anaerobní rozklad glukózy:



Aerobní rozklad stejné glukózy:



Z příkladu 2.8 je patrné, že pokud chceme získat více bioplynu a tepla, využijeme aerobní proces fermentace. Pokud chceme naopak více kompostu a méně energie, je lepší zvolit anaerobní proces fermentace. V praxi se často v bioplynových stanicích tyto dva procesy výhodně kombinují [7].

■ 2.2.5 Sluneční energie

Sluneční energie je jeden z nejsilnějších přirozených zdrojů, které mohou být využity pro produkci elektřiny. Sluneční energii lze také využívat k ohřevu teplé vody či chlazení budov. Tato využití jsou souhrnně pojmenována jako solární systémy. Nejprve je třeba se seznámit s následující pojmy pro lepší pochopení výhod a nevýhod jednotlivých technologií pro získávání tepla či elektřiny za pomoci Slunce[14].

- **Transformovatelnost** energie chápeme jako schopnost přeměny energie z jednoho druhu na druhý. Právě tato vlastnost je jednou z velmi dobrých schopností elektrické energie. Právě proto je v dnešní době tolik využívanou energií. Díky elektromotoru lze z elektřiny získat mechanickou práci s účinností okolo 95 %. Přeměna na teplo je realizovatelná s účinností téměř 100 % díky elektrickým topným spirálám.

V transformovatelnosti tedy vede elektrická energie nad přenosem tepla. To už tak snadno přenášet nejde, jak nám napovídá druhý termodynamický zákon, jehož znění je následovné: "Nelze sestrojít periodicky pracující stroj, který by odebíral teplo ze zásobníku a konal tomuto teplu ekvivalentní práci."

Důvodem je neschopnost využití tepla v případě, kdy je teplota stroje blízká teplotě okolí. Zjednodušeně řečeno, čím vyšší je rozdíl okolní teploty ku teplotě v samotném systému, tím vyšší je transformovatelnost, a tedy i účinnost takového systému. Příkladem z praxe může být vyšší účinnost dieslového motoru oproti motorům benzínovým, a to právě z důvodu vyšší teploty při spalování paliva a tedy lepší schopnosti transformovat energii z paliva do hnací síly motoru.

- **Akumulovatelnost** je schopnost ukládat energii pro pozdější využití. Ačkoliv již existuje mnoho technických řešení a způsobů akumulace různých forem energií, stále je řešení této schopnosti Achillovou patou energetiky [15]. S akumulací totiž vždy přichází ztráty a bohužel navzdory všemožným snahám o vytváření nových revolučních technologií jsou tyto ztráty při ukládání a následném čerpání z akumulčních prostředků stále nemalé.

Přesto se bez možnosti akumulace jen velmi těžko obejdeme, a to z důvodu našich životních návyků. K tomuto tématu se ještě vrátíme později v této práci. Při hodnocení akumulovatelnosti tepla a elektrické energie

je třeba totiž zahrnout i ekonomický náhled na daná řešení. Čistě z technického hlediska dokážeme vyrábět technologie schopné velmi dobře akumulovat energii například tepelnou v podobě akumulární nádoby, ovšem náklady na výstavbu takové nádoby by se nám za její životnost nikdy nevrátily. Je třeba tedy přistupovat k řešením, která mají z fyzikálního hlediska horší vlastnosti a větší ztrátovost energie v procesu akumulace, ale jsou levnější a dostupnější pro výrobu.

Elektrickou energii lze obecně akumulovat velmi špatně, především ve větších objemech a na delší dobu. Momentálním řešením akumulace větších objemů jsou přečerpávací elektrárny. Nejznámější takovou elektrárnou v České republice je přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně 2.7. Pro malé objemy akumulace elektrické energie se v dnešní době používají



Obrázek 2.7: Horní nádrž vodní přečerpávací elektrárny Dlouhé stráně. Zdroj: m-ARK, Olomoucký kraj.

hlavně akumulátory na chemické bázi, ovšem ty také nejsou z technického hlediska dobré pro dlouhodobé a velkoobjemové uchování energie. Jejich výhodou je nesporně mobilita či pomoc při zajištění nepřetržitých dodávek elektrické energie do systému. Ovšem pro větší objemy energie s nimi nelze efektivně pracovat, jelikož by takové řešení bylo velmi neekonomické z důvodu velkých ztrát, kdy se při nabíjecím a vybíjecím cyklu akumulátoru ztrácí až pětina energie [16] (ta se z většiny přemění na energii tepelnou).

- **Transportovatelnost** lze rozdělit na dvě kategorie, a to lokální a globální. Teplo má smysl transportovat pouze lokálně, nedochází tedy k

oddělení výrobního a spotřebního místa tak jako u globálních transportů energie. Tepelné rozvody (sítě) je totiž třeba velmi dobře izolovat, aby vznikaly co nejmenší ztráty na cestě rozvodu. Také je třeba zajistit cirkulaci teplotnosné látky a je tedy často třeba stavět dvě potrubí. I zde Česká republika vyčnívá a to z důvodu jednoho z nejdelších horkovodů na světě, který měří 34 km a vede z uhelné elektrárny v Mělníku až do Prahy. Dalším velmi dlouhým horkovodem na našem území je horkovod z Temelína do Českých Budějovic, který měří 26 kilometrů. Toto jsou ale spíše výjimky, horkovody jsou jinak běžně užívány na vzdálenost maximálně několik kilometrů [14].

Naopak elektrická energie se transportuje velmi dobře. Z tohoto důvodu byla vybudována tak hustá elektrizační síť po celém světě, která využívá princip transformování energie mezi proudem a napětím. Jelikož při vysokých napětích (minimálním proudu) vznikají na vedení jen malé ztráty (ztráty celé elektrizační sítě se pohybují mezi 5-9 % [14]). Na místech odběru je pak zpět energie transformována na NN a dále využívána.

- **Spolehlivost** dodávky energie je zajištěná mírou rezervních zdrojů energie. Liší se ve své regulační schopnosti tedy schopnosti rychle reagovat na poptávku energie v daný okamžik. Při vysoké poptávce po elektrické energii jsou tyto lehce regulovatelné zdroje (přečerpávací elektrárny a paroplynové elektrárny) nejsnazší variantou pro regulaci distribuční sítě. Poptávka se dynamicky mění každou vteřinou, a jak už bylo vysvětleno, je třeba v ideálním případě vyrábět jen tolik, kolik je momentální potřeba na straně odběratelů. Přebytkovou energii je možné ukládat do akumulacních zařízení jako jsou chemická akumulátorová úložiště, ovšem vždy za cenu určitých ztrát. Chemické akumulátory se používají pro menší objemy energie, pro akumulaci většího množství energie se u nás využívají například Dlouhé stráně (obrázek 2.7), přečerpávací vodní elektrárna. Tato elektrárna slouží jako největší regulační prvek v naší elektrizační síti. Při odběrových špičkách lze snadno regulovat průtok této elektrárny a získat tak více či méně elektrické energie. Při přebytečné energii je tato energie využita pro přečerpávání spodního rezervoáru vody opět nahoru do horní nádrže, odkud může být znovu využita k výrobě elektrické energie.

Elektrárny získávající energii ze slunce a potažmo větru jsou pro správce elektrizačních soustav hůře regulovatelné z důvodu jejich nestability (závislosti na vlivech počasí). Jejich nestabilitu musí dorovnávat ostatní

stabilní zdroje energií nebo je třeba jejich přebytečnou energii skladovat pro využití v pozdějších odběrových špičkách či při nedostatečném aktuálním výkonu. Ten nastává například z důvodu procházejících mraků nad fotovoltaickými elektrárnami za mlhy, či bezvětrného počasí na území větrných elektráren.

Tyto výkyvy jsou momentálně velmi aktuálním tématem společnosti. Je několik přístupů a strategií, které mají za cíl je snížit, případně kompletně eliminovat. Jedním z možných řešení je inteligentní řízení spotřeby, kterému se budeme věnovat dále v této práci. Dalšími možnými způsoby jsou například komunitní energetika (sdílení vyrobené energie v dané lokalitě na základě smluvených pravidel) nebo tzv. virtuální elektrárny. Pod tímto pojmem se rozumí pomyslné spojení několika výrobních míst, jako například fotovoltaické instalace větrných turbín s kogenerační jednotkou. Tato pomyslná jednotka se pak pro správce elektrizační sítě tváří jako jeden zdroj a sama reguluje svůj výkon dle aktuálního počasí. Je samozřejmostí, že poskytovaný výkon takovéto virtuální jednotky je nižší nežli součet výkonů všech jeho složek.

2.2.6 Fotovoltaické elektrárny

Základními prvky každé fotovoltaiky jsou fotovoltaické články, ty se následně skládají do modulů (či panelů), dále měniče střídavého proudu na stejnosměrný a konstrukce pro upevnění modulů. Fotovoltaický článek umožňuje přeměnu světelné energie fotonu na elektrickou energii. Pokročilejší systémy pak využívají ještě akumulátorového úložiště nebo připojení do rozvodné sítě, případně obojí.

Princip fotovoltaického článku

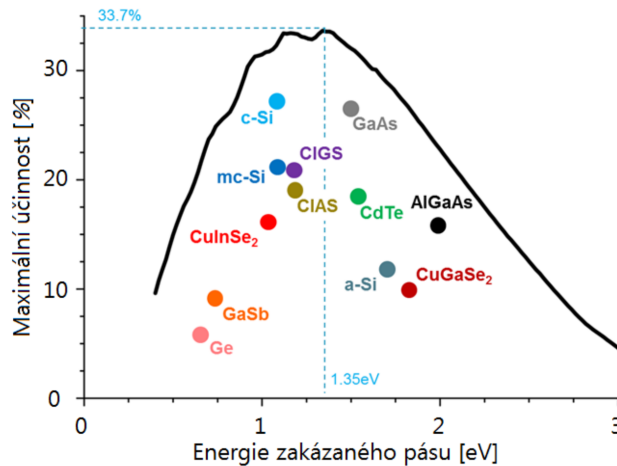
Částice světla tzv. fotony dopadají na povrch článku, kde předávají svou energii částicím materiálu. Pro zachycení této energie je třeba využít správného materiálu. Čím hlouběji materiálem světlo prostupuje, tím se snižuje jeho intenzita Φ podle rovnice 2.9.

$$\Phi(x) = \Phi_0 \exp(-\alpha x), \quad (2.9)$$

kde α [$\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$] je absorpční koeficient, který závisí na vlnové délce λ [m] dopadajícího záření. Pro tvorbu elektrického proudu je třeba vytvořit

nerovnoměrnou koncentraci elektronů a elektronových děr. V homogenních materiálech je tato koncentrace stejná, a proto zde nedochází ke vzniku napětí (pouze se zvyšuje vodivost). Pro vytvoření potřebného rozdílu potenciálů jsou vhodné struktury s PN přechodem. Tímto způsobem se oblast typu P nabíjí kladně a oblast typu N záporně a na osvětleném polovodiči s PN přechodem vzniká fotovoltaické napětí [7].

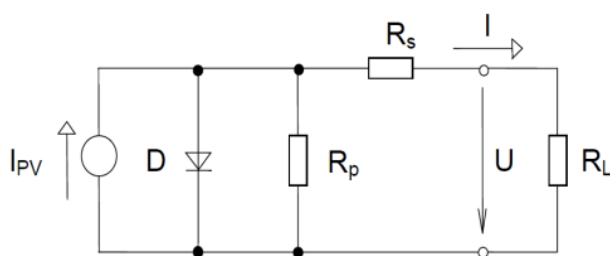
Pro vytvoření elektronových děr je zapotřebí překonat vazební energii elek-



Obrázek 2.8: Závislost účinnosti generace η nerovnovážných nosičů slunečním zářením na šířce, resp. potřebné energii E_z na průchod zakázaného pásu polovodiče pro spektrum AM 1,5. Na svislé ose je zobrazena maximální účinnost η [%] a na vodorovné ose je energie zakázaného pásu E_z [eV]. Zdroj: [17].

tronů, a tím porušit jejich momentální vazbu. Tato nejmenší vazební energie je označována W_g a říkáme jí šířka zakázaného pásu. Při absorpci fotonu, který má vyšší energii než je šířka zakázaného pásu W_g , se zbytek energie mění v teplo (proces termalizace). Naopak pro fotony s nižší energií než je šířka zakázaného pásu W_g , nedochází k absorpci a materiál je pro toto záření transparentním (záření zůstává nevyužito). Toto využití fotonů je znázorněné na grafu 2.8, kde je vykreslena závislost účinnosti generace nerovnovážných nosičů slunečním zářením na šířce zakázaného pásu polovodiče pro spektrum AM 1,5 [17]. Kde AM (air mass) značí hodnotu slunečního spektra, které projde při nominálních podmínkách nejkratší cestou atmosférou země k povrchu. Pro lepší představu a popis matematickou rovnicí je fotovoltaický článek modelován dle obrázku 2.9. Z něj plyne vztah výstupního proudu fotovoltaického článku

$$I = A_{ill} J_{PV} + I_0 \left[\exp\left(\frac{e}{\zeta k T} (U + R_S I)\right) - 1 \right] \frac{U + R_S I}{R_p}, \quad (2.10)$$

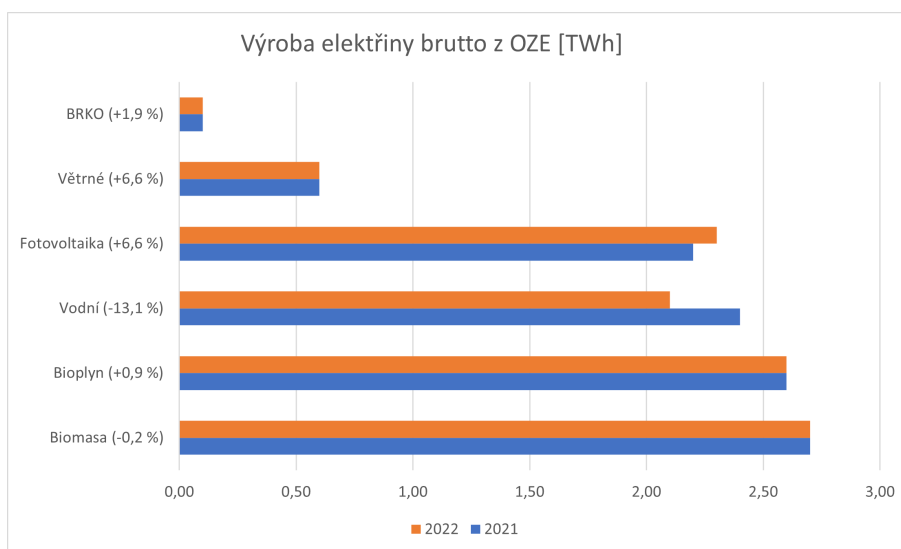


Obrázek 2.9: Náhradní schéma fotovoltaického článku. Zdroj: [18].

kde k [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$] je Boltzmanova konstanta, e [C] je elementární náboj, I_0 [A] je klidový závěrný proud přechodu PN a ζ je diodový faktor [-], který nabývá hodnoty $1 < \zeta < 2$. A_{ill} [m^2] představuje ozářenou plochu, která generuje proud o hustotě J_{PV} [$\text{A}\cdot\text{m}^2$].

2.3 Současný stav OZE

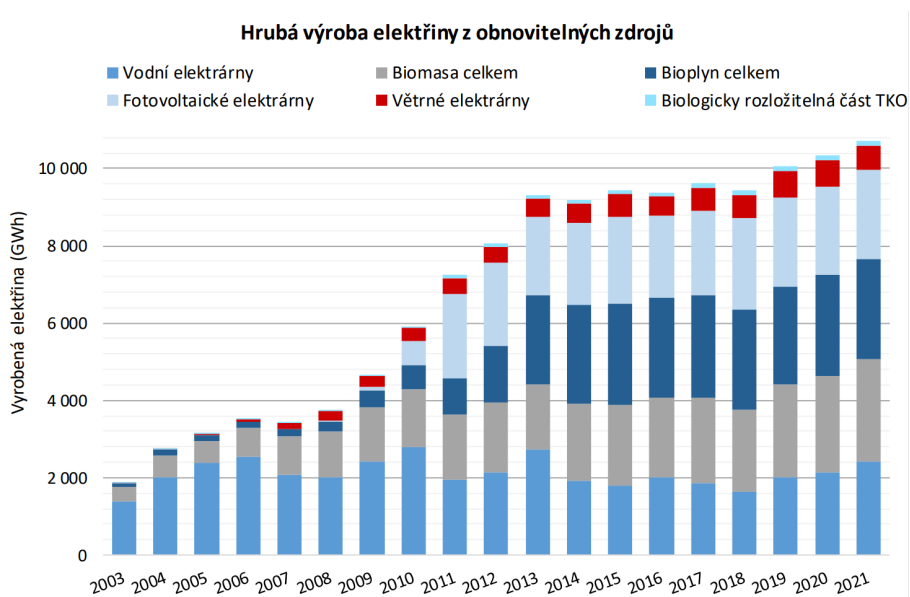
Kvůli snaze o zbavení se závislosti na fosilních palivech se zvyšuje zastoupení obnovitelných zdrojů v energetickém mixu nejen České republiky [19]. Jedním z nejlepších zdrojů se v momentálním trendu jeví výstavba fotovoltaických elektráren [20]. To je hlavně z důvodu investičních nákladů do tohoto druhu elektráren a jejich značná dotační podpora nejen ze strany ČR, ale také Evropské unie. Tento trend je vidět na obrázku 2.10. Mimo tento trend se



Obrázek 2.10: Výroba elektrické energie brutto z OZE za roky 2021 a 2022. Zdroj: ERÚ.

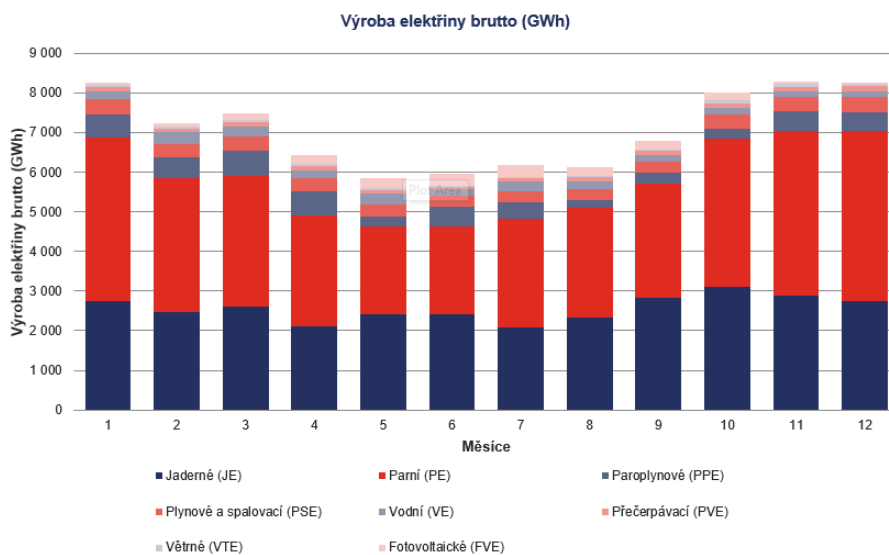
v České republice zvedá výroba z obnovitelných zdrojů za poslední roky jen

málo, jak ukazuje graf 2.11: Výroba obnovitelné elektřiny brutto od roku 2003 do roku 2022. V porovnání je uveden také graf celkové hrubé výroby



Obrázek 2.11: Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE mezi lety 2003-2021. Zdroj: [21].

elektrické energie za rok 2021 na území České republiky 2.12, ze kterého je patrné, že OZE zatím v energetickém mixu republiky hrají jen malou roli.

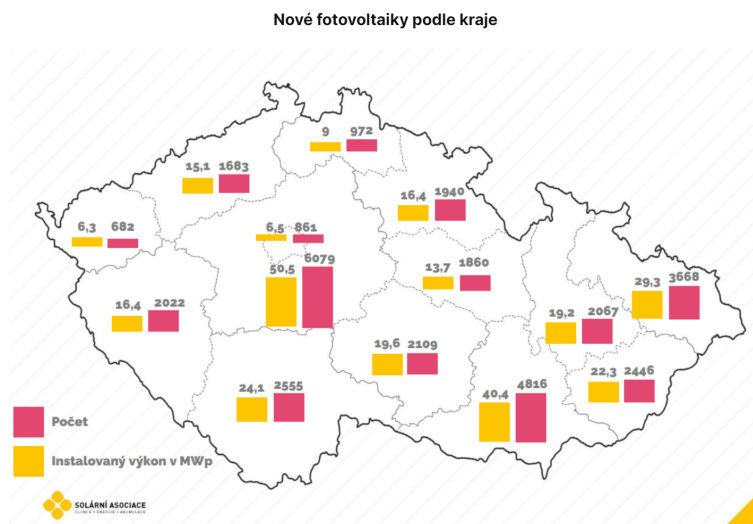


Obrázek 2.12: Výroba elektřiny brutto v ČR za rok 2021 Zdroj: ERÚ.

Se snahou přejít z co největší části k obnovitelným zdrojům ale přichází také mnoho problémů. Asi největším z nich jsou velké výkyvy způsobované těmito zdroji v distribučních sítích a jejich nutná kompenzace. V roce 2022

zájem o připojení fotovoltaických elektráren rapidně vzrostl. Například ČEZ Distribuce, a. s. hlásí velký nárůst žádostí o připojení výroben do distribuční sítě. V roce 2016 jich bylo 2000 zatímco za rok 2022 jich bylo touto firmou vyřízeno více než 70 000 [22].

Za rok 2022 bylo přistavěno 33 760 instalací s výkonem 288,8 MW, zatímco



Obrázek 2.13: Přírůstek fotovoltaických instalací za rok 2022 podle krajů. Zdroj: Solární asociace.

v roce 2021 to bylo pouze 9321 instalací s výkonem 62 MW. Za tento nárůst dle statistik mohou hlavně domácnosti s instalovaným výkonem do 10 kW výkonu. Těch přibýlo 32 909 s celkovým výkonem 237 MW, tedy 82 % z celkového výkonu. Nové instalace jsou vidět na obrázku 2.13. Nejvíce instalací tedy přibýlo ve středočeském a jihomoravském kraji.

Dalším trendem této doby je elektromobilita, která také přispívá k nerovnoměrným odběrům ze sítě. Důvodem je tlak na zvyšování rychlosti nabíjení elektromobilů. To vede k výstavbě stanic, které nabíjejí vysokými proudy po krátkou dobu. Tyto stanice, dle slov místopředsedy představenstva ČEZ Distribuce, a. s., zatím nezpůsobují větší výkyvy v distribuční síti, jelikož zatím nejsou moc využívány. Průměrné využití jedné dobíjecí stanice je v ČR 200 hodin za rok [22].

Je tedy patrné, že s nárůstem využití obnovitelných zdrojů jsou úzce spojeny investice do modernizace a posilování distribuční soustavy. Ta ale naráží na legislativní problémy a to především majetkoprávní. Realizace zdroje, například FVE s výkonem několika MW připojené na VN lze provést v rámci tří let. Ovšem vybudování 110 kV rozvodny včetně přívodního vedení je průměrně realizovatelné až po sedmi letech [22].

Kapitola 3

Typy fotovoltaických elektráren (fotovoltaiky)

3.1 Fotovoltaiky na střechách budov

Poptávka po elektrické energii stále stoupá. V minulém tisíciletí platilo, že majoritní část odběru energie patřila továrnám a průmyslu. Z toho důvodu bylo strategické vedle těchto velkých odběrných míst stavět elektrárny. Hlavním důvodem byla levná distribuce této energie s malými ztrátami.

Spotřeba energie dnešních domácností je ovšem mnohem vyšší než kdykoliv předtím. Dnešním standardem je mít doma hned několik spotřebičů s velkým odběrem energie a přibývají další, jako například již zmíněné nabíjecí stanice elektromobilů. S tímto trendem tak vznikají vyšší nároky pro distribuční síť a častá nutnost jejího posilování a modernizace.

Jedním z možných řešení tohoto problému je diverzifikovat výrobu elektřiny podobně jako je dnes diverzifikovaná její spotřeba [23]. Z tohoto důvodu je dnes velmi populární výstavba fotovoltaických instalací na střechy hal, rodinných domů či jakýchkoliv jiných staveb. Jedná se vlastně o nevyužitou plochu, pod kterou zpravidla vzniká potřeba elektrické energie. Tyto malé lokální fotovoltaické instalace tak mohou ve velkém množství mohutně přispět k odlehčení distribuční sítě, snížením poptávky těchto objektů po elektrické energii.

Nejen z výše zmíněných důvodů je instalace fotovoltaických panelů na střechy domů stále populárnější. Je momentálně možné na ni získat poměrně vysokou dotační podporu, zvláště při současné instalaci nabíjecí stanice elektromobilu. Zároveň se zvyšuje hodnota nemovitosti, na které je umístěna fotovoltaická elektrárna. Toto téma více rozvedeme v ekonomickém zhodnocení navrhovaných projektů.

hodit v oblastech s rychlým rozvojem okolních staveb a tedy nové poptávce po elektrické energii.

Dalším pozitivním faktorem je snazší údržba díky jednoduššímu přístupu k panelům. Lze také upravit podloží na nějaký odrazivý materiál (například šterk), který dokáže zlepšit efektivitu takto umístovaných bifaciálních panelů. Tuto možnost obvykle na střeše nemáme. Zároveň tento typ povrchu snižuje prašnost, která může naopak snižovat výkon takto umístovaných panelů.

Příkladem takovéto instalace je fotovoltaická elektrárna Ralsko (obrázek 3.2) nacházející se u Liberce. Je v bývalém vojenském areálu a je složená z 5ti



Obrázek 3.2: Fotovoltaická elektrárna Ralsko a Mimoň [25]

menších samostatných částí. Celkový špičkový výkon této elektrárny přesahuje 44 000 kWp [25].

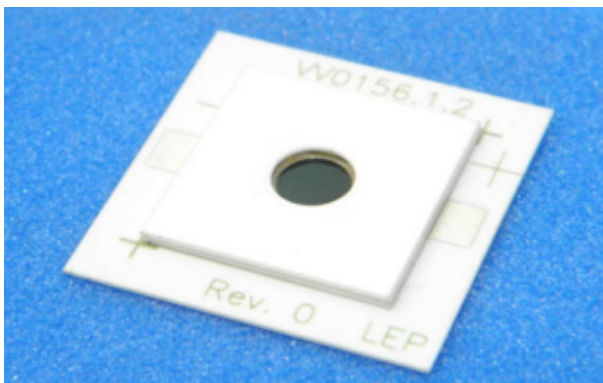
3.3 Koncentrované fotovoltaiky

Křemíkové panely využívané pro předchozí typy fotovoltaických instalací mají malou účinnost (od 10 do cca 24 % [26]). To je způsobeno více faktory, jedním z nich je menší čírost křemíkového krystalu použitého pro výrobu daného panelu. Dalším důležitým faktorem, který snižuje účinnost fotovoltaických panelů, je okolní teplota. Z tohoto důvodu nejsou PV panely využívány na extrémně teplých a zároveň slunných místech. Přesně pro tyto případy byla vyvinuta koncentrovaná fotovoltaika.

Tato technologie funguje na bázi velmi malého fotovoltaického čipu (viz. obrázek 3.3) velikosti od 2 mm² do 10 mm² [27], který má tloušťku několik stovek

3. Typy fotovoltaických elektráren (fotovoltaiky)

mikrometrů. Tento čip je umístěn v jádru celého systému a do tohoto bodu



Obrázek 3.3: Čip koncentrované fotovoltaiky [28]

je koncentrován sluneční svit. Sluneční paprsky jsou koncentrovány pomocí optického koncentrátoru, zpravidla za pomoci zrcadel nebo spojných čoček. Tyto čipy jsou zpravidla vyráběny z jiných materiálů než křemík, což způsobuje nižší teplotní závislost (pokles účinnosti článku při zvýšení teploty o 1 °C). Ta se pro tyto čipy pohybuje kolem hodnoty $t_z = -0,17 \text{ \%}/1 \text{ °C}$ [27], což je asi 3x nižší hodnota než u křemíkových fotovoltaických čipů. Jejich výroba je mnohem dražší, to ale vyvažuje fakt, že je třeba je vyrábět v daleko menší ploše. Účinnost těchto čipů se pohybuje kolem 40 %.

V České republice nejsou ideální podmínky pro tento typ obnovitelné energie, proto se vydáme za příkladem do Afriky. Marocká poušť v sobě ukrývá jeden z technologických divů světa, největší koncentrovanou fotovoltaickou elektrárnu světa s názvem Noor Ouarzazate Solar Complex (viz. obrázek 3.4).



Obrázek 3.4: Noor Ouarzazate Solar Complex [29]

Její maximální výkon činí 560 MW. Pro její výstavbu bylo využito více než půl milionu koncentračních zrcadel. Tento systém využívá k akumulaci energie tekutou sůl. Do ní ukládá energii přes den, aby pak mohl změnou skupenství této látky poskytovat energii i v nočních hodinách, kdy slunce nesvítí [30].

3.4 Plovoucí fotovoltaiky

Ve všech dosud uvedených příkladech fotovoltaických elektráren hraje velkou roli množství prostoru, které je zapotřebí k realizaci těchto systémů. Fotovoltaiky na pozemcích a koncentrované fotovoltaiky zabírají velké množství cenné půdy. Instalace fotovoltaik na střechy domů tento problém řeší, ovšem výkon takovýchto instalací se pohybuje kolem 2-20kWp pro rodinné domy a v rámci stovek kWp pro haly a komerční budovy [31].

S možným řešením územního záboru přichází právě plovoucí fotovoltaiky, jejichž princip tkví v přesunutí těchto instalací nad nevyužité vodní plochy oceánů, jezer, lagun, vodních rezervoárů, přehrad a dalších vodních děl. Tento koncept se zdá být do budoucna velmi efektivním využitím prostoru pozemků. Navíc mimo této zjevné výhody mají vodní instalace fotovoltaických elektráren mnoho dalších výhod.

Jak už bylo výše zmíněno: efektivita získávání energie pomocí fotovoltaických panelů je závislá na teplotě fotovoltaického článku. Při použití hliníkových konstrukcí pro uchycení panelů na plovák lze dosáhnout mnohem nižších teplot panelů. Důvodem je využití vody pod panely jakožto chladicího média. Při použití takto chlazených panelů lze zvýšit jejich účinnost oproti panelům instalovaným na zemi průměrně o 11 % [32]. Takto stavěné elektrárny mají dále mimo jiné pozitivní vliv například na kvalitu vody, jelikož stíněním brání přemnožení vodních řas [31].

Za příkladem takovéto instalace nemusíme chodit daleko. Sousední Německo je známé svou politikou za snižování emisí, proto zde již můžeme nalézt několik fotovoltaických polí, umístěných na vodních dílech. Například projekt z února minulého roku na jezeře Silbersee III, kde firma Quarzwerke nechala vystavět plovoucí elektrárnu na rozloze 1,8 hektarů 3.5. Elektrárna má výkon kolem 3 MWp [33]. Je tedy silným zdrojem elektřiny pro okolí a přitom nezabírá zemědělskou půdu.

3. Typy fotovoltaických elektráren (fotovoltaiky)



Obrázek 3.5: Plovoucí fotovoltaická elektrárna na jezeře Silbersee III [33]

Kapitola 4

Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům a jeho optimalizace

V této kapitole jsou rozpracovány dva návrhy fotovoltaických instalací pro rodinný dům. Každý z nich využívá jiné součásti, takže se nabízí pro technologické a ekonomické srovnání. U obou je počítáno se systémem bateriového úložiště, fotovoltaických panelů, střídače či střídačů a řídicí jednotky. A pro lepší srovnání jsou oba návrhy dimenzovány pro stejné umístění a tím je rodinná dřevostavba v Říčanech (viz obrázek 4.1) na adrese Bezručova 1264/8 se zahradním domkem, jehož plocha střechy byla využita pro návrh FVE.



Obrázek 4.1: Rodinná dřevostavba na adrese Bezručova 1264/8. Zdroj: Vlastní



Obrázek 4.2: Střecha stavebního domku s osazenými panely z návrhu FVE 1.
Zdroj: Vlastní



Obrázek 4.3: Výnos energie fotovoltaických panelů v závislosti na natočení a sklonu modulu. Sklon panelů na svislé ose je uveden ve stupních [°] vzhledem k vodorovné ploše. Na ose x je zobrazena odchylka od jižní orientace panelu opět vyjádřena ve stupních [°]. Zbarvení grafu poté zobrazuje procentuální úbytek výkonu panelu při dané orientaci [%]. Zdroj: [35]

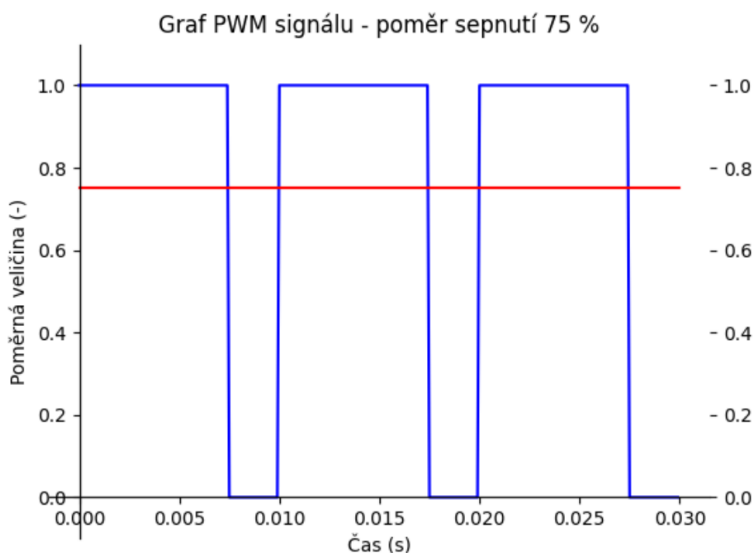
4.2 Optimalizace nabíjecích cyklů

Pro cirkulaci energie mezi akumulátorovým úložištěm, veřejnou energetickou sítí a spotřebiči v objektu je využíván regulátor, nazývaný jako solární regulátor SCC (Solar Charge Controller). Tento prvek má za úkol převádět stejnosměrnou vstupní veličinu (napětí a proud) na výstupní veličinu (napětí a proud) a to buďto stejnosměrnou nebo střídavou. Vstupní veličinou se rozumí napětí a proud (vždy stejnosměrné), která je generována fotovoltaickými

články. Výstup je přiveden do bateriového úložiště či přímo ke spotřebičům v objektu a nebo do veřejné elektrizační sítě. Může tedy mít střídavý i stejnosměrný charakter. Na trhu se nejvíce prodávají dva typy regulátorů a to sice regulátor PWM a MPPT. Jednoduché typy regulátorů jsou dnes často součástí střídačů, složitější se mohou prodávat i samostatně.

4.2.1 PWM regulátory

Základní regulaci lze zajistit pomocí regulátoru PWM (Pulse Width Modulation), pulzně šířkové modulace. Jedná se o jeden z nejstarších a nejsnazších typů regulace. Jedná se o pouhé spínání stavů ON a OFF tedy vypínání a zapínání. Šířka pulzu je zkracována stavem OFF, ve kterém elektrárna neregeneruje žádný výkon. Z tohoto důvodu se jedná o velmi neefektivní způsob řízení. Přesto je někdy tento regulátor využíván, a to díky jeho dostupnosti a hlavně ceně. Je možné ho využít pro malé fotovoltaiky, kde na regulaci neztrácíme velký výkon. Jeho další nevýhodou je nemožnost připojení jiného napětí na vstupní svorky, než je k dispozici na svorkách výstupních. Energii je třeba regulovat také v závislosti na stavu nabití akumulátoru kterou do něj přivádíme. Když je akumulátor téměř nabit, je třeba ji omezit a naopak při nízkém stavu nabití akumulátoru je možné přiváděnou energii zvýšit.



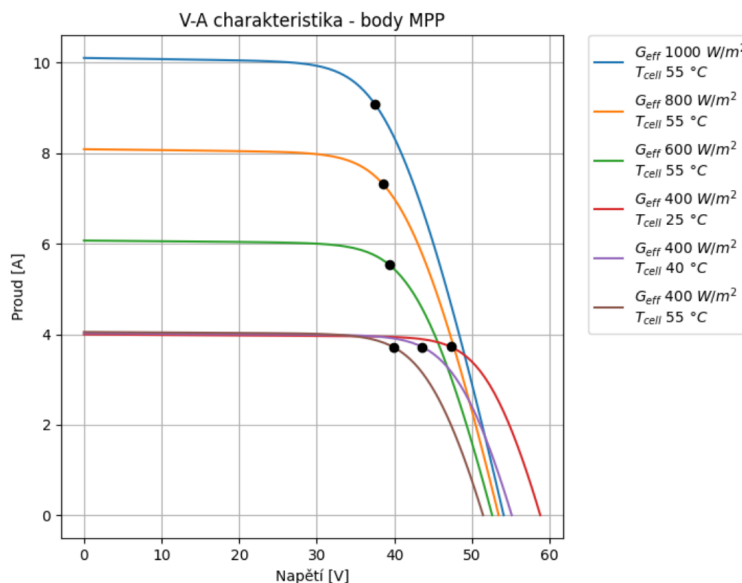
Obrázek 4.4: Rozložení pulzů PWM regulátoru se střední hodnotou 75% (vyznačeno červeně). Zdroj: [36]

Toho PWM regulátor dosahuje pomocí pulzů o stejné frekvenci, ale rozdílné šířce. Na obrázku 4.4 je vidět stav, při kterém je přiváděná energie omezována na 75% (střední hodnota pulzů) [36].

4.2.2 MPPT regulátory

Lepší způsob regulace, který je v dnešní době mezi fotovoltaikami nejpoužívanějším, je systém MPPT (Maximum Power Point Tracker). Podobně jako u PWM řízení je jeho cílem zajišťovat nejvyšší možný výkon fotovoltaické instalace, což zvyšuje její efektivitu.

Princip funkce spočívá ve neustálém vyhledávání bodu nejvyššího výkonu na charakteristické křivce výkonu P fotovoltaického panelu. Výkon fotovoltaického panelu se liší dle intenzity dopadajícího světla na jeho plochu a také v závislosti na jeho momentální teplotě. To zobrazuje charakteristická křivka panelu na obrázku 4.5, na které je zároveň vyznačen bod nejvyššího výkonu MPP (maximum power point), odkud vychází název tohoto regulátoru.



Obrázek 4.5: Vliv osvitů a teploty fotovoltaického panelu na výkon. Zobrazení maximálního bodu výkonu (MPP) Zdroj: [36]

4.3 FVE 1

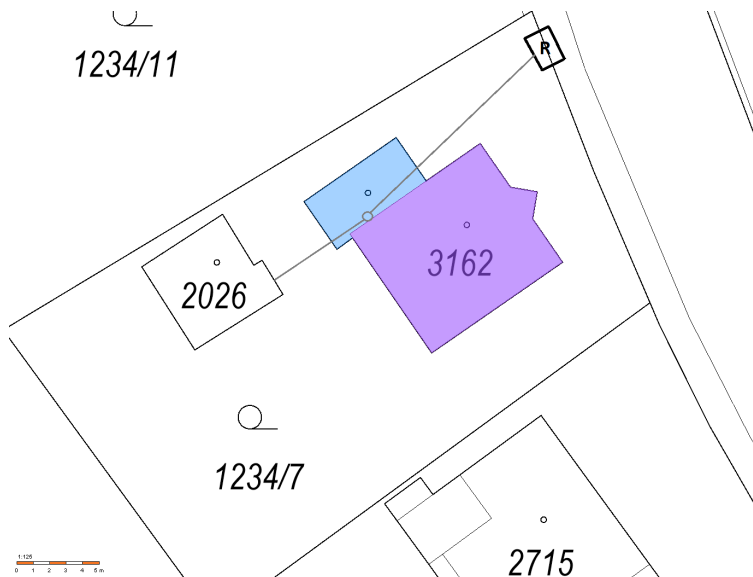
Prvním návrhem je nová instalace na zahradním domku v Říčanech u Prahy na adrese Bezručova 1264/8. Jedná se o instalaci z roku 2021 obsahující bateriové úložiště, tři jednofázové střídače, regulátor a sérii fotovoltaických

panelů. Oproti původní instalaci na rodinném domě, která je z roku 2012 je tato novější instalace lépe srovnatelná s druhým návrhem, a proto byla využita pro účely této práce. Obě instalace jsou zachyceny na obrázku z dronu 4.6.

Na obrázku 4.7 je zachycen půdorys uvažovaného pozemku pro návrh FVE.



Obrázek 4.6: Obě fotovoltaické instalace na adrese Bezručova 1264/8. Zdroj: Vlastní



Obrázek 4.7: Upravený snímek z katastru nemovitostí objektu Bezručova 1264/8 Říčany [403075] spadající do katastrálního území Říčany [745456]. Zdroj: CUZK.

Je zde vidět půdorys zahradního domku (označen číslem 2026) a půdorys rodinného domu (číslo 3162) s přílehlou garáží. Připojení FVE na zahradním

domku je naznačeno šedou linkou vedoucí do garážového stání, kde se nachází bateriové úložiště, měniče a řídicí elektronika. Odtud vede do hlavního domovního rozvaděče elektřiny a dále do hlavního elektroměrového rozvaděče na hranici pozemku označeného písmenem R. V tomto rozvaděči je objekt připojen k veřejné distribuční síti.

■ 4.3.1 Fotovoltaické panely

Pro tuto instalaci bylo použito 21 půlených monokrystalických panelů čínské výroby JA Solar: JAM72S20 455/MR s černým rámem Mono 4.8. V tabulce 4.1 jsou uvedeny parametry těchto panelů.



Obrázek 4.8: JA Solar: JAM72S20 455/MR s černým rámem Mono. Zdroj: [37]

Název veličiny	Jednotka	Hodnota
Napětí naprázdno V_{oc}	V	49,4
Maximální proud při zatížení I_{max}	A	10
Zkratový proud I_z	A	10,4
Rozměr [DxŠxT]	mm	2010x1002x35
Hmotnost m	kg	23
Účinnost modulu η	%	20,37
Maximální výkon P	W	410
Doba záruky t	rok	25/10
Cena	Kč	1560

Tabulka 4.1: Základní parametry panelu HCM72x9 410 Wp perc (STC)

4.3.2 Střídače

V objektu jsou instalovány tři jednofázové měniče Victron Multiplus II 48/5000 VA/50A 4.9. Tyto měniče mají vyšší pořizovací cenu, ale jsou dobře konfigurovatelné. Dokáží přepínat mezi režimy off-grid a on-grid. Každý měnič disponuje dvěma AC výstupy, jedním pro běžnou spotřebu a druhým pro spínání vybraných spotřebičů například pro cílené využití přebytků. Zařízení dokáže splňovat podmínky ostrovního systému s nulovou dodávkou do distribuční sítě a pak není nutno žádat distribuční společnost o povolení připojení ostrovní elektrárny k distribuční síti. Výhodou tří jednofázových měničů na místo jednoho třífázového je lepší vyrovnávací schopnost různých odběrů na jednotlivých fázích v objektu. Základní parametry tohoto měniče jsou uvedeny v tabulce 4.2.



Obrázek 4.9: Victron Multiplus II 48/5000 VA/50A.

Název veličiny	Jednotka	Hodnota
Maximální účinnost η	%	96
Trvalý výkon P	W	4000
Výstupní frekvence f	Hz	$50 \pm 0,1$
Výstupní napětí I_z	V	$230 \pm 0,2$
Spotřeba při nulové zátěži P_0	W	18
Záruka t_z	rok	5
Předpokládaná životnost t_{ls}	rok	25

Tabulka 4.2: Základní parametry střídače Victron Multiplus II 48/5000 VA/50A

4.3.3 Regulátor

Další důležitou součástí návrhu fotovoltaické instalace je bezpochyby regulátor výkonu, tzv. MPPT tracker. Zkratka vychází z anglického Maximum Power Point Tracker, tedy "Sledovač bodu maximálního výkonu". Jeho funkce je vysvětlena v kapitole 4.3.4. Byl použit regulátor Victron Smart Solar RS 450/200-Tr, který využívá sběrnici s technologií CAN. Ta využívá tzv. bitovou arbitráž, která na rozdíl od ethernetu nezpůsobuje zpoždění zprávy s nejvyšší prioritou. Je tedy lepší pro přenosové cesty, které často vysílají a přijímají data kritická pro zpoždění. K tomuto typu sběrnice je zapotřebí speciální připojovací kabel s konektorem RJ45. Základní parametry použitého sledovače najdeme v tabulce 4.3.



Obrázek 4.10: Victron Smart Solar RS 450/200-Tr.

Název veličiny	Jednotka	Hodnota
Napětí připojených baterií U	V	12/24/48
Maximální účinnost η	%	96
Jmenovitý výkon P při 48 V	W	7200
Spotřeba E_{s48} při 48 V	W	40
Spotřeba E_{s0} při nulové zátěži	W	18
Záruka t_z	rok	5
Předpokládaná životnost t_{ls}	rok	25

Tabulka 4.3: Základní parametry regulátoru Victron Smart Solar RS 450/200-Tr.

Název veličiny	Jednotka	Hodnota
Napětí baterií U	V	48
Doporučený vybíjecí a nabíjecí proud I_{rec}	A	37
Nominální kapacita E_{cap}	kWh	3,55
Počet cyklů (nabíjení na 90%)	–	>6000
Provozní teplota T_p	$^{\circ}C$	0–50
Skladovací teplota T_s	$^{\circ}C$	-20–60
Záruka t_z	rok	10
Předpokládaná životnost t_{ls}	rok	25

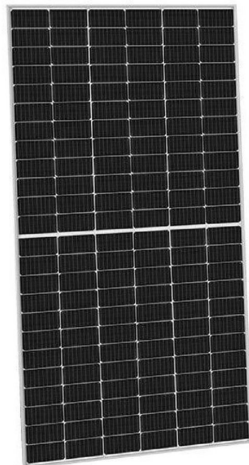
Tabulka 4.4: Základní parametry akumulátorů PylonTech US 3000B 48V 3,55 kWh.

4.4 FVE 2

Druhý návrh využívá komponenty od firmy SolidSun. Jedná se o návrh s celkovým výkonem panelů 9,66 kW_p s nižší kapacitou bateriového úložiště než FVE 1 a to 10,65 kWh. Součástí návrhu je jeden třífázový měnič, 21 kusů bifaciálních fotovoltaických panelů a akumulátorové úložiště.

4.4.1 Fotovoltaické panely

Pro srovnání jsou v tomto návrhu využity bifaciální fotovoltaické panely Huasun HJT 460 W_p (viz obrázek 4.12). Cílem technologie bifaciálních panelů je zachytit více dopadajícího světla na panel. Více se o technologii bifaciálních panelů píše v kapitole 6. V tabulce 4.5 jsou uvedeny parametry navržených panelů.



Obrázek 4.12: Fotovoltaický panel Huasun HJT 460 Wp. Zdroj: [38]

Název veličiny	Jednotka	Hodnota
Napětí naprázdno V_{oc}	V	53,22
Maximální proud při zatížení I_{max}	A	10,24
Zkratový proud I_z	A	10,58
Rozměr [DxŠxT]	mm	2094x1038x30
Hmotnost m	kg	26,5
Účinnost modulu η	%	21,39
Maximální výkon P_{max}	W	465
Doba záruky t_z	rok	30/15
Cena	Kč	5902

Tabulka 4.5: Základní parametry panelu Huasun HJT 460 Wp

4.4.2 Střídač

Zásadní změna od prvního návrhu je právě ve volbě střídače. Zde je využit jeden hybridní třífázový měnič Solinteg MHT-10K-25 (viz obrázek 4.13). Jedná se o asymetrický střídač, díky čemuž lze dodávat elektřinu do fáze kde je potřeba a nevzniká zde tak velká nerovnováha mezi prodejem a výrobou na jednotlivých fázích. Je schopen fungovat v ostrovním režimu. Je vybaven pouze pasivním chlazením. Jeho podrobnější parametry jsou zapsány v tabulce 4.6.



Obrázek 4.13: Měnič Solinteg hybridní třífázový MHT-10K-25. Zdroj: [39]

Název veličiny	Jednotka	Hodnota
Maximální účinnost η	%	97,4
Výstupní frekvence f	Hz	50/60
Výstupní napětí I_z	V	240/415
Spotřeba při nulové zátěži E_{s0}	W	15
Záruka t_z	rok	10
Předpokládaná životnost t_{ls}	rok	25

Tabulka 4.6: Základní parametry měniče Solinteg MHT-10K-25

4.4.3 Regulátor a akumulátorové úložiště

Pro regulaci nabíjení akumulátorového úložiště je navržen Controlbox FC0500M-40S-V2 od Pylontechu. Jedná se o prvek, který se umísťuje přímo na vrchol skříně s akumulátory, tak jak je znázorněno na obrázku 4.14. Jedná se tedy o komplet akumulátorového úložiště spolu s řídicí jednotkou. Jeho základní parametry jsou vypsány v tabulce 4.7. Skříň má jednotlivé předpřipravené boxy, do kterých se vkládají akumulátory. Toto uspořádání výrazně usnadňuje instalační proces akumulátorového úložiště. Do boxu budou vloženy 3 kusy akumulátorů Pylontech Force H2 3,55 kWh o celkové kapacitě 10,75 kWh.

Kapitola 5

Připojení FVE do distribuční soustavy

V této kapitole jsou popsány jednotlivé možnosti zapojení fotovoltaické elektrárny. Jsou využívány tři typy zapojení, ostrovní systémy, hybridní systémy a systémy bez akumulace přímo připojené k veřejné elektrizační soustavě.

5.1 Systémy připojené k síti bez akumulace

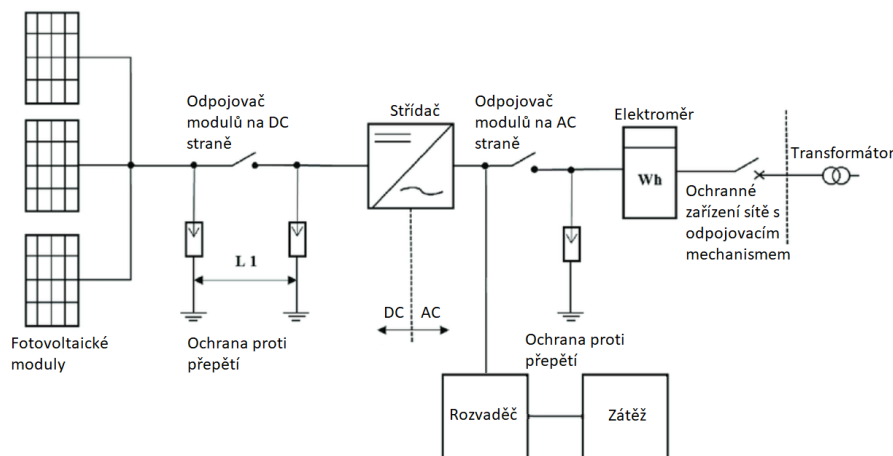
Tento systém je založen na okamžitém využívání energie, která je generována fotovoltaickými panely. Jelikož nemá možnost energii ukládat, je nepotřebná energie, která nelze v objektu umořit spínáním spotřebičů, prodávána do veřejné elektrizační soustavy. Pokud není výroba v daný čas dostatečná (typicky v noci či za nepříznivého počasí), je zbytek potřebné energie dodáván (nakupován) ze sítě. Těmto systémům se také přezdívá tzv. on-grid systémy nebo grid-connected, či grid-tied systémy.

Výhodou této možnosti návrhu systému jsou nižší pořizovací náklady. Akumulátorové úložiště a regulátor nabíjecích cyklů je velkou finanční položkou na celém návrhu, a tak vyjde tato možnost daleko levněji. Pořád je ale třeba navrhnout správný střídač, který má za úkol převádět stejnosměrné veličiny (napětí a proud) na straně fotovoltaických panelů na veličiny střídavé (napětí a proud) na straně spotřebičů v objektu a veřejné elektrizační soustavy. K propojení on-grid systému s distribuční sítí je třeba zajištění tzv. kvalitativních požadavků.

Síťové střídače jsou navrženy tak, aby odpovídaly kvalitativním požadavkům. Těmi se rozumí určitá pravidla a omezení, které musí daný střídač splňovat. Konkrétně se jedná o stejnou frekvenci napětí (na úrovni zátěžového uzlu), sinusový průběh a stejná efektivní hodnota napětí. Dále je třeba zajistit, aby byly dodrženy stanovené limity, které určuje provozovatel distribuční soustavy. To jsou hodnoty harmonického zkreslení proudu (THD_I) a napětí (THD_U) [36].

Hlavní nevýhodou oproti ostatním druhům zapojení fotovoltaické elektrárny je její nesamostatnost. Z důvodu absence záložního zdroje (akumulátorového

úložiště) dochází při výpadku distribuční sítě k situaci, kdy může být část vyrobené energie nevyužita (pokud výroba zrovna přesahuje spotřebu objektu). Zároveň se objekt ocitne zcela bez energie, pokud výpadek proudu přijde v době, kdy fotovoltaické panely nevyrábí žádnou energii. Na obrázku 5.1, je zjednodušené blokové znázornění zapojení on-grid fotovoltaického systému. Jsou zde znázorněny fotovoltaické moduly, střídač a odpojovací a ochranné prvky, které jsou povinnou součástí tohoto typu zapojení.



Obrázek 5.1: Zjednodušený diagram on-grid připojení fotovoltaického systému k distribuční síti. Zdroj: Vlastní

5.2 Hybridní systémy

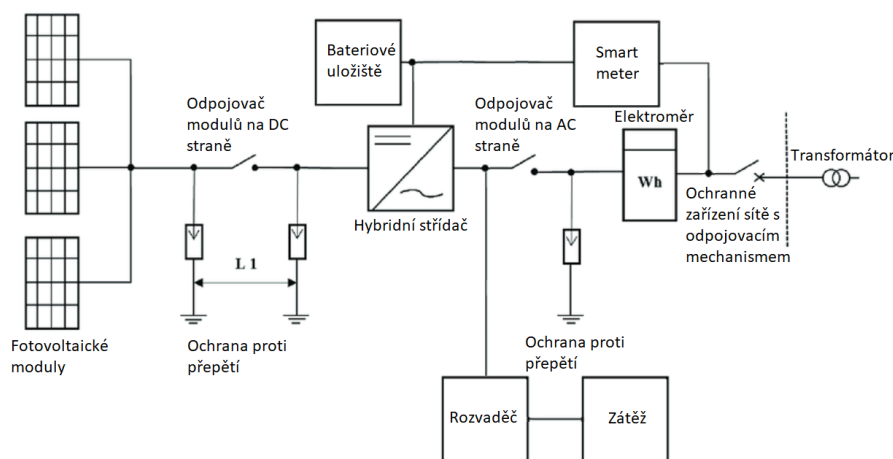
Tento systém je typem systému navrhovaného v kapitole 4. Jedná se o kombinaci akumulátorového úložiště, jakožto záložního zdroje, s fotovoltaickými moduly, které slouží jako zdroj primární. V tomto typu zapojení tvoří jakýsi středobod hybridní střídač. K němu je připojeno akumulátorové úložiště, fotovoltaické panely, distribuční síť a zátěž v objektu. Jeho úkolem je pomocí řídicích pokynů distribuovat energii mezi těmito uzly.

Inteligentní hybridní střídač se obvykle nastavuje v objektu tak, aby momentální spotřebu objektu kryl nejprve z momentální výroby fotovoltaických panelů. Pokud tento zdroj není kvůli nepříznivým podmínkám k dispozici, poté přichází do hry logika střídače, která vybírá odkud se má potřebná energie získat (distribuční síť nebo akumulátorové úložiště). K tomuto účelu je součástí hybridních střídačů tzv. smart meter (chytrý elektroměr), který získává informace o stavu sítě a o momentální spotřebě elektřiny objektu.

Hybridní střídače se dělí na několik druhů dle typu výstupního napětí. Jejich princip totiž spočívá v rozdělení střídavého proudu pomocí výkonových tranzistorů na jiný typ průběhu. To se děje pomocí spínání a rozpínání onoho tranzistoru. Kvalitní tranzistory dokáží spínat až 20 000 x za sekundu [40]. Výsledný signál je obdélníkový, lichoběžníkový nebo sinusový. Dnes se používají pro účely rodinných fotovoltaických instalací kvalitní střídače, které generují čistý sinusový průběh často s lepšími parametry než z distribuční sítě [41]. Zároveň tyto střídače musí splňovat stejné kvalitativní požadavky jako síťové střídače.

Další komponentou navíc pro hybridní fotovoltaické elektrárny jsou regulátory nabíjecích cyklů, Solar Charge Controllers (SCC). Ty mohou být součástí hybridního střídače a nebo jako samostatná komponenta. Pokud jsou v zapojení samostatně, jsou vřazeny mezi bateriové úložiště, fotovoltaické moduly a hybridní střídač. Více informací o jejich principu a stavbě je napsáno v kapitole 4.

Možné zapojení hybridního typu fotovoltaické elektrárny je zjednodušeně znázorněno na obrázku 5.2, počítá se začleněním regulátoru nabíjení do hybridního střídače. Oproti on-grid systému je tedy v zapojení navíc smart meter a bateriové úložiště spolu s hybridním střídačem.



Obrázek 5.2: Zjednodušený diagram možného hybridního připojení fotovoltaického systému k distribuční síti. Zdroj: Vlastní

5.3 Ostrovní systémy

Ostrovních systémů může být více typů, obecně se jedná o typ systému nezávislém na veřejné elektrizační síti. Nejjednodušší ostrovní systém může fungovat pouze na stejnosměrném rozvodu elektrické energie. Tyto systémy jsou často jednoduchým propojením fotovoltaického panelu s odporovým ohřevem teplé vody. Nejčastěji jsou tyto jednoduché systémy používány v přestavbách karavanů pro účely sprchy.

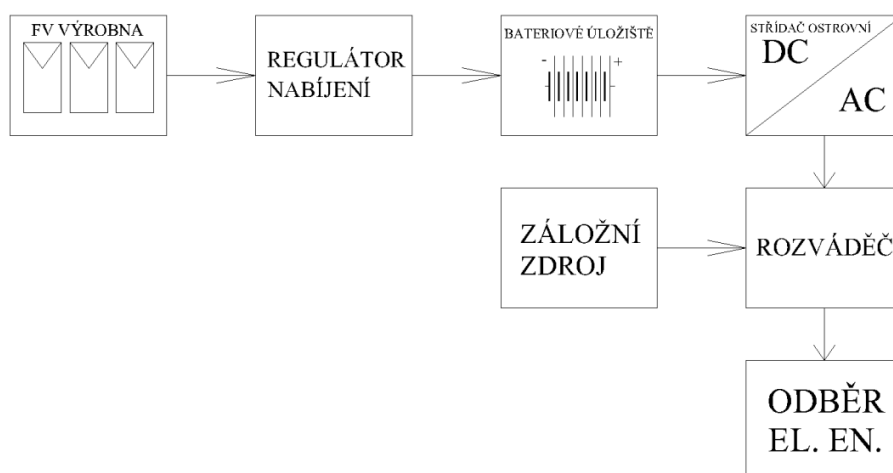
Pokud ovšem chceme energii využívat i pro jiné běžnější spotřebiče, jako je například nabíjení osobní elektroniky, je v systému zapotřebí střídač pro převod energie ze stejnosměrné na střídavou. Takovýto systém lze opět najít právě v pojízdných domech pro pokrytí části spotřeby elektrické energie na cestách. Tyto systémy ovšem neposkytují úplnou autonomii, tedy schopnost pokrýt veškerou spotřebu energie objektu v jakýkoliv čas.

Pro dosažení autonomního ostrovního systému je třeba složitého návrhu. Nejprve je třeba dobře analyzovat energetické potřeby daného objektu prioritizovat spotřebiče, využívat nízkospotřebových spotřebičů a využívat časových spínačů pro lepší regulaci zátěže objektu. Tento systém opět využívá komponent střídače a bateriového úložiště spolu s SCC (regulátorem nabíjení). Novým důležitým prvkem ostrovního systému je záložní zdroj.

I přes dobrou optimalizaci spotřeby daného objektu či pojízdného domu může nastat situace delšího nepříznivého počasí, a tedy nemožnosti nabít akumulátorový systém. V takovém případě dojde v systému energie a je třeba využít záložní zdroj. Tím se ostrovní systémy často rozdělují, jelikož lze použít například malé větrné generátory (zde ovšem opět hrozí nestálost počasí) nebo dieselové generátory. V druhém případě je třeba mít pro takové situace připravené palivo pro doplnění energie do systému.

Ostrovní systémy pro rodinné domy se používají zpravidla tam, kde není možné připojit objekt k distribuční síti. V oblastech, kde je třeba vybudovat přípojku na distribuční síť až do vzdálenosti 500–1000 m od objektu, je srovnatelně finančně náročné vystavět jednoduchou ostrovní fotovoltaickou instalaci [23]. Další využití je v oblastech nestálé distribuční sítě (rozvojové země), jelikož správně navržený ostrovní systém zaručuje jistotu dodávky elektrické energie a může tedy předejít nechtěným výpadkům veřejné sítě.

Možné schéma ostrovního systému je blokově zobrazeno na obrázku 5.3. Ubylo zde propojení s distribuční sítí, které je nahrazeno záložním zdrojem dle typu použitého ostrovního systému.

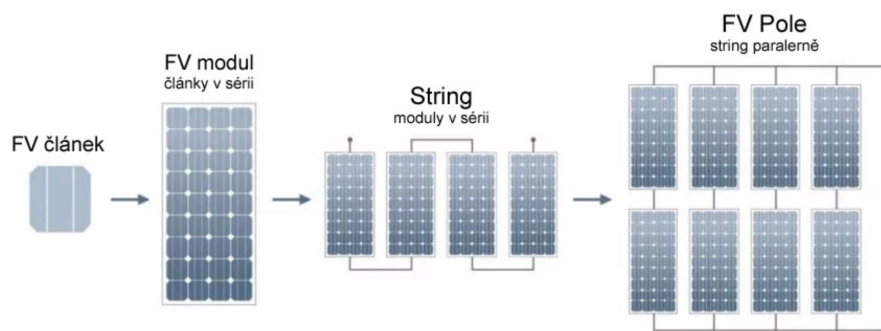


Obrázek 5.3: Zjednodušený blokový diagram ostrovního fotovoltaického systému.
Zdroj: [36]

5.4 Zapojení fotovoltaických článků

Ze zadní strany fotovoltaických článků jsou většinou umístěny dvě svorky, které slouží k připojení sběrných vodičů. Přední strana článku slouží k pohlcování slunečního záření. Po zapojení obou kontaktů (svorek) začne vnějším obvodem protékat stejnosměrný proud, který je přímo úměrný momentální intenzitě dopadajícího záření na činnou plochu fotovoltaického panelu a velikosti této plochy [42].

Při maximálním výkonu fotovoltaického článku lze na jeho svorkách naměřit hodnoty kolem 0,5 V stejnosměrného napětí pro krystalické články, pro tenkovrstvé s více přechody až jednotky voltů. Jelikož napětí z jednoho článku je velmi malé, pro jeho praktické využití se spojují tyto fotovoltaické články do série. Takto spojeným článkům se říká fotovoltaické panely (nebo také moduly) a jejich napětí se obecně pohybuje od 12 do 100 V. Krystalické panely mají nejčastěji spojených 60 nebo 72 těchto fotovoltaických článků. Jejich napětí tedy dosahuje v bodě maximálního výkonu 30, resp. 36 V [43]. Takto vytvořené fotovoltaické moduly se dále spojují při montáži do tzv. stringů a to paralelně nebo sériově. Paralelní spojení se využívá pro zvýšení proudu, sériové pro zvýšení napětí, paralelně–sériové pro zvýšení proudu i napětí. Ve stejném stringu by se vždy měly využívat jen panely stejného typu. Shrnutí skladby fotovoltaického pole, stringu, panelu a článku je vidět na obrázku 5.4.



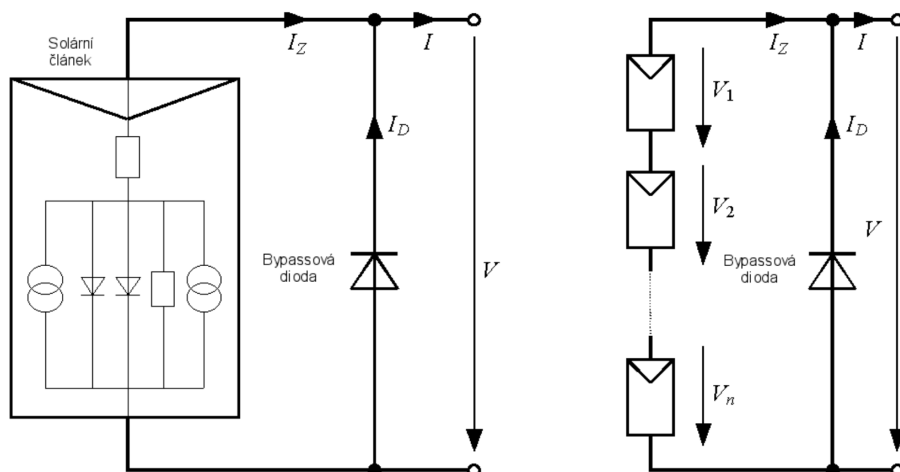
Obrázek 5.4: Skladba fotovoltaického pole, stringu a modulu. Zdroj: [44]

5.5 Stínění a bypass diody

Při obvyklém sériovém propojení fotovoltaických článků do stringu (větve) může docházet k úbytkům proudu z důvodů zastínění části modulů větve. Při tomto typu zapojení totiž prochází celou větví jen takový proud, jaký teče nejméně ozářeným modulem. Může tak nastat situace, kdy jeden z modulů stringu bude ve stínu a tedy nebude generovat téměř žádný proud. Ostatní moduly stejné větve ovšem proud generují a v zastíněném panelu dojde k přeměně této energie na energii tepelnou. Modul ve stínu se tak paradoxně nejvíce zahřívá a může docházet k jevu, kterému přezdíváme tvoření "hot-spotů". To jsou horké (červené) oblasti, které můžeme vidět při pohledu na fotovoltaickou elektrárnu skrze termokameru. V extrémních případech se může fotovoltaický modul zahřát natolik, že mohou být poškozeny některé jeho články.

Proto se dnes ve všech fotovoltaických panelech využívá technologie obtokových diod. Jedna obtoková dioda se obvykle využívá k přemostění 18 až 20 fotovoltaických článků. Její princip je velmi jednoduchý, vygenerovaný proud otevře tuto diodu v propustném směru a namísto umožnění energie v zastíněném článku proud obteče tento článek skrze vedlejší obvod s bypassovou diodou. Tyto diody tedy zvyšují celkový výkon instalace, jelikož snižují dopad zastínění jednotlivých modulů a zároveň chrání panely před poškozením. Způsob zapojení bypassové diody je zobrazen na obrázku 5.5.

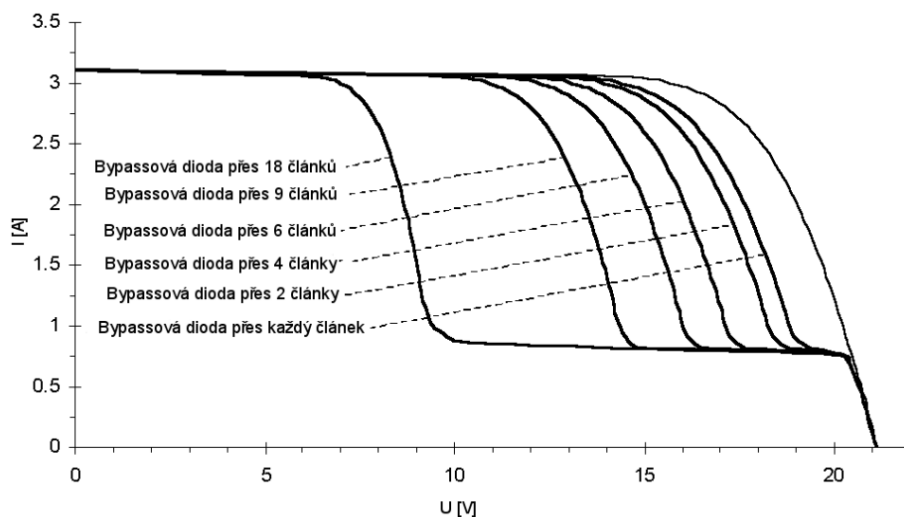
Častým jevem při umístování fotovoltaiky na střechy je v určitou denní dobu dle natočení a sklonu střechy částečné zastínění fotovoltaické instalace komínem objektu. K dalšímu zastínění dochází například kvůli padajícímu listí nebo sněhové pokrývce. Tyto faktory povětšinou zastíňují pouze zlomek instalace, ovšem při absenci obtokových diod v systému by tak způsobily útlum



Obrázek 5.5: Schéma zapojení obtokové (bypass) diody. Zdroj: [45]

celé jedné větve instalace. Při částečném zastínění fotovoltaické instalace se tedy díky obtokové diodě sníží výkon pouze 18ti resp 20ti přemostěných článků. Bez této diody by zastíněním byla zasažena celá větev (pro menší rodinné instalace povětšinou čtvrtina nebo třetina celé instalace) [23].

Zvýšení výkonu solárního panelu obtokovou diodou je dobře vidět na obrázku 5.6, který zachycuje VA charakteristiku fotovoltaického modulu. Na obrázku je znázorněno více možností zapojení bypassové diody (od přemostění každého jednotlivé článku jednou bypassovou diodou až po klasické přemostění po 18 článcích). Zobrazený výsledek měření je za podmínek intenzity ozáření $E = 1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ s povrchovou teplotou modulu $T = 300 \text{ K}$.



Obrázek 5.6: VA charakteristika solárního panelu s bypassovými diodami přes různý počet článků ($E = 1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $T = 300 \text{ K}$). Zdroj: [45]

5.6 Administrativně právní kroky k připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě

V této části jsou popsány kroky, které jsou nutné pro připojení mikrozdroje (fotovoltaické elektrárny do 10 kWp) na distribuční síť na úrovni nízkého napětí (NN), který je určen pro vlastní spotřebu a prodej elektrické energie do veřejné sítě. Tento postup je v souladu se zákonem č. 458/2000 Sb., Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon).

5.6.1 Podání žádosti o připojení

Prvním krokem je podání žádosti o připojení FVE k distributorovi elektrické energie. Tuto žádost je třeba podat nejen v případě výstavby nového mikrozdroje, ale i v případě, že je měněn instalovaný výkon již existující instalace. Dále se tato žádost podává v případě změny tzv. rezervovaného výkonu (maximální výkon, který může fotovoltaický systém posílat do veřejné distribuční sítě) nebo doplnění bateriového úložiště do systému. Žádost není třeba znovu podávat při výměně měničů za nový, pokud má stejný nebo nižší výkon. Po podání žádosti má distributor ze zákona 15 dní na zpracování této žádosti a případné upozornění na její nedostatky a vrácení žádosti k přepracování.

5.6.2 EAN kódy

Po úspěšném připojení lze nově požádat i o přidělení druhého tzv. výrobního EAN (European Article Number) kódu. Díky němu lze i pro mikrozdroje získat lepší nákupní a výkupní ceny elektrické energie. Doposud bylo možné pro malé výrobce (do 10 kWp) mít pouze jeden EAN kód a mít tak smlouvu pouze s jedním dodavatelem. Součástí této smlouvy byla i cena za výkup elektřiny, která se nespotřebuje v daném objektu. Nyní lze díky dvěma kódy podepsat smlouvy dvě, jednu pro odběr a jednu pro dodávky elektrické energie, čímž lze lépe optimalizovat obě ceny.

Existuje také více tarifů, a to jak pro nákup, tak pro prodej elektřiny do distribuční sítě. Dva základní typy jsou fixní tarif a spotový tarif. Fixní dává jistotu neměnné ceny po sjednanou dobu a to jak odebírané tak dodávané elektřiny. Spotový tarif umožňuje kupovat či prodávat elektrickou energii za momentální cenu na spotovém trhu, která se typicky aktualizuje jednou za

den (některé tarify ji aktualizují dokonce v hodinových intervalech).

5.6.3 Ověření chodu sítě výpočtem nebo měřením

Po úspěšném podání žádosti o připojení a vyřízení EAN kódů s podmínkami prodeje a nákupu elektrické energie může následovat ověření chodu sítě. Tento krok si může vyžádat distributor, a to například z důvodu rizika zatížení sítě díky většímu množství připojených mikrozdrojů v dané lokalitě. Tuto kontrolu provádí distributor, a to kontrolním výpočtem nebo přímým měřením na místě odběru/dodávky. Pokud distributor požaduje kontrolní výpočet či měření, má na jeho provedení opět 15 denní lhůtu.

5.6.4 Smlouva o připojení

Po provedení předchozích kroků je třeba zaslat technickou dokumentaci a zapojení fotovoltaické instalace distributorovi veřejné sítě. Ten na jejím základě posoudí, zda je nutná úprava distribuční sítě pro zapojení daného mikrozdroje a nebo kapacita v dané lokalitě stačí pro připojení tohoto zdroje. Pokud není třeba upravovat distribuční síť, zašle distributor smlouvu o připojení. Pokud je třeba upravit distribuční síť, je zaslána smlouva o smlouvě budoucí. Jak na vystavení smlouvy distributorem, tak na její přijetí ze strany majitele objektu, je stanovena lhůta 30 dnů.

Po podpisu smlouvy z obou stran je třeba uhradit vyměřený podíl ze smlouvy. Následně je třeba doložit projektovou dokumentaci návrhu FVE, kterou dodavatel přezkoumá a zašle vyjádření. Pro ČEZ Distribuci, a. s., je možné se tomuto kroku vyhnout, při splnění zapojení elektrárny dle jednoho z předepsaných schémat. Tato schémata jsou volně dostupná na stránkách ČEZ Distribuce, a. s. Pokud je nutné projektovou dokumentaci zaslat na vyjádření, má k ní distributor ze zákona dalších 30 dní na toto vyjádření.

5.6.5 Fáze realizace

Po absolvování výše zmíněných administrativních kroků lze zahájit realizaci stavby fotovoltaické elektrárny. Stavba musí proběhnout podle distributorem schválené projektové dokumentace. Pokud bylo třeba kvůli výstavbě mikrozdroje upravovat distribuční síť v dané lokalitě, je tato úprava prováděna v této fázi. Zároveň je žadatel o připojení fotovoltaické elektrárny povinen zaplatit 50 % nákladů spojených s touto úpravou distribuční sítě. Termín, do kdy musí distributor ukončit úpravy na distribuční síti, není pevně stanoven

- ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 (332000) Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem – Norma specifikuje základní požadavky týkající se ochrany před úrazem elektrickým proudem včetně základní ochrany (ochrany před přímým dotykem) a ochrany při poruše (ochrany před nepřímým dotykem) osob a hospodářských zvířat. Zabývá se také uplatněním a koordinací těchto požadavků ve vztahu k vnějším vlivům. Uvádí též požadavky na uplatnění doplňkové ochrany v určitých případech pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem"
- ČSN 33 2000-5-52 ed. 2 (332000) Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení – Elektrická vedení – Tato norma se zabývá výběrem a stavbou elektrických vedení. Uvádí způsoby instalace elektrických vedení (vyjma vedení podle 521.4) ve vztahu k druhům použitých vodičů nebo kabelů, ve vztahu k umístění vedení a v přílohách informuje o proudové zatížitelnosti elektrických vedení podle druhu vedení, způsobu jeho uložení a podle vnějších vlivů, které na vedení během jeho provozování působí. Stanoví též zásady pro provedení vedení s ohledem na nebezpečí šíření požáru i s ohledem na blízkosti rozvodů sdělovacích i neelektrických.
- ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 (332000) Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče – Tato norma je určena pro zřizování uzemnění a pro ochranné vodiče včetně vodičů ochranného pospojování tak, aby elektrická instalace byla bezpečná. Norma je zaměřena na provedení uzemnění a pospojování v objektech a prostorech s elektrickými instalacemi. Nově norma zohledňuje též požadavky na uzemnění z hlediska ochrany před bleskem.
- ČSN 33 2000-6 ed. 2 (332000) Elektrické instalace nízkého napětí - Část 6: Revize – Tato norma stanoví požadavky pro výchozí a pravidelnou revizi elektrické instalace.

- ČSN ISO 3864-3 (018011) Grafické značky - Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky - Část 3: Zásady navrhování grafických značek pro použití v bezpečnostních značkách – Tato norma uvádí zásady, kritéria a pokyny pro navrhování grafických značek a prvků bezpečnostních značek na bezpečnostních štítcích výrobků.
- ČSN 33 0010 ed. 2 (330010) Elektrická zařízení - Rozdělení a pojmy – Tato norma platí pro posuzování elektrických zařízení. Stanoví základní jednotnou soustavu pojmů, názvů a definic týkajících se elektrických zařízení a určuje rozdělení těchto zařízení.
- ČSN EN 60529 (330330) Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód) – Platí pro klasifikaci stupňů ochrany krytem elektrických zařízení se jmenovitým napětím do 72,5 kV.
- ČSN 33 1500 (331500) Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických zařízení – Norma je základní normou pro provádění revizí elektrických zařízení ve smyslu ČSN 33 0010 a zařízení pro ochranu před účinky atmosférické a statické elektřiny.
- ČSN EN 50110-1 ed. 3 (343100) Obsluha a práce na elektrických zařízeních - Část 1: Obecné požadavky – Tato norma pojednává o bezpečnosti práce při obsluze elektrických zařízení.
- ČSN 33 2000-7-712 ed. 2 (332000) Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy – Tato část se vztahuje k elektrické instalaci PV zdroje určenému k napájení celé nebo části instalace a dodávce elektrické energie do distribuční rozvodné sítě nebo pro místní spotřebu.

■ 5.7.2 Způsob technického řešení elektrických rozvodů od napojení fotovoltaické elektrárny po distribuční síť

Objekt rodinného domu je připojen pod zemí vedeným kabelem CYKY 4 x 10 mm do distribuční sítě ČEZ Distribuce, a. s. Tento stávající kabel

umožňuje připojení nové FVE k distribuční síti. Jako výchozí napájecí bod pro napájecí rozvody v objektu bude využita hlavní elektroměrová rozvodná skříň, umístěná na hranici pozemku (4.7 označení R), tedy na veřejně přístupném místě v souladu s Připojovacími podmínkami ČEZ Distribuce, a. s. Dům bude napojen z tohoto hlavního elektroměrového rozvaděče zmíněným kabelem CYKY. Uvnitř bude umístěn jeden třífázový (fakturační) elektroměr a hlavní ovládací jistič. Hodnota jističe před elektroměrem vyhovuje návrhu a bude zachována na hodnotě 3 x 25 A.

Kabelové trasy v objektu budou provedeny kabely a vodiči s Cu jádry. Rozvody el. energie na střeše RD budou vedeny ve svazcích v uzavřené kabelové chrániče. Provedení elektroinstalace odpovídá platným (výše uvedeným) ČSN a prostředí. Objekt bude vybaven ochranou před účinky atmosférické elektřiny v souladu s § 36 vyhl. č. 268/2009 Sb., Vyhlášky o technických požadavcích na stavby.

5.7.3 Zapojení prvků FVE do technologického celku

Fotovoltaické panely budou instalovány na střeše stavebního domku (přílehlé konstrukci k rodinné dřevostavbě) na adrese Bezručova 1264/8, Říčany 251 01. Celkový počet instalovaných modulů JA Solar: JAM72S20 455/MR s černým rámem Mono bude 21 s celkovým výkonem 9,82 kWp.

Zapojení bude realizováno ve třech sekcích (strinzích) po sedmi modulech. Stringy fotovoltaických panelů budou serio–paralelně propojeny rozbočovacími konektory MC4 T a DC kabely SC 1500 V/25 A 1x6 mm² do DC části regulátoru MPPT Victron SmartSolar MPPT 450/200-Tr.

Tento regulátor bude napojen na 5 kusů akumulátorů LiFePO PylonTech US 3000B 48 V 3,55 kWh o celkové kapacitě 14,2 kWh. K akumulátorům budou připojeny tři jednofázové měniče Victron Multiplus II 48 V/5000 VA, ze kterých budou napájeny fáze L1, L2 a L3 v domácí instalaci. DC část bude chráněna 3 ks svodičů přepětí typu 1 a 2.

Z AC strany měničů Victron Multiplus II 48 V/5000 VA bude napojen stávající rozvaděč rodinného domu přes hlavní vypínač. V podružném domovním rozvaděči RD bude osazena podpěťová a přepěťová ochrana U-f Guard.

Přebytky energie budou využity k nabíjení 5ti kusů baterií Pylontech US 3000B 48 V 3,55 kWh. AC výstup z měničů bude přecházet přes jistič 3 x 40 A a bude napojen na AC domovní rozvod.

Kapitola 6

Technické a ekonomické zhodnocení navržených fotovoltaických elektráren

Ekonomické zhodnocení obou návrhů fotovoltaické elektrárny je vyhodnoceno pomocí výpočtu vybraných ekonomických kritérií. Hlavním hodnotícím kritériem je čistá současná hodnota a reálná doba návratnosti, doplňujícím hodnotícím kritériem je vnitřní výnosové procento. Základ výpočtu tvoří toky hotovosti, které jsou v čase diskontovány. Jako nejvýhodnější řešení je považována varianta, která má na konci doby hodnocení nejvyšší současnou hodnotu z obou projektů.

6.1 Použitá ekonomická kritéria

V této části práce jsou popsány jednotlivé dílčí části výpočtu ekonomického zhodnocení. Každá složka výpočtu je zde vysvětlena a jsou zde popsány vstupy, které jsou voleny pro výpočet daných návrhů fotovoltaického systému.

6.1.1 Tok hotovosti

Tok hotovosti je základním ekonomickým kritériem, které bude využito pro zhodnocení obou navržených projektů. Je získáno jakožto rozdíl finančních úspor a provozních výdajů, reinvestic a jednorázových obnovovacích výdajů. Investiční podpora (pokud je ve výpočtu započítávána) se započítává od prvního roku hodnocení na straně příjmů. V nultém roce zhodnocení se do toku hotovosti započítávají pouze investiční výdaje na realizaci projektu. Tok hotovosti se vypočítá pro nultý rok následovně.

pro $t = 0$:

$$CF_0 = IN, \quad (6.1)$$

kde CF_0 [Kč] představuje tok hotovosti (cash flow) v nultém roce a IN [Kč] jsou celkové investiční výdaje na realizaci projektu.

pro $t \geq 0$:

$$CF_t = U_t + D_t - N_{pt} - IN_{rt}, \quad (6.2)$$

kde CF_t představuje tok hotovosti [Kč] v roce t , U_t [Kč] celkovou finanční úsporu za rok t , D_t je celková investiční či provozní podpora [Kč] (dotace) přiznaná projektu v roce t , N_{pt} [Kč] jsou celkové provozní výdaje v roce t a IN_{rt} [Kč] jsou celkové výdaje za reinvestice v roce t .

Z předchozích dvou rovnic plyne finální rovnice pro sestavení kumulovaného toku hotovosti.

$$CCF_t = \sum_{t=0}^{Th} CF_t, \quad (6.3)$$

kde CCF_t [Kč] značí kumulovaný tok hotovosti v roce t , CF_t [Kč] je tok hotovosti v roce t a Th [roky] je doba hodnocení projektu.

6.1.2 Diskontovaný tok hotovosti

Dalším ekonomickým kritériem, které je třeba vypočítat pro oba projekty, je diskontovaný tok hotovosti. Toky hotovosti jsou totiž určeny v různých časových obdobích a je třeba je přepočítat na současnou hodnotu. Z té lze poté vypočítat čistou současnou hodnotu a vnitřní výnosové procento projektu. K tomuto přepočtu se využívá tzv. diskontování. Procentuální vyjádření diskontní míry určuje procentní výnos investice do projektu se stejnou mírou rizika, jakou má hodnocený projekt. Využívá se také na stanovení chtěné výnosnosti projektu investorem.

Častým zvykem je volit diskontní míru stejnou, jaká je úroková míra. Výsledek by poté měl vyjít kladně, aby výsledná investice byla výhodnější než peníze uložené na spořicí účet s danou úrokovou mírou. Ve výpočtu této práce je využita diskontní míra 4 %. Zároveň je zde uvedena tabulka, která vychází z citlivostní analýzy této proměnné. Diskontovaný tok hotovosti v daném roce je vypočten dle následující rovnice.

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (6.4)$$

kde DCF_t [Kč] je diskontovaný tok hotovosti v roce t , CF_t [Kč] je tok hotovosti v roce t , a r [-] stanovuje diskontní míru. Takto se vypočte diskontovaný tok pro daný rok, pro kumulovaný diskontovaný tok hotovosti v téže roce

využijeme následující rovnici

$$CDCF_t = \sum_{t=0}^{Th} \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (6.5)$$

kde $CDCF_t$ [Kč] je kumulovaný diskontovaný tok hotovosti v roce t , CF_t [Kč] je tok hotovosti v roce t , Th [roky] je doba hodnocení projektu a r [-] značí diskontní míru.

6.1.3 Zůstatková hodnota zařízení

V momentálně platné vyhlášce o energetickém auditu č. 140/2021 Sb. je v metodice ekonomického výpočtu začleněna tzv. zůstatková hodnota zařízení na konci doby hodnocení. Pokud předpokládaná životnost některého ze zařízení využitého v rámci investice či reinvestice přesáhne dobu hoJA Solar: JAM72S20 455/MR s černým rámem Mondnocení projektu, určí se jeho zůstatková hodnota vypočtením čisté současné hodnoty peněžních toků ve zbývajících letech životnosti zařízení a do výpočtu se zůstatková hodnota zahrne v posledním roce hodnocení.

Platí, že na začátku doby hodnocení je zůstatková hodnota zařízení rovna pořizovací hodnotě zařízení. Pokud by mělo zařízení stejnou dobu životnosti jako je doba hodnocení projektu, pak v posledním roce hodnocení bude zůstatková hodnota takového zařízení nulová. Zůstatkovou hodnotu definuje následující vztah

$$N_{ZU,Th} = \frac{IN_R \cdot (T_Z - T_{ZU})}{T_Z} \cdot (1+r)^{-Th}, \quad (6.6)$$

kde $N_{ZU,Th}$ je zůstatková hodnota zařízení na konci doby hodnocení [Kč], IN_R jsou reinvestice a jednorázové obnovovací výdaje [Kč], T_Z je doba životnosti počítaného zařízení [roky], T_{ZU} je doba od poslední započtené reinvestice daného zařízení až do konce doby hodnocení projektu [roky], Th je doba hodnocení projektu [roky] a r značí diskontní míru [-].

6.1.4 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (Net Present Value neboli NPV) představuje nej-důležitější ekonomické kritérium tohoto projektu. Je získávána součtem všech diskontovaných toků hotovosti, které souvisí s projektem a jsou vypočteny v rámci doby hodnocení projektu. Tato hodnota může nabývat jak kladné tak

záporné hodnoty, pokud je její hodnota rovná 0 znamená to, že daný projekt dosahuje právě požadované hodnoty výnosnosti projektu (dle stanoveného diskontu, růstu cen atp.). Z tohoto důvodu lze snadno využít toto ekonomické kritérium pro porovnání projektů, které mají stejnou dobu hodnocení a diskontní míru. Při porovnání výsledku čisté současné hodnoty takových projektů lze pak jednoduše určit, který ze dvou posuzovaných projektů bude pro investora výhodnější. Čím vyšší kladnou hodnotu NPV projekt má, tím větší výnos investorovi přinese. Tato hodnota se vypočte dle vztahu 6.7.

$$NPV = \sum_{t=0}^{Th} DCF_t + \sum_{x=1}^n N_{ZUx,Th} = \sum_{t=0}^{Th} \frac{CF_t}{(1+r)^t} + \sum_{x=1}^n N_{ZUx,Th}, \quad (6.7)$$

kde NPV je čistá současná hodnota [Kč], DCF_t je diskontovaný tok hotovosti v roce t [Kč], $N_{ZUx,Th}$ je zůstatková hodnota zařízení na konci doby hodnocení projektu [Kč], CF_t představuje tok hotovosti v roce hodnocení t [Kč], Th je doba hodnocení [roky] a r značí diskontní míru [-].

6.1.5 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento (označované také jako IRR neboli internal rate of return), jak jeho název naznačuje, vypovídá o rentabilitě vložených prostředků do posuzovaného projektu. Vyjadřuje se v procentech a jedná se o takovou diskontní míru, při které je rozdíl diskontovaného kumulovaného toku hotovosti, celkových investičních výdajů na realizaci projektu a zůstatkové hodnoty roven nule. Zjednodušeně je to taková diskontní míra, při které vyjde právě nulová hodnota NPV (čisté současné hodnoty).

Díky vnitřnímu výnosovému procentu lze také na první pohled zjistit, zda bude projekt vhodný k doporučení investorovi či nikoliv. Stačí jen porovnat diskontní míru a vnitřní výnosové procento projektu, pokud je IRR vyšší, bude projekt dosahovat vyšší než požadované výnosnosti. Pokud je vyšší diskontní míra projekt nedosáhl požadované výnosnosti. Vnitřní výnosové procento lze vypočítat z podmínky, kterou udává rovnice 6.8.

$$\sum_{t=0}^{Th} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN + \sum_{x=1}^n N_{ZUx,Th}, \quad (6.8)$$

kde IRR označuje výnosové procento [%], CF_t je tok hotovosti v roce t [Kč], IN jsou celkové investiční výdaje pro realizaci posuzovaného projektu [Kč], $N_{ZUx,Th}$ je zůstatková hodnota zařízení na konci doby hodnocení projektu

[Kč] a Th je doba hodnocení [roky].

6.1.6 Reálná doba návratnosti

Reálná doba návratnosti představuje jednoduchou rovnici která překlápí hodnotu peněz do časové osy. Jedná se o dobu, za kterou dosáhne kumulovaný diskontovaný tok hotovosti stejnou částku, jakou je součet všech investic a reinvestic do posuzovaného projektu. Nebo také hodnota kumulovaného diskontovaného toku hotovosti, jejíž rozdíl s investicemi a reinvesticemi za dobu hodnocení projektu je roven nule. Tuto dobu návratnosti lze vypočítat dle rovnice 6.9.

$$\sum_{t=0}^{Td} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_p = 0, \quad (6.9)$$

kde Td je reálná (diskontovaná) hodnota návratnosti projektu [roky], CF_t je tok hotovosti v roce t [Kč], I_p jsou veškeré plánované investice a reinvestice posuzovaného projektu za celou dobu hodnocení [Kč] a r značí diskontní míru [-].

6.2 Ekonomické hodnocení projektu FVE 1

Výše stanovená kritéria jsou vypočtena za pomoci excelové tabulky, která je přiložena jako příloha práce. Zde budou popsány vstupní hodnoty, které jsou důležité pro výpočet čisté současné hodnoty obou navržených projektů. První vstupní hodnotou jsou investiční výdaje na výstavbu fotovoltaické elektrárny. Tyto výdaje jsou započteny v nultém roce hodnocení projektu. V tabulce 6.1 jsou sepsány komponenty potřebné k uskutečnění výstavby FVE 1 spolu s jejich cenou. Sestavený rozpočet vychází z reálných faktur uskutečněné stavby fotovoltaické elektrárny. Zahrnuje nejen zařízení nutná pro funkci fotovoltaické elektrárny, ale také cenu za návrh, konfiguraci, instalaci, dopravu a kompletní revizi celého díla. Ceny jsou uváděny bez DPH.

6.2.1 Přiznání dotační podpory

V říjnu roku 2021 byly vydány nové podmínky dotačního programu Nová zelená úsporám. Jedná se o investiční podporu, která je rozdělena do několika kategorií. Ty jsou založeny na typu připojení fotovoltaiky, možnosti akumulace energie a instalovaném výkonu. Základní kategorie jsou [46]:

- Fotovoltaika na přípravu teplé vody (Přípravu teplé vody řeší podoblast

Rozpočet projektu FVE 1			
Položka rozpočtu	Počet kusů	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Celková cena bez DPH [Kč]
Fotovoltaický modul JA Solar: JAM72S20 455/MR	21	4645	97 545
Měnič Victron Multiplus II 48/5000 VA/50A	3	40 954	122 863
Regulátor Victron SmartSolar MPPT RS 450/200-Tr	1	16 459	16 459
LiFePO akumulátor PylonTech US 3000B 48V 3,55kWh	4	31 933	127 732
Krajová konstrukce pro uchycení panelů (šindel)	12	1 077	12 923
Řídicí jednotka Victron Venus GX	1	6 643	6 643
Victron Busbar 250A 4P + cover	2	1 512	3 024
Elektromateriál	1	23 447	23 447
Elektromontáž 3f	1	12 650	12 650
Běžná elektromontáž	1	14 400	14 400
Návrh, nastavení a konfigurace systému	1	5 000	5 000
Vypracování projektové dokumentace	1	2 875	2 875
Zpracování dotační podpory	1	4 600	4 600
Výchozí revize elektrárny	1	3 500	3 500
Doprava	1	5 000	5 000
Rezerva	1	17 166	17 166
Sleva			-22 400
Celková cena bez DPH			453 427
Měrné náklady bez DPH [Kč/kW]			46 174
Celková cena s DPH			548 647
Měrné náklady s DPH [Kč/kW]			55 870

Tabulka 6.1: Rozpočet projektu FVE 1. V rozpočtu jsou započteny jen 4 kusy akumulátorů, jelikož jeden byl získán jako dar (ve výpočtu s ním není počítáno).

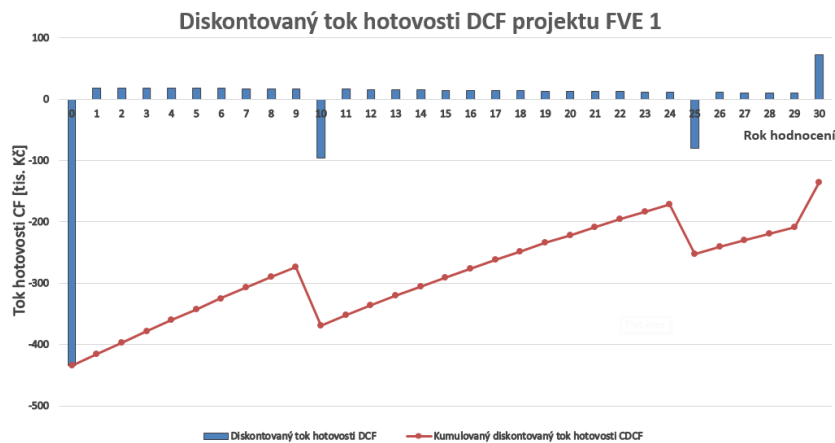
provozní výdaje patří pravidelná revize elektrárny a cena ročního pojištění. Jednorázovými náklady jsou poté reinvestice na konci životnosti jednotlivých zařízení v průběhu doby hodnocení celého projektu.

Do výpočtu je zahrnuta cena paušálního ročního pojištění ve výši 1 000 Kč. Dále se zde počítá s částkou 3 890 Kč jednou za tři roky za povinnou

Výpočet čisté současné hodnoty návrhu FVE 1																																		
Rádek	FVE 1	Jednotky	Hodnota	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052
1	Doba hodnocení	(roky)	30	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2	Diskontní sazba	(-)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
3	Meziroční růst nákladů	(-)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	Růst prodejní ceny elektrické energie	(-)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	Instalovaný výkon	(kW)	9,82																															
6	Měrné náklady	(Kč/kW)	46 174																															
7	Investiční výdaje a reinvestice	(Kč)	453 427										166 052										204 371					243 814						
8	Revize					4 240				4 590			4 940			5 290			5 641			5 991				6 341		6 691			7 041			
9	Pojištění	(Kč)	1 000	1 000	1 030	1 060	1 090	1 120	1 150	1 180	1 210	1 240	1 270	1 300	1 330	1 360	1 390	1 420	1 450	1 480	1 510	1 540	1 570	1 600	1 630	1 660	1 690	1 720	1 750	1 780	1 810	1 840	1 870	1 900
10	Meziroční růst nákladů	(%)		1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,30	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51	1,54	1,57	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,87	1,90
11	Roční výroba elektrické energie	(kWh)	10 000										0,005	9 950	9 900	9 851	9 801	9 752	9 704	9 655	9 607	9 559	9 511	9 464	9 416	9 369	9 322	9 276	9 229	9 183	9 137	9 092	9 046	
12	Prodejní cena elektrické energie z FVE	(Kč/kWh)	2																															
13	Růst prodejní ceny elektrické energie	(%)		1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,30	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51	1,54	1,57	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,87	1,90
14	Výnosy	(Kč)	20 000	20 000	20 600	21 200	21 800	22 400	23 000	23 600	24 200	24 800	25 400	26 000	26 467	26 929	27 385	27 836	28 282	28 723	29 159	29 589	30 015	30 436	30 851	31 262	31 668	32 069	32 465	32 856	33 243	33 625	34 002	34 375
15	Roční CF (tok hotovosti)	(Kč)	-36 608	-434 427	19 570	20 140	20 710	21 280	21 850	22 420	22 990	23 560	24 130	-141 352	25 137	25 569	25 995	26 416	26 832	27 243	27 649	28 049	28 445	-175 536	29 221	29 602	29 978	30 349	-213 099	31 076	31 433	31 785	32 132	244 243
16	Odúročitel	(%)		1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31
17	DCF (diskontovaný tok hotovosti)	(Kč)	-434 427	18 817	18 621	18 411	18 190	17 959	17 719	17 471	17 215	16 953	-95 492	16 329	15 970	15 612	15 255	14 899	14 545	14 194	13 846	13 501	-80 112	12 823	12 491	12 163	11 840	-79 937	11 209	10 902	10 600	10 303	75 305	
18	CDSF (kumulovaný DCF)	výpočet	-226 827 Kč	-434 427	-415 610	-396 989	-378 578	-360 388	-342 429	-324 710	-307 239	-290 024	-273 071	-368 563	-352 234	-336 264	-320 652	-305 398	-290 499	-275 953	-261 759	-247 913	-234 412	-314 524	-301 701	-289 210	-277 048	-265 208	-345 145	-333 936	-323 034	-312 435	-302 131	-226 827
19	NPV (čistá současná hodnota)	výpočet	-226 827 Kč																															
20	Diskontovaná návratnost	výpočet	0																															

Tabulka 6.2: Finální výpočetní tabulka ekonomických kritérií projektu FVE 1.

Na obrázku 6.1 je zobrazen kumulovaný diskontovaný tok hotovosti projektu FVE 1. Zároveň je zde vidět také diskontovaný tok hotovosti v každém roce hodnocení a reinvestiční výdaje projektu.



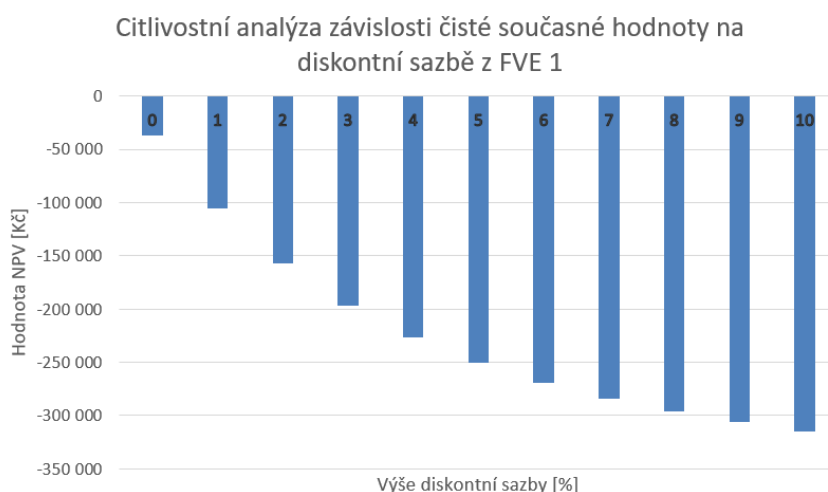
Obrázek 6.1: Vývoj toku hotovosti projektu FVE 1 v čase. Zdroj: Vlastní

6.2.4 Citlivostní analýzy

Pro lepší výpovědní hodnotu výsledku ekonomického zhodnocení projektu byly vypracovány také citlivostní analýzy zvolených parametrů. Jsou prezentovány citlivostní analýzy (CA) pro výši diskontní sazby, výši investičních výdajů projektu a výši prodejní ceny elektrické energie. Pro každou analýzu byla zpracována tabulka daného ekonomického parametru a výsledné čisté hodnoty projektu při zachování ostatních parametrů na výchozí hodnotě výše prezentovaného návrhu 6.2.

Výše diskontní sazby [%]	Hodnota NPV [Kč]
0	-36 608
1	-105 240
2	-157 007
3	-196 447
4	-226 827
5	-250 510
6	-269 211
7	-284 179
8	-296 331
9	-306 340
10	-314 702

Tabulka 6.3: Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na výši diskontní sazby projektu FVE 1.



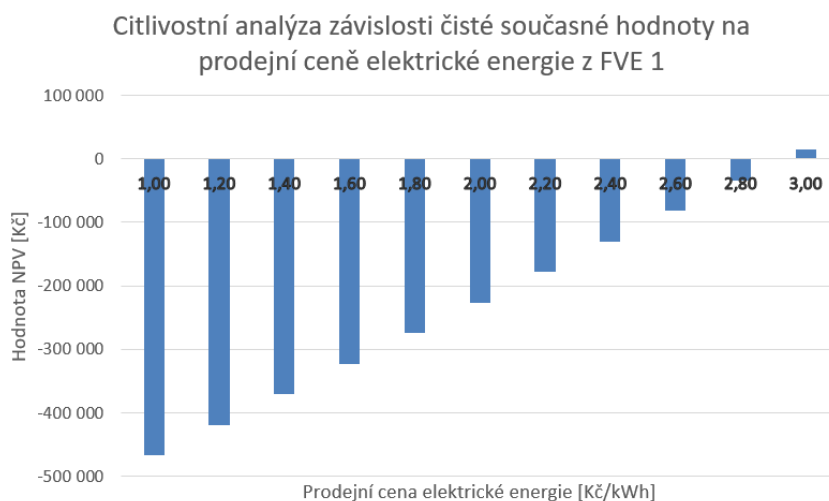
Obrázek 6.2: Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na diskontní sazbě projektu FVE 1. Zdroj: Vlastní

Na obrázku 6.2 je vidět, že projekt FVE 1 má zápornou hodnotu čisté současné hodnoty i pro diskontní sazbu 0 %. Jedná se tedy o ekonomicky nenávratný projekt pro uvažované nastavení ekonomických parametrů. Při úvaze diskontní sazby 9 % se dostává hodnota NPV až nad -300 000 Kč a pro 10 % činí hodnota -314 702 Kč. V tabulce 6.3 jsou vidět podrobná čísla hodnoty NPV pro každou hodnotu diskontní sazby od 0 do 10 %.

Nelze správně odhadnout průměrnou cenu silové složky elektřiny v dalších

Prodejní cena elektrické energie [Kč/kWh]	Hodnota NPV [Kč]
1,00	-468 357
1,20	-420 051
1,40	-371 745
1,60	-323 439
1,80	-275 133
2,00	-226 827
2,20	-178 521
2,40	-130 215
2,60	-81 909
2,80	-33 603
3,00	14 703

Tabulka 6.4: Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na prodejní ceně elektrické energie projektu FVE 1.



Obrázek 6.3: Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na prodejní ceně elektrické energie projektu FVE 1. Zdroj: Vlastní

30 letech a proto byla vytvořena citlivostní analýza hodnoty NPV na prodejní ceně elektrické energie. Její výsledek je zobrazen na obrázku 6.3 s podrobnými

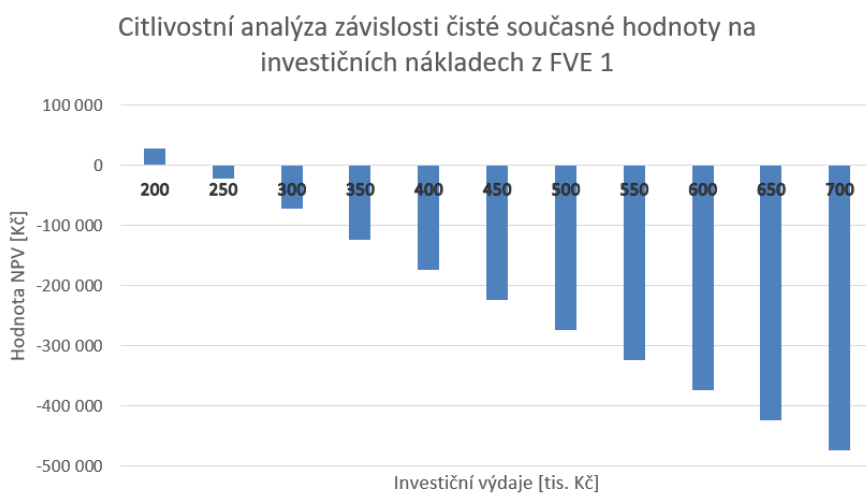
údaji v tabulce 6.4. Rozsah prodejní ceny elektrické energie byl stanoven na 1–3 Kč/kWh.

Prodejní cena vyrobené elektrické energie hraje důležitou roli v ekonomickém výpočtu, což potvrzuje fakt, že pokud by byla hodnota této ceny vyšší než 2,94 stává se projekt FVE 1 ekonomicky návratným na konci doby jeho hodnocení. Pro cenu 3 Kč/kWh je jeho čistá současná hodnota na konci doby hodnocení 14 703 Kč.

Poslední citlivostní analýza graficky znázorněná na obrázku 6.4 ukazuje, jak

Investiční náklady projektu [tis. Kč]	Hodnota NPV [Kč]
200	26 600
250	-23 400
300	-73 400
350	-123 400
400	-173 400
450	-223 400
500	-273 400
550	-323 400
600	-373 400
650	-423 400
700	-473 400

Tabulka 6.5: Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na investičních nákladech projektu FVE 1.



Obrázek 6.4: Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na investičních nákladech projektu FVE 1. Zdroj: Vlastní

se změni čistá současná hodnota projektu při manipulaci s výškou investičních

		Výpočet čisté současné hodnoty návrhu FVE 2																																	
Rádek	FVE 2	Jednotky	Hodnota	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	
1	Doba hodnocení	(roky)	30	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
2	Diskontní sazba	(-)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
3	Meziroční růst nákladů	(-)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
4	Růst prodejní ceny elektrické energie	(-)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
5	Instalovaný výkon	(kW)	9,82																																
6	Měrné náklady	(Kč/kW)	39 491																																
7	Investiční výdaje a reinvestice	(Kč)	387 800											130 000						51 040				160 000											
8	Revize					4 240				4 590			4 940			5 290				5 641				6 341				6 691				7 041			
9	Pojištění	(Kč)	1 000	1 000	1 030	1 060	1 090	1 120	1 150	1 180	1 210	1 240	1 270	1 300	1 330	1 360	1 390	1 420	1 450	1 480	1 510	1 540	1 570	1 600	1 630	1 660	1 690	1 720	1 750	1 780	1 810	1 840	1 870	1 900	
10	Meziroční růst nákladů	(%)		1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,30	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51	1,54	1,57	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,87	1,90	
11	Roční výroba elektrické energie	(kWh)	10 000											0,005	9 950	9 900	9 851	9 801	9 752	9 704	9 655	9 607	9 559	9 511	9 464	9 416	9 369	9 322	9 276	9 229	9 183	9 137	9 092	9 046	
12	Prodejní cena elektrické energie z FVE	(Kč/kWh)	2																																
13	Růst prodejní ceny elektrické energie	(%)		1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,30	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51	1,54	1,57	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,87	1,90	
14	Výnosy	(Kč)	20 000	20 000	20 600	21 200	21 800	22 400	23 000	23 600	24 200	24 800	25 400	26 000	26 467	26 929	27 385	27 836	28 282	28 723	29 159	29 589	30 015	30 436	30 851	31 262	31 668	32 069	32 465	32 856	33 243	33 625	34 002	34 375	
15	Roční CF (tok hotovosti)	(Kč)	90 447	-368 800	19 570	20 140	20 710	21 280	21 850	22 420	22 990	23 560	24 130	-105 300	25 137	25 569	25 995	26 416	-24 208	27 243	27 649	28 049	28 445	-131 164	29 221	29 602	29 978	30 349	30 715	31 076	31 433	31 785	32 132	32 475	
16	Odúročitel	(%)		1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	
17	DCF (diskontovaný tok hotovosti)	(Kč)		-368 800	18 817	18 621	18 411	18 190	17 959	17 719	17 471	17 215	16 953	-71 137	16 329	15 970	15 612	15 255	-13 442	14 545	14 194	13 846	13 501	-59 862	12 823	12 491	12 163	11 840	11 522	11 209	10 902	10 600	10 303	10 013	
18	CDSF (kumulovaný DCF)	výpočet	-118 768 Kč	-368 800	-349 983	-331 362	-312 951	-294 761	-276 802	-259 083	-241 612	-224 397	-207 444	-278 581	-262 252	-246 282	-230 670	-215 415	-228 857	-214 312	-200 118	-186 272	-172 771	-232 632	-219 809	-207 318	-195 156	-183 316	-171 794	-160 585	-149 684	-139 084	-128 781	-118 768	
19	NPV (čistá současná hodnota)	výpočet	-118 768 Kč																																
20	Diskontovaná návratnost	výpočet	0																																

Tabulka 6.6: Finální výpočetní tabulka ekonomických kritérií projektu FVE 2.

Položkový rozpočet celého projektu je uveden v tabulce 6.7. Zde jsou uvedeny veškeré investiční náklady, které jsou započítány do výpočtu v roce 0. Následně je počítáno tak jako v projektu FVE 1 s každoročním výdajem na pojištění v cenové výši 1000 Kč bez DPH a také cena 3890 Kč bez DPH za povinnou revizní zprávu každé tři roky provozu.

Rozpočet projektu FVE 2			
Položka rozpočtu	Počet kusů	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Celková cena bez DPH [Kč]
Fotovoltaický modul FV panel Huasun HJT 460 Wp	21	3 700	77 700
Měnič Solinteg hybridní třífázový MHT-10K-25	1	35 200	35 200
Akumulátor Pylontech Force H2 3,55 kWh	3	28 500	85 500
Řídicí modul BMS FC0500M-40S pro Force H2 - V2 (2. generace)	1	18 400	18 400
AC a DC rozvaděč s jisticími a přepětovými ochranami	1	30 000	30 000
Hybridní rozvaděč	1	20 000	20 000
Konstrukce hliník, nerez, pozink (dle typu krytiny)	21	1 000	21 000
Elektromateriál AC/DC	1	31 000	31 000
Elektroinstalace, montáž panelů, doprava	1	50 000	50 000
NZÚ, projektová dokumentace, administrativa	1	19 000	19 000
Celková cena bez DPH			387 800
Měrné náklady bez DPH [Kč/kW]			39 491
Celková cena s DPH			469 238
Měrné náklady s DPH [Kč/kW]			47 784

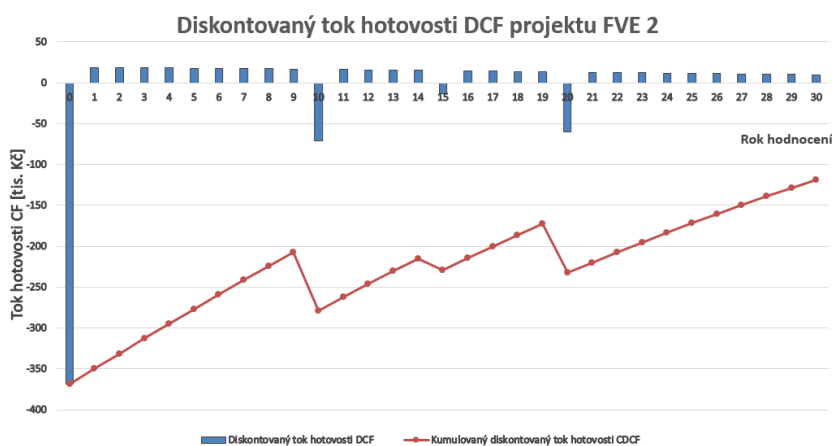
Tabulka 6.7: Rozpočet projektu FVE 2.

6.3.1 Výsledek ekonomického hodnocení projektu FVE 2

Zvolené hlavní ekonomické kritérium pro hodnocení obou projektů, tedy čistá současná hodnota tohoto projektu, vyšla opět záporná. Její přesná hodnota na konci doby hodnocení projektu je -118 768 Kč. Jedná se opět o ekonomicky nenávratný projekt, ovšem ve srovnání s návrhem FVE 1 vychází

tato varianta po ekonomické stránce lépe.

Doba obnovy je v tomto výpočtu počítána pro akumulátory po 10 letech a pro měnič po 15 letech. Tyto údaje vychází z údajů výrobce o životnosti jednotlivých součástí. Reinvestiční výdaje do obnovy fotovoltaických panelů nejsou započítány (stejně jako u projektu FVE 1), ale je počítáno s postupným snižováním výkonu panelů v průběhu let po desátém roce životnosti. V přesných číslech je to o 0,5 % ročně počínaje desátým rokem. Tedy dojde ke snížení o 10 % na konci doby hodnocení.



Obrázek 6.5: Vývoj toku hotovosti projektu FVE 2 v čase. Zdroj: Vlastní

Na obrázku 6.5 je zobrazen graf diskontovaných toků hotovosti projektu FVE 2. Jsou zde vidět výše zmíněné reinvestice v letech 10, 15 a 20. V grafu je také uveden kumulovaný diskontovaný tok hotovosti, který se za dobu hodnocení nepřeklopí do kladných čísel a končí na hodnotě -118 768 Kč.

6.3.2 Citlivostní analýzy

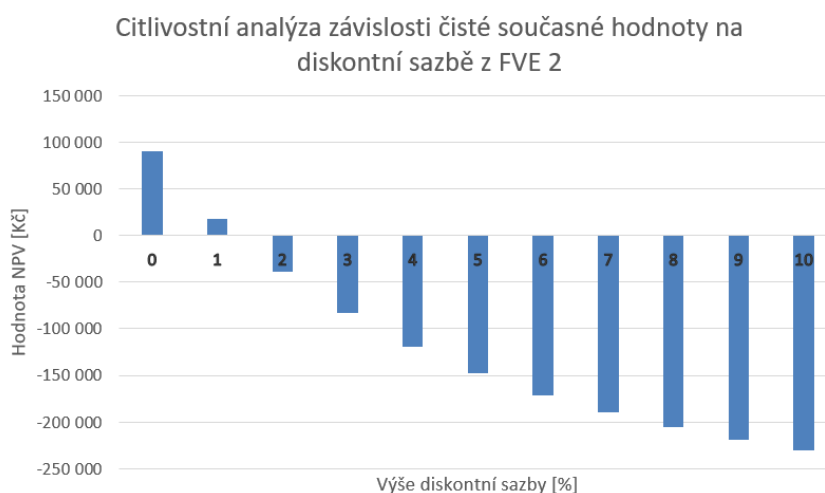
Stejně jako pro projekt FVE 1 byly vypracovány citlivostní analýzy pro lepší výpovědní hodnotu výpočtu projektu FVE 2. Citlivostní analýzy byly provedeny pro závislost čisté současné hodnoty na diskontní sazbě, prodejní ceně elektrické energie a investičních výdajích.

Již v první prezentované citlivostní analýze vidíme oproti projektu FVE 1 lepší výsledky, jelikož při volbě diskontní sazby 0 % a 1 % je projekt v kladných hodnotách čisté současné hodnoty a jedná se tedy o ekonomicky návratný projekt, jak je vidět na obrázku 6.6. Podrobné hodnoty této vizualizace jsou

zobrazeny v tabulce 6.8

Diskontní sazba [%]	Hodnota NPV [Kč]
0	90 447
1	18 427
2	-38 167
3	-82 986
4	-118 768
5	-147 578
6	-170 977
7	-190 155
8	-206 020
9	-219 266
10	-230 432

Tabulka 6.8: Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na výši diskontní sazby projektu FVE 2.



Obrázek 6.6: Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na diskontní sazbě projektu FVE 2. Zdroj: Vlastní

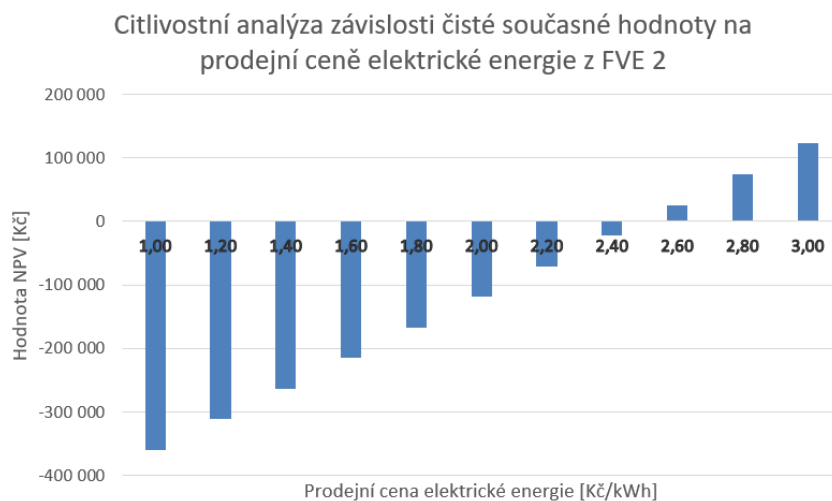
Druhá prezentovaná citlivostní analýza je vytvořena jakožto závislost NPV na prodejní ceně elektrické energie. Zvolený rozsah pro tuto citlivostní analýzu zůstává stejný jako u projektu FVE 1, tedy 1–3 Kč/kWh. I zde je vidět, že je druhý projekt ekonomicky výhodnější. Pokud by byla výkupní cena elektrické energie 3 Kč/kWh, vyšel by projekt na konci doby hodnocení s

Prodejní cena elektrické energie [Kč/kWh]	Hodnota NPV [Kč]
1,00	-360 298
1,20	-311 992
1,40	-263 686
1,60	-215 380
1,80	-167 074
2,00	-118 768
2,20	-70 462
2,40	-22 156
2,60	26 150
2,80	74 456
3,00	122 762

Tabulka 6.9: Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na prodejní ceně elektrické energie pro projekt FVE 2.

čistou současnou hodnotu 122 762 Kč. To je vidět na obrázku 6.7 s konkrétními hodnotami v tabulce 6.9.

Poslední prezentovaná citlivostní analýza je zpracována jako závislost čisté



Obrázek 6.7: Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na prodejní ceně elektrické energie projektu FVE 2. Zdroj: Vlastní

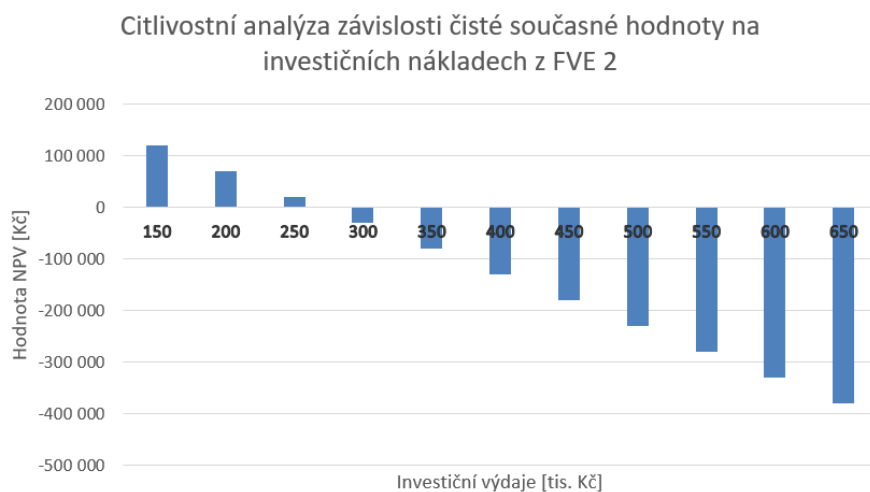
současné hodnoty na investičních nákladech projektu. Rozsah této citlivostní analýzy je zvolen od 150 000 Kč do 650 000 Kč. Tato hodnota je rozdílná od projektu FVE 1, jelikož pořizovací náklady tohoto projektu jsou nižší. Výsledky této CA jsou zobrazeny na obrázku 6.8 s podrobnými hodnotami uvedenými v tabulce 6.10.

Vytvořená CA nepočítá s přiznáním státní dotace projektu, která může být

až 200 000 Kč. I přesto se opět hodnota NPV dostává do kladných čísel a to konkrétně na investiční hodnotě 270 920 Kč. Při započtení této dotace by hodnota byla kladná i pro investiční náklady ve výši 470 920 Kč (vyšší hodnota než jsou pořizovací náklady projektu).

Investiční náklady projektu [tis. Kč]	Hodnota NPV [Kč]
150	119 032
200	69 032
250	19 032
300	-30 968
350	-80 968
400	-130 968
450	-180 968
500	-230 968
550	-280 968
600	-330 968
650	-380 968

Tabulka 6.10: Tabulka citlivostní analýzy pro závislost hodnoty NPV na investičních nákladech projektu FVE 2.



Obrázek 6.8: Graf citlivostní analýzy zobrazující závislost čisté současné hodnoty na investičních nákladech projektu FVE 2. Zdroj: Vlastní

6.4 Technické zhodnocení projektů FVE 1 a FVE 2

Oba projekty byly navrženy tak, aby splňovaly podmínky provozování mikrozdroje bez licence podle novely energetického zákona č. 131/2015 Sb.

Zákon, kterým se mění zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Návrhy tedy nepřekročily výkon 10 kWp, aby byly počítány jako mikrozdroj.

Návrhy se od sebe liší použitými prvky, první rozdíl je v použití jiné technologie fotovoltaických panelů. Návrh FVE 1 využívá monokrystalické FV panely. U návrhu 2 byly využity bifaciální fotovoltaické panely. Ty by měly zaručit o něco větší výkon než klasické monokrystalické panely. Je to z důvodu absorpce fotonů i ze spodní strany fotovoltaického panelu. Bez dalších úprav střešní krytiny stavebního domku, na který jsou fotovoltaické panely umístovány, tento výkonový rozdíl způsobený bifaciální technologií nebude příliš velký. Tento fakt je způsobený nízkou odrazivostí povrchu střešní krytiny a také úzkým prostorem mezi fotovoltaickým panelem a střešní krytinou (pouze místo na proudění vzduchu k chlazení fotovoltaických článků).

Dalším rozdílem v technickém zpracování je volba měničů. Projekt FVE 2 využívá hybridní třífázový měnič Solinteg MHT-10K-25, jeho předností je hlavně nízká pořizovací cena, ovšem ta je vykoupena nižším výkonem, nižší vyrovnávací schopností mezi fázemi a nemožností připojení velkých spotřebičů za pomoci spínacích relé.

Oproti tomu návrh FVE 1 využívá tři velmi kvalitní jednofázové měniče Victron Multiplus II 48/5000 VA/50A, které dokáží vyrovnat jakékoliv fázové výkyvy. Zároveň k nim lze pomocí relé připojit spínané velkoodběrové spotřebiče, které budou ovládány od určitého stupně nabití akumulátorového úložiště (například akumulární kamna, nabíjecí stanice elektromobilu atp.). Pro realizaci byl zvolen projekt FVE 1 i přes vyšší pořizovací cenu a nižší hodnotu NPV, a to z důvodu existence původní fotovoltaické elektrárny na střeše RD. Tato instalace má měnič na hranici životnosti, a proto byly voleny tři střídače, které jsou naddimenzované tak, aby mohli převzít funkci starého měniče z této původní fotovoltaické instalace. Tímto způsobem budou eliminovány některé reinvestiční výdaje tohoto bývalého projektu.

Posledním velkým rozdílem obou instalací je volba akumulátorového úložiště. Opět varianta FVE 1 volí dražší variantu s větší kapacitou a vyšším počtem nabíjecích cyklů než varianta projektu FVE 2. Větší kapacita akumulované energie pomůže k větší úspoře spotřeby elektrické energie objektu.

Cena vyrobené energie, která je následně ihned spotřebována v objektu bude vždy vyšší než výkupní cena elektrické energie. Na citlivostních analýzách závislosti NPV na výkupní (prodejní) ceně elektrické energie projektů z

Kapitola 7

Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s obnovitelnými zdroji energie a typy fotovoltaických elektráren. Následně díky těmto znalostem navrhnout fotovoltaický systém s bateriovým úložištěm elektřiny a řídicí jednotkou a provést jeho optimalizaci a návrh připojení k distribuční soustavě. Závěrem pak zhodnotit návrh fotovoltaického systému po technické stránce a dle vybraných vypočtených ekonomických kritérií. Všechny tyto body byly naplněny a v práci jsou odprezentovány jejich výsledky.

Úvodní část práce cílí na podporu rozvoje obnovitelných zdrojů a informovanost široké veřejnosti o jejich možnostech. Jsou zde nejvíce rozpracovány fotovoltaické elektrárny, jejichž lepší znalost napomáhá k návrhu v další části práce.

Návrhy fotovoltaických instalací jsou v práci provedeny dva, s rozdílnou využitou technologií a rozdílnou cenou. Oba návrhy jsou projektovány na konkrétní stavbu stavebního domku, přilehlého k rodinnému domu na adrese Bezručova 1264/8, 251 01 Říčany.

Právě rozdílnost návrhů dává možnost k dalšímu poznání a lepší optimalizaci budoucích návrhů fotovoltaických systémů pro rodinné domy. Obě fotovoltaické elektrárny byly navrženy tak, aby mohly získat investiční státní podporu pro jejich realizaci a to až ve výši 200 000 Kč, podle nových podmínek v aktualizované verzi Nové zelené úsporám [47]. Tato dotace ovšem není započítávána do ekonomického hodnocení projektů.

První návrh je proveden s dražšími a výkonnějšími komponentami. Jsou využity monokrystalické fotovoltaické panely, tři jednofázové střídače, regulátor MPPT s řídicí jednotkou a akumulátory s celkovou kapacitou 17,75 kWh. Tento návrh je vybrán k výsledné realizaci a práce již obsahuje fotografie této realizace.

Druhý návrh cílil na levnější provedení se zachováním stejného výkonu fotovoltaických panelů. Byly zvoleny bifaciální monokrystalické fotovoltaické panely, jeden třífázový měnič, SCC a akumulátorové úložiště s kapacitou 10,65 kWh. Tato varianta návrhu vyšla levněji než varianta FVE 1 o 65 627

Kč bez DPH.

Před ekonomicko–technickým srovnáním projektů obsahuje práce návrh připojení fotovoltaické elektrárny FVE 1 do distribuční sítě. Jeho součástí je popis zapojení a potřebných součástí a také administrativně právní kroky vedoucí k výchozí elektro revizi díla a prvnímu připojení k distribuční soustavě.

Pro oba návrhy byl proveden výpočet zvolených ekonomických kritérií s určujícím kritériem čisté současné hodnoty. Pro výpočet obou návrhů byla počítána diskontní sazba 4 %, meziroční růst prodejních cen elektrické energie a nákladů byl zvolen 3 % a prodejní cena elektrické energie byla počítána jako $2 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$. Projekt FVE 1 počítal s výměnou akumulátorů jednou za 10 let a výměnou všech střídačů po 25 letech. Projekt FVE 2 s výměnou akumulátorů po 10 letech a výměnou střídače po 15 letech. U obou výpočtů byl snižován výkon fotovoltaických panelů po desátém roce hodnocení o 0,5 % za rok. S těmito vstupními hodnotami vyšel s vyšší hodnotou NPV projekt FVE 2, konkrétně -118 768 Kč pro projekt FVE 2 a -226 827 pro projekt FVE 1. Tedy ani jeden z projektů není ekonomicky návratný. Pro lepší výpovědní hodnotu ekonomického výpočtu jsou v práci také prezentovány citlivostní analýzy závislosti NPV na diskontní míře, investičních nákladech projektů a prodejní ceně elektrické energie.

Další prací na tomto projektu, která by mohla přinést zajímavé výsledky, by bylo zpracování analýzy spotřeby elektrické energie pro projektovaný objekt. Z té by šlo vypočítat míru úspory každé z projektovaných fotovoltaických instalací a tu promítnout do výpočetní tabulky do prodejní ceny elektrické energie. Tato práce by však měla přínos pouze pro tento konkrétní objekt a nebyla by použitelná pro budoucí instalace.

Příloha A

Bibliografie

1. CHALA, Girma T; GUANGUL, Fiseha Mekonnen; SHARMA, Rakesh. Biomass energy in malaysia-A SWOT analysis. In: *2019 IEEE Jordan international joint conference on electrical engineering and information technology (JEEIT)*. IEEE, 2019, s. 401–406.
2. KAVALOV, Boyan; PETEVES, Stathis D et al. The future of coal. *DG JRC Institute for Energy, European Commission, Petten*. 2007.
3. VYMAZAL, Antonín. *Obnovitelné zdroje*. 2006 [cit. 2023-03-29]. Dostupné také z: <https://theses.cz/id/yynug6/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta Brno. Vedoucí práce: prof. RNDr. Milan Viturka, CSc.
4. FARRET, F.A.; SIMOES, M.G. *Integration of Renewable Sources of Energy*. Wiley, 2017. ISBN 9781119137368. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=hhsmdwAAQBAJ>.
5. SAHU, Bikash Kumar; HILOIDHARI, Moonmoon; BARUAH, D.C. Global trend in wind power with special focus on the top five wind power producing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, roč. 19, s. 348–359. ISSN 1364-0321. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.027>.
6. LAPČÍK CSc., Prof. Ing. Vladimír. *Větrné elektrárny Potštát – Kyžlířov*. 2010. Dostupné také z: https://portal.cenia.cz/eiasea/view/eia100_cr.
7. BENDA, V. *Obnovitelné zdroje energie*. Profi Press, 2012. ISBN 9788086726489. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=pDaenQEACAAJ>.
8. ZÁRUBA, Martin. *Tepelná Čerpadla Ekovy*. 2021. Dostupné také z: <https://www.ekovy.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.htm>.
9. STEFANSSON, Valgardur. The renewability of geothermal energy. In: *Proceedings of the World Geothermal Congress 2000*. 2000, s. 883–888.

10. YAAKOB, OB; AHMED, Yasser M; ELBATRAN, AH; SHABARA, HM. A review on micro hydro gravitational vortex power and turbine systems. *Jurnal teknologi*. 2014, roč. 69, č. 7, s. 1–7.
11. TRIVEDI, Chirag; GANDHI, Bhupendra; MICHEL, Cervantes J. Effect of transients on Francis turbine runner life: a review. *Journal of Hydraulic Research*. 2013, roč. 51, č. 2, s. 121–132.
12. FG FORREST, a.s. *Dlouhé Stráně*. 2016. Dostupné také z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelné-zdroje/voda/vodní-elektrárny/ceska-republika/dlouhe-strane-58155>.
13. STOPLE, Remi André. Testing efficiency and characteristics of a Kaplan-type small turbine. *Trondheim. NTNU. Hal*. 2011, s. 5–7.
14. VRTEK, Mojmir. Sluneční energie. *Učební text katedry energetiky, FS, VŠB-TUO*. 2012.
15. MERTL, Jakub. *Možnosti akumulace energií*. 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.
16. MILER, Petr. *Němci spočítali, Kolik Energie se ztrácí při dobíjení elektromobilů, je to jako vylít pětinu nádrže*. 2021. Dostupné také z: <https://www.autoforum.cz/technika/nemci-spocitali-kolik-energie-se-ztraci-pri-dobijeni-elektromobilu-je-to-jak-vylit-petinu-nadrze/>.
17. VACULA, Bc. Martin. *Určení celkové a v čase degradované účinnosti optické části zařízení SkyFlower®*. 2018 [cit. 2023-12-29]. Dostupné také z: https://theses.cz/id/cne14u/Vacula_diplomov_prce.pdf. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce: Mgr. Miroslav Pech, Ph.D.
18. MORAVEC, Jan. *Polovodiče: Fotovoltaický Jev a parametry fotovoltaického článku*. oEnergetice.cz, 2017. Dostupné také z: <https://oenergetice.cz/elektrina/polovodice-fotovoltaicky-jev-parametry-fotovoltaickeho-clanku>.
19. GUANGUL, Fiseha Mekonnen; CHALA, Girma T. SWOT analysis of wind energy as a promising conventional fuels substitute. In: *2019 4th MEC international conference on big data and smart city (ICBDSC)*. IEEE, 2019, s. 1–6.

20. GUANGUL, Fiseha Mekonnen; CHALA, Girma T. Solar energy as renewable energy source: SWOT analysis. In: *2019 4th MEC international conference on big data and smart city (ICBDSC)*. IEEE, 2019, s. 1–5.
21. MPO. *Obnovitelné zdroje energie v roce 2021*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2022. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2022/11/Obnovitelne-zdroje-energie-2021.pdf>.
22. ZILVAR, Mgr. Jiří. *ČR musí začít stavět větrníky a fotovoltaiku aby zlevnila elektrinu*. tzb-info. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/25258-green-deal-je-mrtvy-akorat-do-roku-2030-v-cr-postavime-jen-fotovoltaiku-vetrniky-a-plynovy-zdroje..>
23. HASELHUHN, R. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava – Plesná: HEL, 2010. ISBN 9788086167336. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=569zzwEACAAJ>.
24. TRIBASE. *Hybridní Fotovoltaické moduly*. 2013. Dostupné také z: https://www.tribase.cz/elektro_fve_hybridni_panely.
25. SUDOP, Praha a.s. *Fotovoltaické Elektrárny Ralsko a Mimoň*. 2010. Dostupné také z: <https://www.sudop.cz/cs/projekty/fotovoltaicke-elektrarny-ralsko-a-mimon>.
26. TERMS, a.s. *Monokrystalické panely*. 2013. Dostupné také z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68830/monokrystalicke-panely.html>.
27. SKŘIVAN, Jan. *Koncentrované fotovoltaické systémy*. 2015. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
28. ELCERAM, a.s. *CPV – concentrated photovoltaic*. 2011. Dostupné také z: http://elceram.cz/wp-content/uploads/2021/01/solar_cell_elc_38_300_en_110703.pdf.
29. XINHUA. *Noor Ouarzazate Solar Complex in Morocco, world's largest concentrated solar power plant*. Xinhua News Agency, 2023. Dostupné také z: <https://helioscsp.com/noor-ouarzazate-solar-complex-in-morocco-worlds-largest-concentrated-solar-power-plant/>.
30. WIKIPEDIA. *Ouarzazate Solar Power Station*. Wikimedia Foundation, 2023. Dostupné také z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ouarzazate_Solar_Power_Station.

31. SAHU, Alok; YADAV, Neha; SUDHAKAR, K. Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2016, roč. 66, s. 815–824.
32. CHOI, Young-Kwan. A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact. *International journal of software engineering and its applications*. 2014, roč. 8, č. 1, s. 75–84.
33. GARANOVIC, Amir. *German partners build 3MWP Floating Solar Plant*. 2022. Dostupné také z: <https://www.offshore-energy.biz/german-partners-build-3mwp-floating-solar-plant/>.
34. EKOWATT. *Vliv sklonu a orientace FVE*. 2008. Dostupné také z: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>.
35. BECHNÍK, Bronislav. *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů*. Topinfo s.r.o., 2014. Dostupné také z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaiicky-panelu>.
36. STANĚK, Michal. *Návrh fotovoltaické elektrárny v ostrovním režimu*. 2023 [cit. 2023-11-29]. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
37. ECOABM. *JA Solar: JAM72S20 455/MR s černým rámem Mono*. 2023. Dostupné také z: <https://www.ecoabm.cz/panel-fv-ja-solar-455-mono-half-cut-cerny-ram-JAS2573>.
38. MONTÁŽE, Solární. *Solární panel Huasun 460WP bifaciální - Solární Montáže*. 2023. Dostupné také z: <https://shop.solarni-montaze.cz/solarni-panel-huasun-460wp-bifacialni/>.
39. I4WIFI. *Solinteg MHT-10K-25*. 2023. Dostupné také z: <https://www.i4wifi.cz/www/cs/280410-solinteg-mht-10k-25>.
40. SEDLÁČEK, Marek. *Hybridní fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům*. 2015 [cit. 2023-01-02]. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
41. HENZE, Andreas; HILLEBRAND, Werner. *Elektrický proud ze slunce: Fotovoltaika v praxi: technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. Hel, 2000.
42. ŘEHÁK, Jaromír; BÁRTEK, Jiří; BAŘINKA, Radim. *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování*. Česká energetická agentura, 2010.
43. BECHNÍK, Bronislav. *Nejpoužívanější Pojmy ve fotovoltaice*. Topinfo s.r.o., 2014. Dostupné také z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaiice>.

44. KOS, Libor. *Fotovoltaika: Specializovaný Prodejce solárních systémů Stotion Smile - all-in-one řešení fotovoltaických elektráren*. 2020. Dostupné také z: https://www.fvesystemy.cz/Terminologie-a5_0.htm.
45. CHOCHOLÁČ, Jan. *Využití bypassových diod ve fotovoltaických panelech*. 202 [cit. 2023-12-18]. Diplomová práce. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Vysoké učení technické v Brně.
46. JIŘÍK, Jakub. *Dotace na Fotovoltaiku v roce 2023: Kolik Získám a jak?* 2023. Dostupné také z: <https://dotace-jednoduse.cz/dotace-na-fotovoltaiku-2023>.
47. ČR, Státní fond životního prostředí. *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory v podprogramu Nová zelená úsporám programu HOUSEenergy Modernizačního fondu RODINNÉ DOMY*. 2023. Dostupné také z: <https://novazelenausporam.cz/dokumenty/podminky-2023/>.