

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Diplomová práce

**Problematika výroby a využití energie z obnovitelných
zdrojů v podmínkách ostrovního provozu**

Bc. Dominik Svoboda

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Dominik Svoboda

Inženýrství údržby

Název práce

Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu

Název anglicky

Issues of generation and use of energy from renewable sources in island operation

Cíle práce

Popis způsobů získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů.
Analýza spotřeby elektrické energie vybraného rekreačního objektu.
Návrh ostrovního systému a elektrárny z obnovitelných zdrojů pro pokrytí spotřeby objektu.
Technicko-ekonomická analýzu projektu.

Metodika

Na základě literární rešerše popsat způsoby získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Na vybraném rekreačním objektu provést analýzu spotřeby elektrické energie vycházející z dat získaných v předchozích letech a vytvořit schéma spotřeby energie. S ohledem na potenciál obnovitelných zdrojů v dané lokalitě vytvořit návrh výroby elektrické energie pro krytí spotřeby objektu. Provést technicko-ekonomické hodnocení a posoudit vhodnost realizace projektu.

Pozn.:

- struktura práce: Úvod, Materiál a metody, Výsledky, Diskuse, Závěr. V pracích rešeršního charakteru lze sloučit Materiál a metody s Výsledky a stejně tak Diskusi se Závěrem.
- jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je Obsah, Abstrakt, Seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a Seznam použité literatury.
- je nezbytné respektovat citační pravidla dle ČSN ISO 690:2011
- vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu

Doporučený rozsah práce

60 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, ostrovní systém, energeticky soběstačný dům, akumulace energie

Doporučené zdroje informací

- BEDNÁŘ, J. *Turbíny : (malé vodní elektrárny)*. Českovice: Marcela Bednářová, 2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
- DOSTÁL, Z. – SOLANSKÁ, M. Calculation of accumulation unit for renewable energy source system. *Journal of Energy Storage*, 2017, 14: 410-415.
- LIBRA, M. – POULEK, V. *Fotovoltaika : teorie i praxe využití solární energie*. Praha: ILSA, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
- POLÁK, M. *Bezlopatková miniturbína : cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05233-4.
- RYCHETNÍK, V. – JANOUŠEK, J. – PAVELKA, J. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2022

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 29. 07. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30. 3. 2023

Bc. Dominik Svoboda

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D., za všestrannou pomoc, množství cenných a inspirativních rad, podnětů, doporučení a připomínek, které mi pomohly při zpracování mé diplomové práce.

Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou získávání a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu. Je rozdělena do teoretické a praktické části. Teoretická část diplomové práce je věnovaná jednotlivým principům a metodám získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Praktická část diplomové práce je v úvodu zaměřena na analýzu spotřeby elektrické energie konkrétního rekreačního objektu. Následuje návrh ostrovní fotovoltaické elektrárny, včetně měniče a akumulátorů. V závěru je provedena technicko-ekonomická analýza a zhodnocení navrženého řešení.

Klíčová slova: obnovitelné zdroje energie, ostrovní systém, energeticky soběstačný dům, akumulace energie

Issues of generation and use of energy from renewable sources in island operation

Abstract

This thesis deals with the issue of generation and use of energy from renewable sources in island operation. It is divided into a theoretical and a practical part. The theoretical part of the thesis is devoted to individual principles and methods of obtaining electrical energy from renewable sources. The practical part of the thesis is initially focused on the analysis of the electricity consumption of a specific recreational facility. The following is a proposal for an island photovoltaic power plant including an inverter and accumulators. Finally, a technical-economic analysis and evaluation of the proposed solution is performed.

Keywords: renewable energy, island system, energy self-sufficient house, energy accumulation

Obsah

Metodika	1
1 Úvod	2
Teoretická část	3
2 Fotovoltaické elektrárny	3
2.1 Princip fotovoltaického článku	3
2.2 Typy fotovoltaických článků.....	4
2.2.1 Monokrystalické články.....	4
2.2.2 Polykrystalické články	4
2.2.3 Amorfni články	5
2.3 Podmínky pro fotovoltaické elektrárny v České republice	6
2.4 Fotovoltaické elektrárny v České republice a ve světě	7
3 Větrné elektrárny	8
3.1 Princip větrných elektráren	8
3.2 Typy větrných turbín.....	9
3.2.1 Horizontální turbíny.....	9
3.2.2 Vertikální turbíny.....	10
3.3 Podmínky pro větrné elektrárny v České republice	12
3.4 Větrné elektrárny v České republice a ve světě	13
4 Vodní elektrárny	14
4.1 Princip vodních elektráren	14
4.2 Typy vodních turbín.....	15
4.2.1 Francisova turbína.....	15
4.2.2 Kaplanova turbína.....	16
4.2.3 Peltonova turbína	16
4.2.4 Bánkiho turbína.....	16
4.3 Druhy vodních elektráren.....	17
4.3.1 Průtočné vodní elektrárny	17
4.3.2 Akumulační vodní elektrárny	17
4.3.3 Přečerpávací vodní elektrárny	17
4.4 Podmínky pro vodní elektrárny v České republice	18
4.5 Vodní elektrárny v České republice a ve světě	18

5 Biomasa	20
5.1 Zdroje biomasy.....	21
5.1.1 Biomasa záměrně pěstovaná.....	21
5.1.2 Biomasa odpadní.....	21
5.2 Zpracování biomasy pro energetické účely.....	22
5.3 Princip získávání elektrické energie z biomasy	22
5.4 Využití biomasy v České republice a ve světě.....	24
6 Bioplyn	25
6.1 Princip získávání elektrické energie z bioplynu.....	25
6.2 Využití bioplynu v České republice	26
7 Geotermální elektrárny	27
7.1 Princip geotermálních elektráren	27
7.2 Podmínky pro geotermální elektrárny v České republice	28
7.3 Geotermální elektrárny ve světě.....	29
Praktická část	30
8 Stanovení cílů	30
9 Umístění rekreačního objektu	31
9.1 Možnosti dané lokality	31
10 Analýza spotřeby elektrické energie	33
10.1 Analýza elektrických spotřebičů v rekreačním objektu	34
10.1.1 Primární skupina	34
10.1.2 Sekundární skupina.....	36
10.1.3 Terciální skupina.....	37
10.2 Plánované změny spotřebičů.....	37
10.3 Návrh spotřeby elektrické energie	39
11 Návrh ostrovního systému	40
11.1 Návrh fotovoltaické elektrárny	40
11.1.1 Volba fotovoltaického panelu.....	41
11.1.2 Stanovení instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny	42
11.1.3 Návrh umístění fotovoltaických panelů na střechu.....	46
11.2 Návrh měniče	47
11.3 Návrh velikosti a druhu akumulátoru.....	49

12 Technicko-ekonomická analýza.....	52
12.1 Stanovení nákladů	52
12.2 Využití elektrické energie z daného systému.....	53
12.3 Možnosti využití dotací.....	54
12.4 Návratnost projektu.....	55
12.5 Ekonomické zhodnocení projektu.....	56
Závěr	58
Seznam použitých zdrojů	60

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Princip fotovoltaického článku [4].....	4
Obrázek 2 - Vzhled jednotlivých fotovoltaických článků [4].....	5
Obrázek 3 - Globální horizontální ozáření [7].....	6
Obrázek 4 - Strojovna větrné elektrárny (upraveno) [48].....	9
Obrázek 5 - a) Upwind turbína; b) Downwind turbína [43].....	10
Obrázek 6 - Typy Darrieovy turbíny [15].....	11
Obrázek 7 - Princip činnosti Savoniovy turbíny [46].....	11
Obrázek 8 - Mapa potenciální výroby elektrické energie malou větrnou elektrárnou ve výšce 10 m nad povrchem za rok [44].....	12
Obrázek 9 - Francisova turbína (vlevo) a Kaplanova turbína (vpravo) [19].....	15
Obrázek 10 - Peltonova turbína [19].....	16
Obrázek 11 - Dlouhodobé průměrné průtoky v profilech vodních útvarů [22].....	18
Obrázek 12 - Možnosti využití biomasy [1].....	20
Obrázek 13 - Kogenerace založena na spalování biomasy ve spojení s ORC cyklem [47].....	23
Obrázek 14 - Kogenerace s plynovým motorem (upraveno) [27].....	26
Obrázek 15 - Geotermální potenciál České republiky [33].....	29
Obrázek 16 - Základní schéma ostrovního systému s FVE (upraveno) [1].....	40
Obrázek 17 - Vstupní data PVGIS pro jeden fotovoltaický panel [35].....	43
Obrázek 18 - 3D model rekreačního objektu [45].....	46
Obrázek 19 - Zastínění střechy [45].....	46
Obrázek 20 - Konfigurace MPPT regulátoru napětí [39].....	47
Obrázek 21 - Zapojení jednotlivých komponentů (upraveno) [38].....	48
Obrázek 22 - Zapojení akumulátorů.....	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Účinnost různých materiálů fotovoltaických článků [1]	5
Tabulka 2 - Spotřeba elektrické energie v letech 2019-2022	33
Tabulka 3 - Spotřeba elektrické energie spotřebičů primární skupiny	35
Tabulka 4 - Spotřeba elektrické energie spotřebičů sekundární skupiny	36
Tabulka 5 - Spotřeba elektrické energie spotřebičů terciální skupiny	37
Tabulka 6 - Základní parametry modulu RSM40 - 8 - 400M [37]	42
Tabulka 7 - Odhadovaná denní spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících.....	43
Tabulka 8 - Odhadovaná produkce elektrické energie pro 1-5 FV panely [35]	44
Tabulka 9 - Porovnání odhadované denní produkce a denní spotřeby elektrické energie ..	45
Tabulka 10 - Základní parametry měniče Victron Energy Multiplus-II 48 V [38]	47
Tabulka 11 - Základní parametry MPPT regulátoru SmartSolar MPPT 250/60 Tr [40].....	48
Tabulka 12 - Základní parametry akumulátoru [41].....	49
Tabulka 13 - Náklady hlavních komponentů ostrovního systému	52
Tabulka 14 - Dotace na FVE [42].....	54
Tabulka 15 - Finanční návratnost	56

Seznam grafů

Graf 1 - Vývoj výroby elektřiny a instalovaného výkonu FVE v ČR [8].....	7
Graf 2 - Vývoj výroby elektrické energie a instalovaného výkonu VTE v ČR [8]	13
Graf 3 - Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách v ČR [8].....	19
Graf 4 - Vývoj hrubé výroby elektřiny z biomasy v ČR [8].....	24
Graf 5 - Odhadovaný vývoj spotřeby elektrické energie po obnově spotřebičů	38
Graf 6 - Odhadovaný vývoj spotřeby elektrické energie v jednotlivých měsících.....	39
Graf 7 - Spotřeba a produkce elektrické energie	53
Graf 8 - Finanční návratnost	56

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
GHI	Globální horizontální ozáření (Global horizontal irradiance)
OZE	Obnovitelné zdroje energie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
VTE	Větrná elektrárna
HAWT	Větrné turbíny s horizontální osou (Horizontal axis wind turbines)
VAWT	Větrné turbíny s vertikální osou (Vertical axis wind turbines)
ÚFA	Ústav fyziky atmosféry
DPI	Dodavatel poslední instalace
PVGIS	Fotovoltaický geografický informační systém (Photovoltaic geographical information system)

Metodika

Diplomová práce se zabývá problematikou získávání a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu, kdy daný objekt není připojen k distribuční síti. V ostrovním provozu je tak vyráběna vlastní elektrická energie pro zajištění veškeré elektrické spotřeby daného objektu.

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout ostrovní systém pro zvolený rekreační objekt a posoudit, zda se jedná o vhodné řešení, jak zásobovat daný objekt elektrickou energií z obnovitelných zdrojů. Ve výběru téma mi pomohl i fakt, že nám končí fixace ceny elektrické energie od distributora. Aktuálně již distributoři elektrické energie nenabízejí fixaci ceny a je potřeba rozhodnout, jakým směrem se u zvoleného rekreačního objektu dále vydat. Jednou z možností je vytvoření ostrovního systému, díky němuž se rekreační objekt může stát energeticky soběstačným.

V teoretické části diplomové práce budou popsány jednotlivé způsoby a metody získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů, a to konkrétně u fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny, vodní elektrárny, geotermální elektrárny a elektrárny využívající biomasu.

V praktické části diplomové práce bude provedena analýza spotřeby elektrické energie a navrženy případné změny spotřebičů k úspoře elektrické energie v daném rekreačním objektu. Hlavním úkolem bude zjistit průměrnou roční spotřebu zvoleného rekreačního objektu, která bude využita pro další části projektu. Následně dojde k návrhu klíčových komponentů ostrovního systému, kterými jsou měnič napětí, akumulátory a ostrovní elektrárna, která by měla být schopna zajistit veškerou elektrickou spotřebu zvoleného objektu.

Poslední částí diplomové práce bude věnována provedení technicko-ekonomické analýzy navrženého projektu, kde budou stanoveny jednotlivé náklady spjaté s vytvořením ostrovního systému. Stanovení nákladů na vytvoření ostrovního systému bude důležité pro zjištění, zda navržená metoda je ekonomicky vhodná pro daný rekreační objekt.

1 Úvod

Elektrická energie je v dnešní době naprosto nezbytnou součástí našeho života. Cena elektrické energie se v posledních pár letech nepředvídatelně měnila. Do cen elektrické energie se negativně promítá mnoho faktorů. Mezi hlavní faktory patří neustále se zmenšující zásoby fosilních zdrojů, konkrétně uhlí, zemního plyn nebo ropy. Tyto zdroje jsou však omezené a při jejich využívání vzniká i velké množství emisí, které mají negativní vliv na životní prostředí, a to zejména na globální oteplování, a s tím i následnou změnu klimatu. Mezi další faktory patří aktuálně probíhající válka na Ukrajině a také velká závislost Evropy na dodávkách plynu a ropy z Ruska. Z těchto důvodů se hledají jiné zdroje energie, které by fosilní zdroje energie nahradily. [1]

Jednou z možností jsou právě obnovitelné zdroje energie, které jsou aktuálně nejvíce diskutovaným tématem ve společnosti. Elektrickou energii z obnovitelných zdrojů lze získávat na většině míst naší planety, a to ať v elektrárnách či domácnostech. Jedná se o zdroj energie, který se přirozeným procesem neustále obnovuje. Proto také bývají obnovitelné zdroje energie označovány jako regenerativní či alternativní zdroje energie. Jedná se v zásadě o neomezený a čistý zdroj energie. Mezi obnovitelné zdroje energie pak konkrétně řadíme sluneční energii, větrnou energii, energii z biomasy a termální energii. [1]

Obnovitelné zdroje energie jsou využívány především k výrobě elektrické a tepelné energie. Tato energie pak slouží například k vytápění a pohánění veškerých elektrických spotřebičů v celé domácnosti. Jsou využívány i v dopravě, kde jsou vyráběna biopaliva z biomasy, kterými lze nahradit například benzín či ropu. Dále lze elektrickou energii vyrobenou obnovitelným zdrojem energie nabíjet i elektromobily. [1] [2]

K získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů jsou pak využívány především fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny, vodní elektrárny, geotermální elektrárny a elektrárny využívající biomasu. Technologie jednotlivých elektráren se vývojem neustále zlepšují a tím se rozšiřuje i jejich využití. Vývojem se stávají stále dostupnějšími už i v domácnostech. [1] [2]

Teoretická část

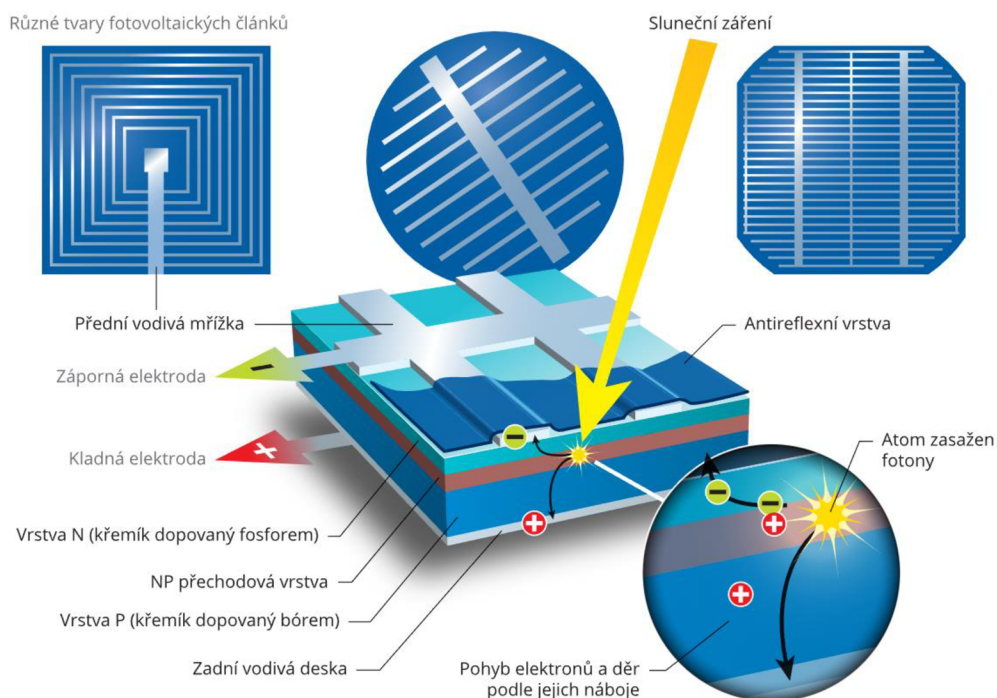
2 Fotovoltaické elektrárny

Získávání energie ze slunečního záření je nejrozšířenější způsob pro výrobu vlastní elektřiny nebo tepla v lokálních podmínkách. Existují dva systémy, ve kterých je solární energie absorbována. První je solární fotovoltaický systém, který přímo přeměňuje sluneční záření na elektřinu. Druhý je solární termický systém, který transformuje energii slunečního záření na teplo. Ten je vhodnější pro ohřev teplé vody, vytápění, ale i pro chlazení. [1]

Solární fotovoltaický systém využívá k přeměně slunečního záření na elektrickou energii fotovoltaický jev ve fotovoltaických článcích. Z těchto článků je pak složen fotovoltaický panel. První fotočlánek vznikl již v 19. století a jednalo se o prototyp využívající selen. Pro jeho nákladnou výrobu se však pro fotočlánek nenašlo využití. Fyzikální děje ve fotočlánku popsal a vysvětlil až na počátku 20. století Albert Einstein, který za to později získal i Nobelovu cenu. V polovině 20. století začal věk polovodičů, kdy se křemík stal novým materiálem, z něhož vznikl první komerčně využitelný fotočlánek. Tím byl položen i základní kámen fotovoltaiky. [1] [3]

2.1 Princip fotovoltaického článku

Základem fotovoltaického článku je PN přechod (viz obrázek 1). Ten obsahuje dvě vrstvy. Ve spodní části je vrstva typu P. Vrstva typu P obvykle bývá vyrobena z plátku krystalického křemíku s příměsí bóru, která obsahuje přebytek kladně nabitých „děr“. Druhá vrstva typu N je obvykle tvořena křemíkovým základem, dotovaným fosforem. Vrstva typu N obsahuje oproti vrstvě typu P přebytek elektronů. Na rozhraní vrstev vzniká PN přechod, který umožňuje jednosměrný průchod elektronů z vrstvy typu P do vrstvy typu N. Při dopadu fotonů slunečního záření na fotočlánek, dochází v obou vrstvách k uvolňování elektronů, které se hromadí ve vrstvě typu N. Mezi vrstvami vzniká elektrické napětí o přibližné hodnotě 0,5-0,6 V. Pro dosažení požadovaných hodnot napětí a proudu se fotovoltaické články zapojují sérioparalelně. [3] [4]



Obrázek 1 - Princip fotovoltaického článku [4]

2.2 Typy fotovoltaických článků

2.2.1 Monokrystalické články

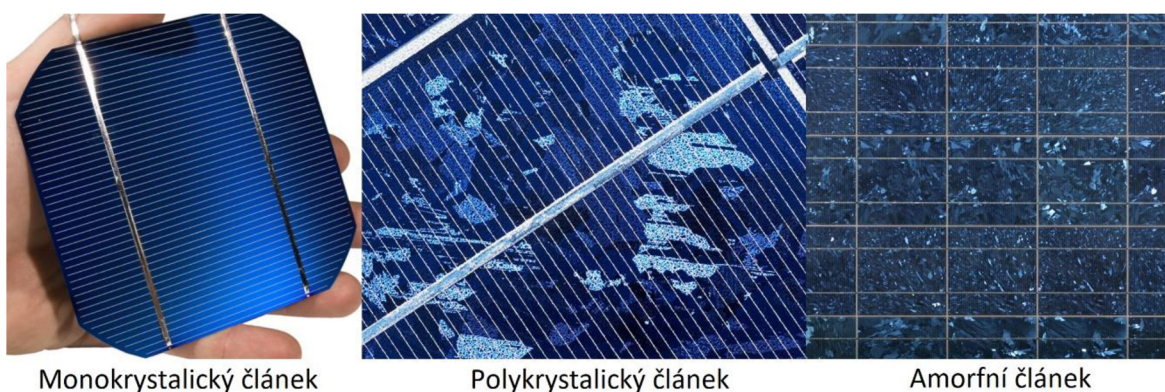
Jedná se o články, které vznikají nařezáním křemíkového monokrystalu na tenké plátky. Plátky jsou tmavé až černé a většinou jsou ve tvaru osmiúhelníků (viz obrázek 2). Jedná se o náročnou a nákladnou výrobu, což se promítá do jejich ceny. Jejich účinnost se pohybuje až kolem 20 %, která převyšuje účinnost ostatních. Jsou vhodnější na střechy s omezenou plochou, neboť se stejně zastavěnou plochou vyrobí více elektrické energie, než by vyrobily panely s jinými typy článků. [4] [5]

2.2.2 Polykrystalické články

Článek opět tvoří křemíková deska, ovšem v tomto případě se skládá z většího množství menších křemíkových krystalů. Má většinou modrou až tmavomodrou barvu čtvercového tvaru, kde jsou jednotlivé hrany krystalů viditelné (viz obrázek 2). Výroba je jednodušší, a především levnější než u monokrystalů. K výrobě lze dokonce použít odřezky z výroby monokrystalů. Účinnost se pohybuje mezi 12–15 %. [4] [5]

2.2.3 Amorfni články

Základem článku je tenká vrstva fotocitlivého materiálu, která je umístěna na podklad. Články lze vrstvit a tím získat větší citlivost na různá spektra slunečního záření. Účinnost vůči ostatním je nejnižší, dosahuje průměrně pouze 9 % a je závislá na druhu materiálu, z něhož je článek vyroben. Amorfni křemík má účinnost 6–9 %, kadmium-telurid 9–11 %, CIS (měď – indium – diselenid) a CIGS (měď – indium – galium – diselenid) 10–12 %. Amorfni články mají však minimální hmotnost a tloušťku, a proto je lze umístit i na střešní krytinu nebo na hydroizolační pásy rovné střechy. Jsou vhodné na velké plochy, jako například výrobní haly průmyslových podniků a haly skladů. [4] [5]



Obrázek 2 - Vzhled jednotlivých fotovoltaických článků [4]

Jedním z hlavních kritérií při výběru vhodného druhu fotovoltaického panelu je účinnost fotovoltaických článků, které jsou uvedeny v následující tabulce 1. [1]

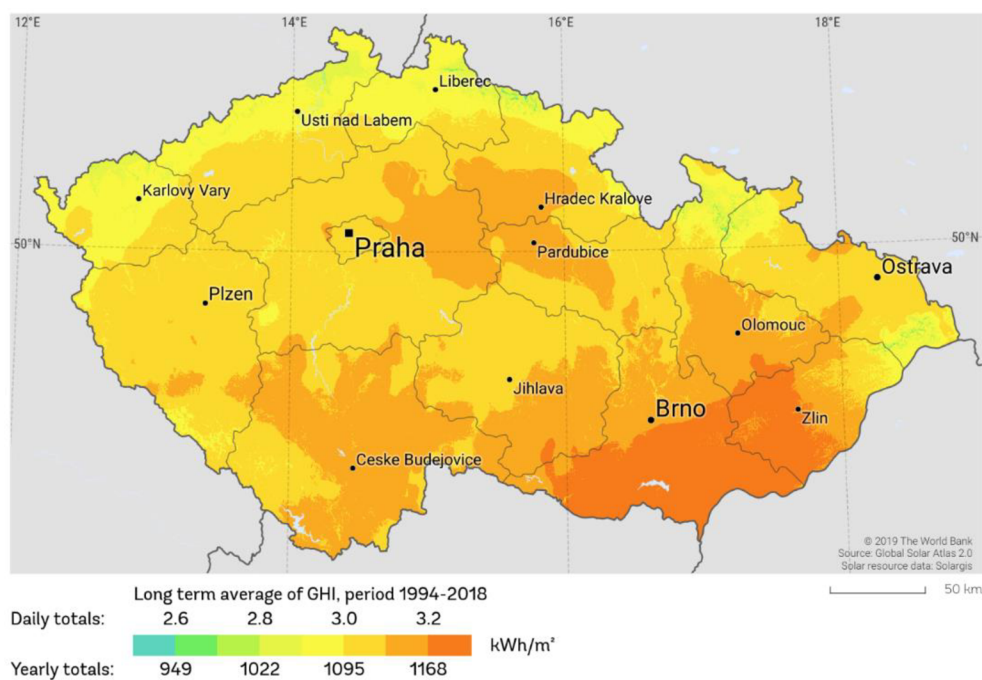
Tabulka 1 - Účinnost různých materiálů fotovoltaických článků [1]

Materiál článku	Maximální laboratorní účinnost	Maximální provozní účinnost sériového článku	Typická modulární účinnost	Plocha potřebná na 1 kW
Monokrystalický křemík	24,7 %	21 %	15 %	6,7 m ²
Polykrystalický křemík	18,5 %	15 %	14 %	7,2 m ²
Amorfni křemík	12,7 %	8 %	6 %	16,7 m ²
CIS / CIGS	19,5 %	11 %	10 %	10 m ²
CdTe	16,5 %	10 %	7 %	14,3 m ²

2.3 Podmínky pro fotovoltaické elektrárny v České republice

Pro získání energie ze slunce jsou potřeba vhodné klimatické podmínky, které umožní získat co nejvíce světelného záření dopadajícího pod vhodným úhlem na fotovoltaické panely. Optimální sklon fotovoltaických panelů by měl být $30^\circ - 35^\circ$ vůči vodorovné rovině a měly by být ideálně orientovány směrem na jih. [1] [6]

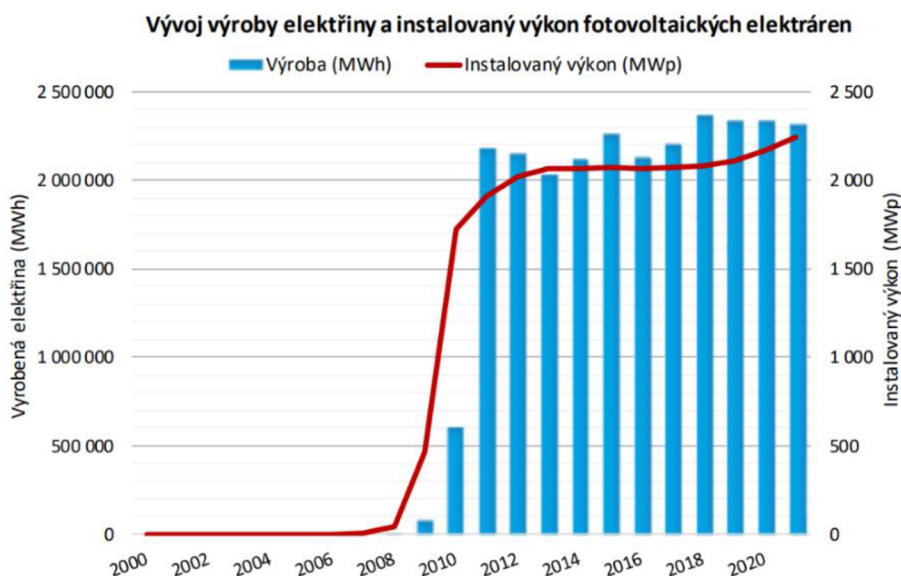
Důležité hodnoty pro návrh fotovoltaické elektrárny (FVE) v dané lokalitě získáme z údajů globálního horizontálního ozáření (GHI). GHI lze získat na webu GLOBAL SOLAR ATLAS. Na území České republiky je průměrné roční GHI v rozmezí 949–1 168 kWh/m². Nejvyšší hodnoty GHI v České republice jsou pak na jižní Moravě, a to zejména v okresech Znojmo, Břeclav, Hodonín, Uherské Hradiště a Zlín (viz obrázek 3). [1] [6] [7]



Obrázek 3 - Globální horizontální ozáření [7]

2.4 Fotovoltaické elektrárny v České republice a ve světě

V roce 2021 v České republice činila roční hrubá výroba elektřiny z fotovoltaických elektráren 2 315 964 MWh (viz graf 1). Fotovoltaické elektrárny jsou čtvrtými největšími výrobci elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE) s podílem 21,62 %. Jejich podíl na celkové hrubé výrobě elektrické energie v České republice dosahuje 2,73 %. [8]



Graf 1 - Vývoj výroby elektřiny a instalovaného výkonu FVE v ČR [8]

Největší fotovoltaickou elektrárnou v České republice je FVE Ralsko Ra1 s instalovaným výkonem 38,3 MW, která se nachází v okrese Česká lípa. Druhou největší je FVE Vepřek s instalovaným výkonem 35,1 MW a rozlohou 82,5 ha v okrese Mělník. A třetí největší je FVE Ševětín s instalovaným výkonem 29,9 MW a s rozlohou 60 ha v okrese České Budějovice. [9]

Ve světě se vede neustálý boj o zisk pomyslné prestiže v budování největší FVE. Mezi největší rivaly patří Čína, Indie a USA. Ne vždy však lze plně ověřit, zda jsou čísla reálná a kdy se jedná pouze o fikci. Podle dosavadních zdrojů se největší elektrárna nachází v Indii a jmenuje se Bhadla Solar Park. Její rozloha činí 57 km² a má udávaný celkový instalovaný výkon 2 500 MWp. [10]

3 Větrné elektrárny

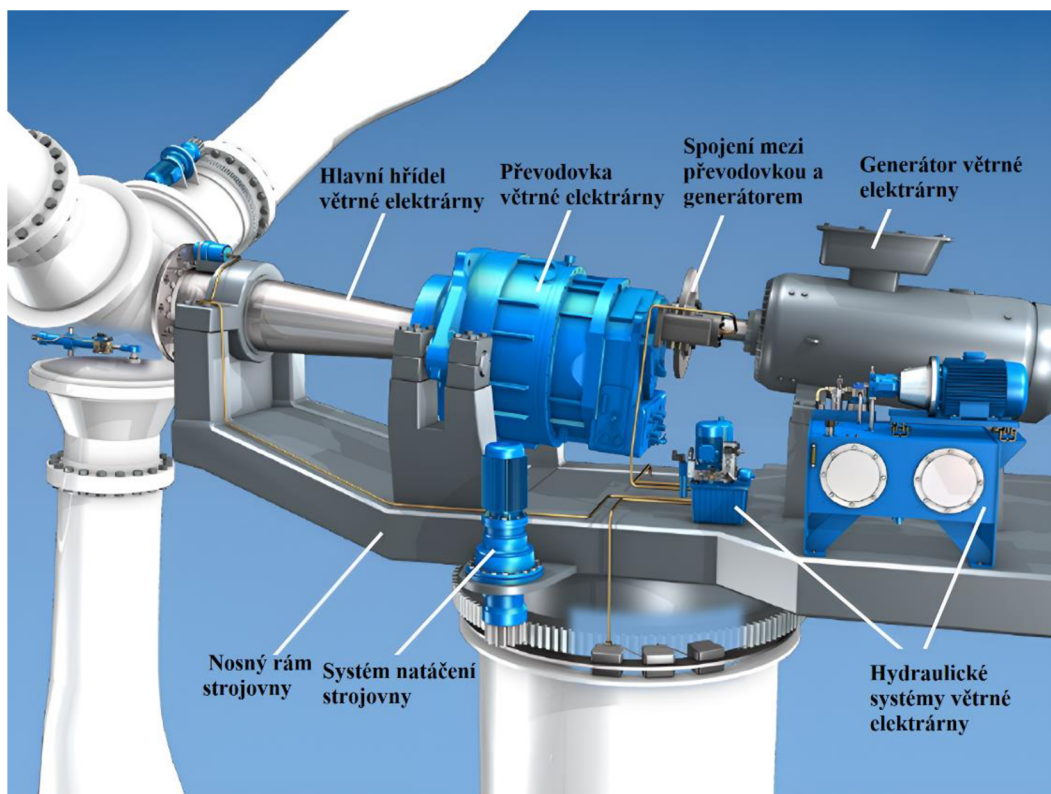
Příčinou vzniku větru na Zemi je sluneční záření. Vítr totiž vzniká kvůli nerovnoměrnému zahřívání atmosféry, nepravidelnosti zemského povrchu a rotaci Země. Vítr je potřebný ke globální výměně vzduchu. To se děje prostřednictvím cirkulace, známé jako Hadleyovy buňky, které mimo jiné přesouvají teplý vzduch od rovníku až k pólům. Tím vznikají relativně rovnoměrné větrné proudy, ze kterých může být odebírána energie. Už v dávných dobách byla síla větru využívána jako pohon v lodní dopravě. Nyní se převážně používá k výrobě elektrické energie. [1] [2]

Sílu větrné energie využívali lidé již dlouho před Kristem, a to v Orientu, kde za pomoci větrného kola poháněli čerpadla k zavlažování své úrody. V Evropě se větrná energie začala používat až ve 12. století k mletí obilí ve sloupových mlýnech. Během staletí se větrné mlýny neustále zdokonalovaly, aby byly efektivnější a soběstačnější. Jejich zlatý věk nastal v Evropě v 19. století, kdy se jich otáčelo bezmála 200 000. Později začaly být větrné pohony zastaralé a postupně byly nahrazované parními stroji nebo spalovacími a elektrickými motory. Zvrat nastal až v 70. letech 20. století, kdy nastala ropná krize. Lidé se začali více zajímat o obnovitelné zdroje, včetně transformace větrné energie na energii elektrickou. [1]

3.1 Princip větrných elektráren

Přeměna větrné energie na mechanickou je poměrně jednoduchá. Síla proudícího vzduchu působí na lopatky rotoru a vyvíjí otáčivý moment. Uvnitř strojovny větrné elektrárny tzv. gondoly je vrtulová hřídel spojená s převodovkou (viz obrázek 4), která zvyšuje otáčky hřídele generátoru. Generátor přemění rotační energii na elektrickou. Množství přeměněné energie je závislé na velikosti lopatek rotoru a rychlosti větru. [2]

Existují dva principy, na kterých větrné turbíny fungují. Jedná se o princip odporový a o princip vztakový. Turbíny, založené na principu odporovém využívají sílu proudícího vzduchu na lopatku, která natočením nebo tvarem klade odpor a vyvolává otáčivý moment. Jedná se o nejstarší typy větrných motorů. V dnešní době se používají výhradně turbíny založené na principu vztakovém. Ty využívají aerodynamické vztakové síly, které vznikají při obtékání vzduchu lopatky rotoru. [2] [11]



Obrázek 4 - Strojovna větrné elektrárny (upraveno) [48]

3.2 Typy větrných turbín

3.2.1 Horizontální turbíny

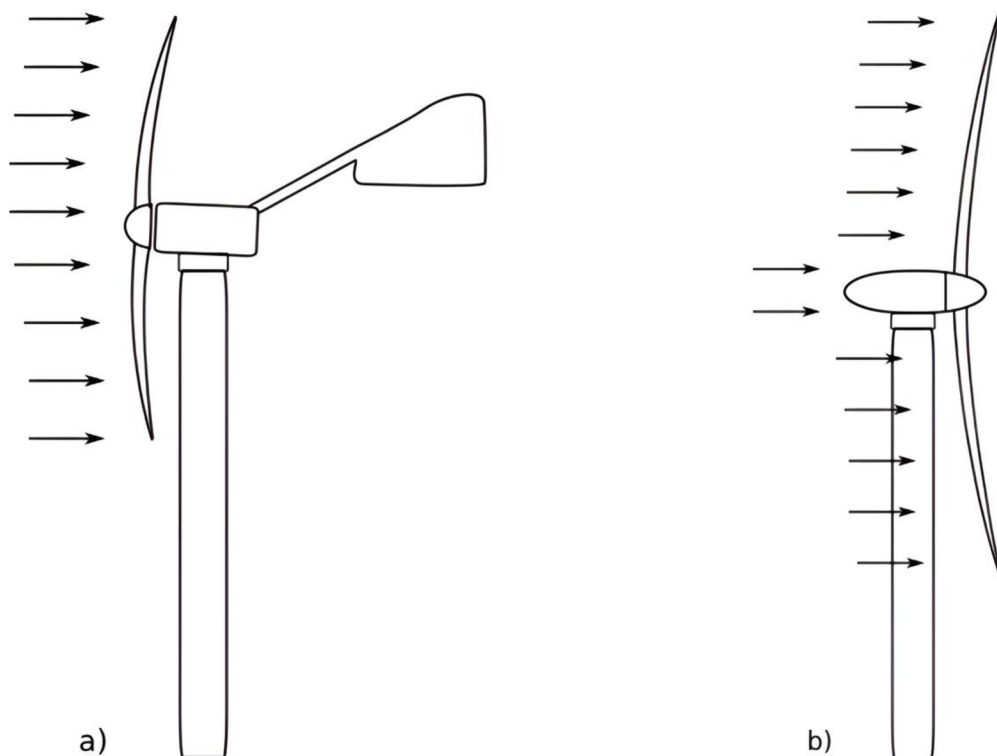
Horizontal axis wind turbines (HAWT) neboli větrné turbíny s horizontální osou. Horizontální turbíny jsou v dnešní době velmi rozšířené a tvoří většinový podíl všech vyráběných zařízení. Dosahují totiž vyšší účinnosti v porovnání s vertikálními turbínami. Účinnost HAWT se pohybuje okolo 45 %. Konstrukce horizontální turbíny je náročnější a vyžaduje velký prostor pro její otáčení. Průměry rotoru mohou dosahovat až 160 metrů. Horizontální turbíny lze dále rozdělit na Upwind turbíny a Downwind turbíny. [11] [12] [13] [14]

Upwind turbíny

Jedná se o typ horizontální turbíny, kdy je osa rotoru otáčena proti větru. Tento typ vyžaduje mechanismus, který bude držet rotor ve směru větru. Kvůli tomuto mechanismu se rotor musí umístit v určité vzdálenosti od věže. Výhodou upwind turbín je, že do ní vítr vstupuje přímo, bez toho, že by byl nějak ovlivňován konstrukcí věže (viz obrázek 5a). [2]

Downwind turbíny

Dalším typem horizontální turbíny je downwind turbína, u které je rotor směřován po větru. Tento typ lze konstruovat bez pomocného mechanismu, který by udržoval rotor po větru, ale pouze za předpokladu vhodného tvaru rotoru a strojovny větrné elektrárny. Ovšem jejich hlavní nevýhodou je, že část proudícího větru, který prochází rotorem, kolísá z důvodu přechodu přes konstrukci věže (viz obrázek 5b). [2]



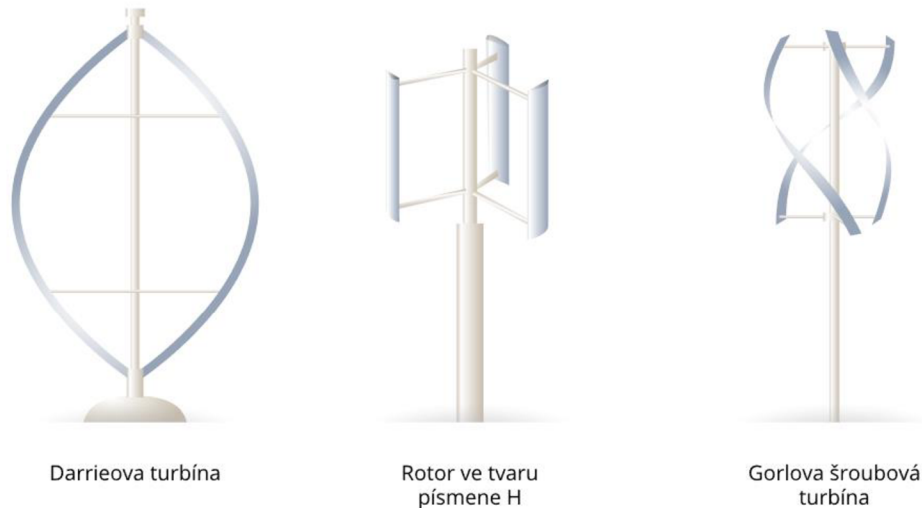
Obrázek 5 - a) Upwind turbína; b) Downwind turbína [43]

3.2.2 Vertikální turbíny

Vertical axis wind turbines (VAWT) neboli větrné turbíny s vertikální osu. Jedná se o velmi starou techniku získávání energie, kde první zmínky se datují před 4 000 lety. Jejich nespornou výhodou je to, že nejsou závislé na směru větru. Proto jsou vhodné do míst, kde se směr větru neustále mění. VAWT lze umístit blíže k sobě bez toho, že by se aerodynamicky ovlivňovaly. Ve srovnání s HAWT jsou méně hlučné a jejich údržba je jednodušší. Hlavní nevýhodou však je, že dosahují menších účinností, které se pohybují kolem 35 %. Princip VAWT využívá Darrierova turbína a Savoniova turbína. [2] [11]

Darrieova turbína

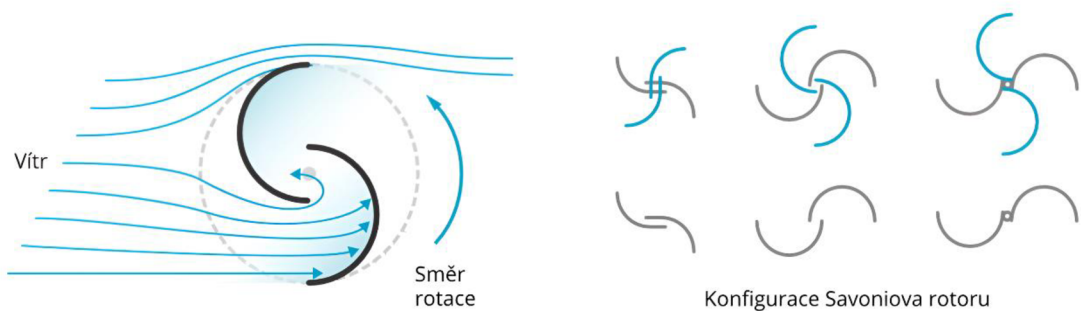
Darrieova turbína je většinou tvořena ze dvou až tří aerodynamicky profilovaných listů, které pracují na principu vztlaku (viz obrázek 6). Je charakteristická vejcovitým tvarem rotoru, ovšem konstrukce rotoru může být provedena i ve tvaru písmena H nebo Gorlovou šroubovicí. Darrieovy turbíny dosahují účinnosti kolem 35 %. [11] [15]



Obrázek 6 - Typy Darrieovy turbíny [15]

Savoniova turbína

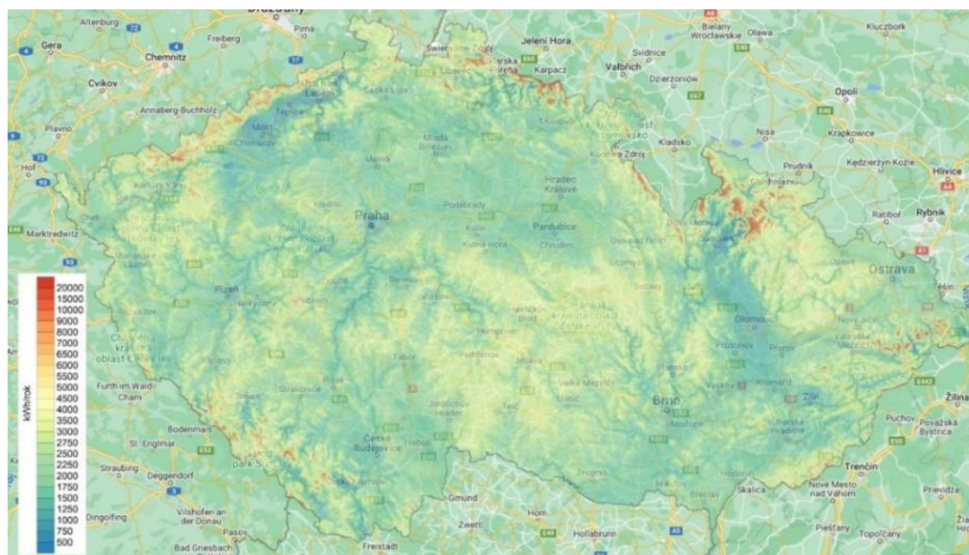
Savoniova turbína pracuje na odporovém principu (viz obrázek 7). Jedná se o velmi málo rozšířenou turbínu, neboť dosahuje velmi malých účinností. Její hlavní předností je jednoduchá konstrukce. Samotné Savoniovy turbíny nejsou v zásadě využívány, ovšem často se vyskytují ve formě modifikace s Darrieovou turbínou. Vzniklá turbína kombinací těchto dvou turbín je pak hojně používána především na lodích. [11] [15]



Obrázek 7 - Princip činnosti Savoniovy turbíny [46]

3.3 Podmínky pro větrné elektrárny v České republice

Největší potenciál pro výrobu elektrické energie se nachází na největrnějších místech České republiky, a to zejména v severní části republiky v Ústeckém kraji a Libereckém kraji, severní části Olomouckého a Moravskoslezského kraje. Vhodné podmínky se nacházejí také i v Jihomoravském kraji a v kraji Vysočina (viz obrázek 8). [13]



Obrázek 8 - Mapa potenciální výroby elektrické energie malou větrnou elektrárnou ve výšce 10 m nad povrchem za rok [44]

I když je velmi často slyšet argument, že větrné podmínky v České republice nejsou ideální pro vytváření nových větrných elektráren, jsou tyto argumenty mylné. V České republice se nacházejí podobné podmínky jako v sousedním Rakousku. Rakousko je však schopno výrobou elektřiny z větrných elektráren zajistit až 12 % své celkové spotřeby. Oproti tomu Česká republika pokryje pouze necelé 1 %. [13]

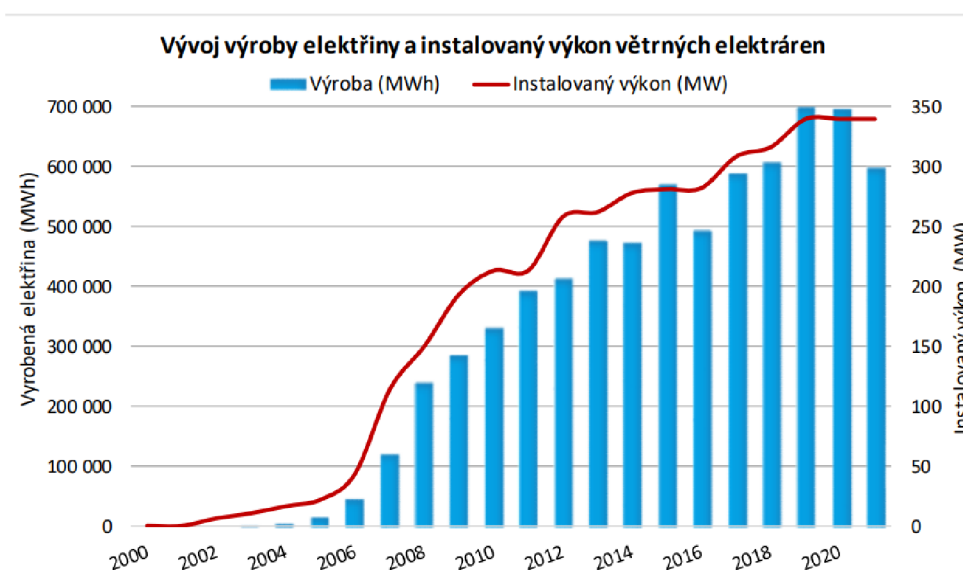
Na základě studie publikované Ústavem fyziky atmosféry (ÚFA) Akademie věd České republiky by bylo možné do roku 2040 pokrýt až 10 % roční spotřeby elektrické energie. Pro představu se přibližně jedná o spotřebu celého Moravskoslezského kraje. Bohužel v České republice zpomaluje budování nových větrných elektráren velmi zdlouhavé zařizování povolení, nedostatek politické podpory a mnoho mylných mýtů a informací. [16]

3.4 Větrné elektrárny v České republice a ve světě

V roce 2021 v České republice činila roční hrubá výroba elektřiny z větrných elektráren (VTE) 601 534 MWh. I když se jedná o zdroj s velkým potenciálem, není u nás tak populární a na celkovém podílu vyrobené elektřiny z OZE se podílel necelými 6 %. [8]

Největší větrnou elektrárnou v České republice je VTE Kryštofovy Hamry v Ústeckém kraji s jednadvaceti turbínami a s instalovaným výkonem 42 MW. Druhá největší VTE se nachází v Libereckém kraji v oblasti Václavic se třinácti turbínami a s instalovaným výkonem 26,1 MW. A třetí největší VTE se nachází v oblasti Horních Loděnic v Olomouckém kraji s devíti turbínami a s instalovaným výkonem 18 MW. [13]

Největší větrná elektrárna na světě se jmenuje Hornsea 2 a nachází se v Severním moři, 89 kilometrů od hrabství Yorkshire. VTE Hornsea 2 se skládá ze 165 větrných turbín a má celkový výkon 1,3 GW. Nově začíná i výstavba VTE Hornsea 3, kde je plánovaný výkon až 2,4 GW. [17]



Graf 2 - Vývoj výroby elektrické energie a instalovaného výkonu VTE v ČR [8]

V České republice je dle grafu 2 patrný dlouhodobě rostoucí trend zvětšování instalovaného výkonu VTE. Ovšem pro potenciál VTE je tento trend nedostačující, proto je potřeba urychlit budování a výstavbu nových větrných elektráren v České republice. [8]

4 Vodní elektrárny

Využití energie vody, ať už k výrobě mechanické energie nebo elektrické energie má dlouhodobou tradici. Hlavní výhodou je využití hydrologického cyklu neboli přirozeného koloběhu vody na Zemi, který zabezpečuje Slunce. Jedná se o jeden z nejčistějších zdrojů elektrické energie z OZE. Nevznikají totiž žádné zplodiny ani nutnost složitých recyklací, jako to je u vyřazených fotovoltaických panelů. Vodou je pokryto až 71 % zemského povrchu, což je zhruba 1,4 miliardy km³ vody. I když je vodou tvořena více jak polovina zemského povrchu, pouze 0,02 % vody se nachází v řekách. [1] [18]

Získávání energie z vody zažilo rozkvět v 18. století, kdy se v Evropě točilo bezmála 600 000 vodních mlýnů. V té době už vodní kola nepoháněla jen mlýny, ale sloužila i jako pohon výrobních a pracovních strojů. To vedlo k velkému rozšíření a bylo potřeba, aby došlo k regulaci toků. Regulace toků měla pozitivní důsledky v oboru hydrauliky, kde díky vylepšení a modernizaci začaly vznikat účinnější turbíny. Propad nastal při zavádění parních strojů, které znamenaly postupný odchod od vodních strojů. Tento trend však nebyl tak výrazný jako u větrné energie. V 19. století, kdy docházelo k elektrifikaci, se vodní zdroje energie začaly využívat k výrobě elektrické energie. Z počátku se jednalo jen o malé turbíny, ale jejich velikost v průběhu let rychle rostla. [1]

4.1 Princip vodních elektráren

Přitékající voda předává turbíně svoji energii, která se roztáčí. Turbína má společnou hřídel s generátorem, který přemění rotační energii na elektrickou. Výkon vodní turbíny se vypočte dle vztahu (1). Výkon je závislý na velikosti spádu, průtoku vody a účinnosti turbíny. [1] [18] [19]

$$P = \rho_w \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta \quad (1)$$

kde ρ_w je hustota vody [1000 kg/m³], Q průtok [l/s], g tíhové zrychlení [9,81 m/s²], H spád [m] a η účinnost turbíny.

4.2 Typy vodních turbín

Vodní turbíny jsou základem celé vodní elektrárny. Je mnoho typů a rozměrů vodních turbín, které se hodí pro různé podmínky. Turbíny lze rozdělit dle způsobu přeměny energie na rovnotlaké a přetlakové. Rovnotlaké turbíny zvané akční, využívají kinetickou energii vody. Tlak vody před oběžným kolem zůstává stejný jako za oběžným kolem. U přetlakových turbín, které bývají označovány jako reakční, je částečně využívána i tlaková energie vody. Tlak vody před oběžným kolem je větší než tlak vody za oběžným kolem. Mezi nejčastěji používané turbíny řadíme: přetlakovou Francisovu a Kaplanovu turbínu, rovnotlakou Peltonovu a Bánkiho turbínu. [18] [19]

4.2.1 Francisova turbína

Francisova turbína (viz obrázek 9) je pojmenována po konstruktérovi Jamesi Bicheno Francisovi, který ji v roce 1848 vyvinul. Jedná se o přetlakovou turbínu, kde kapalina během průchodu oběžným kolem mění tlak, a přitom odevzdává svoji energii. Turbína je vhodná pro velké průtoky a spády. Bývá umístěna v patě přehrady. Francisova turbína dosahuje účinností až 90 %. Je hojně používána v přečerpávacích elektrárnách, kde může sloužit i jako čerpadlo. Francisovy reverzní turbíny jsou umístěny i v přečerpávací vodní elektrárně Dlouhé Stráně. [1] [18] [19]



Obrázek 9 - Francisova turbína (vlevo) a Kaplanova turbína (vpravo) [19]

4.2.2 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína (viz obrázek 9) je pojmenována po rakouském inženýrovi a profesorovi brněnské techniky Viktoru Kaplanovi. Jedná se o přetlakovou turbínu, která se skládá ze tří až dvanácti natačivých lopatek. Kaplanova turbína se převážně používá pro velké proměnlivé průtoky a pro menší spády. Její účinnost dosahuje 80–95 %. Kaplanovy turbíny jsou využívány například ve vodní akumulaci elektrárně Orlík na Vltavě. [1] [19] [20]

4.2.3 Peltonova turbína

Peltonovu turbínu (viz obrázek 10) zkonstruoval v roce 1880 Američan Lester Allan Pelton, po kterém je i pojmenována. Jedná se o rovnotlakou turbínu vhodnou pro vysoké spády a malé průtoky. Voda je vedena tlakovým potrubím, na jehož konci je dýza. V ní se tlaková energie vody mění na kinetickou. Z dýzy proudí vysokou rychlostí a dopadá na lopatky lžícovitého tvaru. Zde voda předává většinu svojí energie oběžnému kolu. Používá se především na vysokohorských přehradách. Peltonova turbína dosahuje účinnosti až 90-95 %. [1] [19] [20]



Obrázek 10 - Peltonova turbína [19]

4.2.4 Bánkiho turbína

Turbína nese jméno podle maďarského profesora Donáta Bánkiho. Jedná se o rovnotlakou turbínu s dvojitým průtokem. Voda prochází nejdříve při vstupu do oběžného kola a poté při výstupu. Turbíny jsou vhodné pro menší až střední spády. Bánkiho turbíny v porovnání s ostatními zmíněnými turbínami dosahují nejnižší účinnosti, která se pohybuje kolem 70-85 %. Vyznačuje se jednoduchou konstrukcí, která je vhodná zejména pro menší vodní elektrárny, kde by z ekonomického hlediska nebylo efektivní pořídit dražší a účinnější turbínu. [19] [20]

4.3 Druhy vodních elektráren

4.3.1 Průtočné vodní elektrárny

Pro využití přirozeného průtoku řeky jsou budovány průtočné vodní elektrárny. Ty jsou situovány do míst na vodním toku, kde se vybuduje jez a vznikne vzdutí. Díky němu vznikne výškový rozdíl hladin. Voda vzniklým spádem teče do turbíny a pohání generátor. Průtočné elektrárny většinou disponují několika turbínami. V případě poklesu hladiny v období sucha, jsou některé turbíny odstaveny. V opačné situaci, kdy je průtok vody přespříliš vysoký, je voda vypouštěna bez užitku. Jezy a přehrady jsou překážkami pro ryby a lodě. Aby lodě mohly překonávat hráze a jezy, byly vytvořeny plavební komory a výtahy, které lodím pomáhají překonat danou překážku. Pro živočichy vznikly takzvané rybí přechody, které rybám a ostatním živočichům umožňují se dostat přes jez či hráz. [1] [19]

4.3.2 Akumulační vodní elektrárny

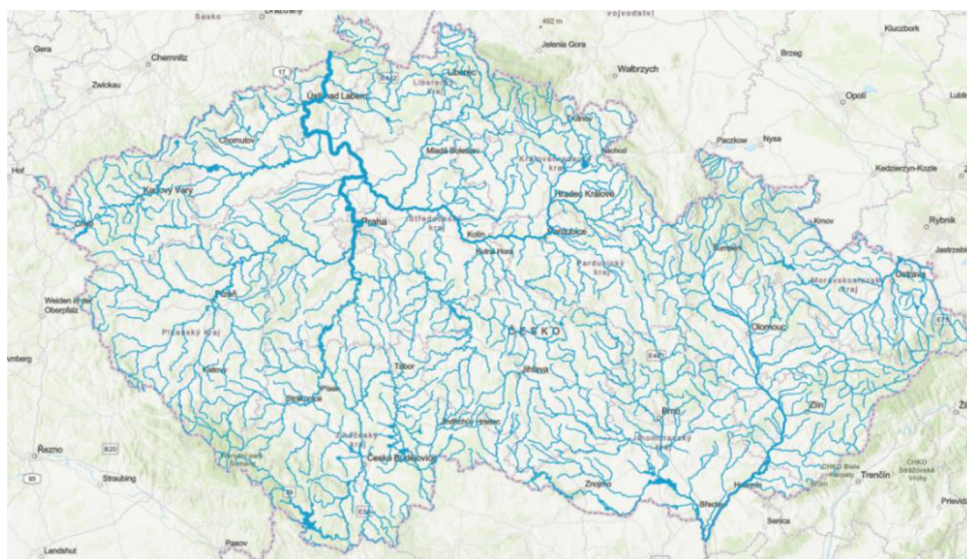
Akumulační vodní elektrárny se staví na takových místech řeky, kde jejím přehrazením vznikne tzv. údolní nádrž. Tyto nádrže shromažďují velké množství vody. Vznikají velké spády, které zvyšují výkon elektrárny. Mohou akumulovat vodní energii a v případě pološpičkového a špičkového zatížení začít rychle vyrábět elektřinu. Akumulační vodní elektrárny, mimo jiné, mohou fungovat i jako nádrže pitné vody a také umožňují regulaci stavu vody na řekách, čímž chrání před povodněmi. [1] [19]

4.3.3 Přečerpávací vodní elektrárny

Pro vybudování přečerpávací vodní elektrárny je zapotřebí vybudovat dvě nádrže s co největším spádem. Přečerpávací vodní elektrárny převážně disponují reverzní Francisovou turbínou. Ta je schopna v případě nízkého zatížení sítě odebírat přebytečnou elektrickou energii, tím že začne přečerpávat vodu do horní nádrže, čímž energii uloží ve formě potenciální energie vody. V případě špičkového zatížení sítě lze soustrojí přepnout do generátorického režimu a nashromážděnou energii vody opět přeměnit na elektrickou energii a dodat ji zpátky do sítě. [1] [18]

4.4 Podmínky pro vodní elektrárny v České republice

Podmínky pro vodní elektrárny v České republice (viz obrázek 11) nejsou tak dobré, jako v některých sousedních zemích. Česká republika nedisponuje vhodnými přírodními podmínkami, které by umožňovaly budování velkých vodních elektráren. Další velkou nevýhodou je, že toky na našem území nedisponují potřebnými velkými spády. Problém je i v absenci velkého množství vody, které je pro vodní elektrárny nezbytné. [21]

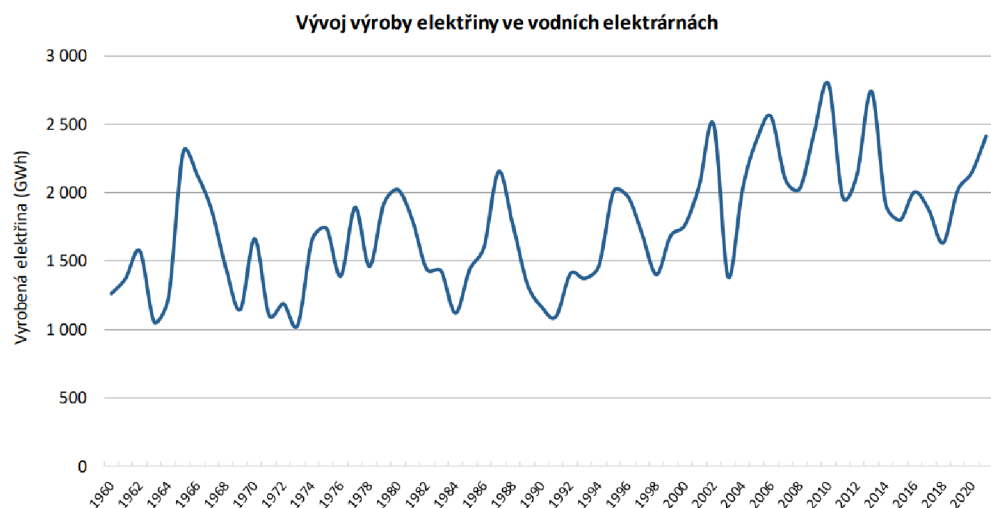


Obrázek 11 - Dlouhodobé průměrné průtoky v profilech vodních útvarů [22]

Vodní elektrárny jsou hojně využívány pro stabilitu elektrizační soustavy. V období pološpičkového a špičkového zatížení, mohou relativně rychle najet na výkon a dodávat potřebnou elektrickou energii do sítě. [21]

4.5 Vodní elektrárny v České republice a ve světě

V roce 2021 v České republice činila roční hrubá výroba elektřiny vodních elektráren 2 408 520 MWh (viz graf 3). Vodní elektrárny jsou třetími největšími výrobci elektřiny z obnovitelných zdrojů. Na celkovém podílu vyrobené elektřiny z OZE se vodní elektrárny podílely s 22,49 %. Jejich podíl na celkové hrubé roční výrobě elektrické energie v České republice byl bezmála 3 %. [8]



Graf 3 - Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách v ČR [8]

Většina všech velkých vodních elektráren se nachází na toku Vltavy, kde tvoří kaskádový systém tzv. vltavskou kaskádu. Do této vltavské kaskády se řadí například akumuláční vodní elektrárna Orlík s instalovaným výkonem 364 MW ve Středočeském kraji, akumuláční vodní elektrárna Slapy s instalovaným výkonem 144 MW a akumuláční vodní elektrárna Lipno I s instalovaným výkonem 120 MW v Jihočeském kraji. [19] [21]

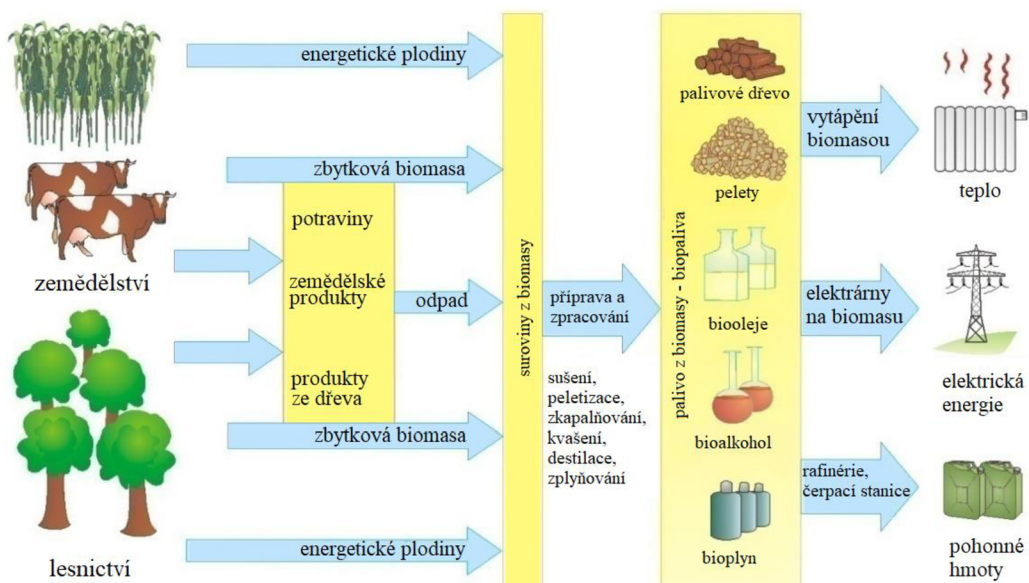
Mezi dvě největší vodní elektrárny vůbec podle instalovaného výkonu řadíme přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně s instalovaným výkonem 650 MW v Olomouckém kraji a Dalešice s instalovaným výkonem 480 MW v kraji Vysočina. [19]

Mezi největší vodní elektrárnu na světě se bezkonkurenčně řadí vodní elektrárna Tři soutěsky v provincii Yichang v Číně na toku Yangtze. Tato vodní elektrárna disponuje pozoruhodným instalovaným výkonem 22 500 MW. Pro srovnání instalovaný výkon všech vodních elektráren v České republice dosahuje pouze 1 113,4 MW. Hráz elektrárny Tři soutěsky je vysoká 181 metrů a dlouhá 2 335 metrů. Druhá největší vodní elektrárna Itaipu se nachází mezi hranicemi Brazílie a Paraguayí s instalovaným výkonem 14 000 MW. Elektrárna je schopna vyrobit za rok kolem 98 TWh, čímž pokrývá ze 17 % spotřebu elektrické energie Brazílie a 72,5 % spotřebu elektrické energie v Paraguayi. [8] [23]

5 Biomasa

Veškerá organická hmota ať už živočišného či rostlinného původu, je označována jako biomasa. Ovšem za energetickou biomasu jsou především považovány rostliny. Rostliny jsou schopny získanou energii, kterou přijmou ze slunečního záření, použít k fotosyntéze. Při ní se jednoduché organické látky, jako je oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O), přemění na energeticky bohaté sloučeniny, jako je například nejjednodušší glukóza ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Tento proces je možný pouze u rostlin prostřednictvím fotosyntézy. Živočiškové mohou vytvářet energetickou biomasu konzumací jiné biomasy. Biomasa je řazena mezi obnovitelné zdroje energie. Při jejím spalování lze mimo tepla, vyrobit také elektrickou energii. [1] [24]

Energie z biomasy je využívána od dob, kdy jeskynní člověk objevil oheň a začal odebírat energii z hořícího dřeva. Jednalo se prakticky o jediný zdroj energie, a to až do padesátých let 18. století. Vše se začalo měnit v 19. století, kdy začala být biomasa nahrazována fosilními palivy. V průmyslově vyspělých zemích fosilní paliva postupem let téměř zcela nahradila biomasu. To se začalo měnit až ve 20. století, kdy cena ropy významně vzrostla. V důsledku vysoké ceny ropy se opět lidé začali zajímat o využití biomasy a jak zvýšit její účinnost. Zjistilo se, že biomasu lze využívat i lépe než pouhým spalováním. A začala se využívat k výrobě plynu či jiného ušlechtlejšího paliva (viz obrázek 12). [1] [24]



Obrázek 12 - Možnosti využití biomasy [1]

5.1 Zdroje biomasy

Biomasu lze rozdělit dle více kritérií, ale obecně se dělí na biomasu, která byla záměrně vypěstována pro energetické účely a na biomasu, která vznikla jako odpad. [24] [25]

5.1.1 Biomasa záměrně pěstovaná

Pro tyto účely se používají především rychle rostoucí rostliny a dřeviny, které lze snadno vysázet a po krátké době je sklízet. Jedná se o dřeviny jako je vrba, olše, akát, líska a topol. Také sem spadají rostliny bylinného charakteru jako je konopí seté, šťovík, a travní porosty. [24] [25]

Dále jsou pěstovány olejnaté rostliny, kam se řadí řepka, slunečnice, len a sója. Lze využít také škrobo-cukernaté rostliny, jako je například cukrová řepa, cukrová třtina a brambory. [24]

5.1.2 Biomasa odpadní

Jedná se o veškerou biomasu, která vznikne při zpracovávání primární biomasy. Typickou odpadní biomasou jsou veškeré rostlinné odpady, které vznikají při zemědělském zpracovávání nebo při údržbě zeleně. Využití odpadní biomasy je výhodné především v zemědělské výrobě, která jí produkuje ve velkém množství. Má především pozitivní hospodářský efekt, lze tím snížit náklady spojené s bezpečnou likvidací tohoto odpadu nebo snížením nákladů na energie. Jako odpadní biomasa jsou využívány i veškeré lesní odpady, které vzniknou v důsledku těžby. Jedná se především o pařezy, kořeny, kůru, lesní klest a vršky stromů. [20] [24] [25]

Odpadní biomasa zahrnuje i veškeré vedlejší organické produkty a zbytky, které vzniknou z průmyslové výroby. Jsou to odřezky, piliny a hobliny z dřevařských podniků, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, cukrovarů a moštáren. Odpadní biomasou jsou i odpady z živočišné výroby, které vznikají při chovu hospodářských zvířat, ale i komunální organický odpad. [20] [24] [25]

5.2 Zpracování biomasy pro energetické účely

Zpracováním biomasy na kapalná a plynná biopaliva lze dosáhnout efektivnějšího využití energie než biomasu v surovém stavu pouze spalovat. Biopalivem lze nahradit například i benzín a naftu. Pro získání biopaliva z biomasy je využíváno termochemické, biochemické a mechanicko-chemické přeměny. [26]

Do termochemické přeměny spadají především procesy pyrolýzy, karbonizace a zplynování. Díky těmto procesům lze získat mimo jiné i oleje a plyny, které lze pak efektivněji přeměnit v elektrickou energii. Biochemickou přeměnou v podobě anaerobní digesce lze získat bioplyn. Další metodou biochemické přeměny je alkoholová fermentace využívaná pro produkci etanolu. [1] [2] [26]

Za pomoci mechanicko-chemické přeměny biomasy získáváme přírodní maziva a bionaftu. V první fázi procesu získáváme lisováním olejnatých rostlin, jako je třeba slunečnice nebo řepka, olej. Ve druhé fázi procesu, procesem esterifikace, pak dochází ke vzniku finálního produktu. [24] [26]

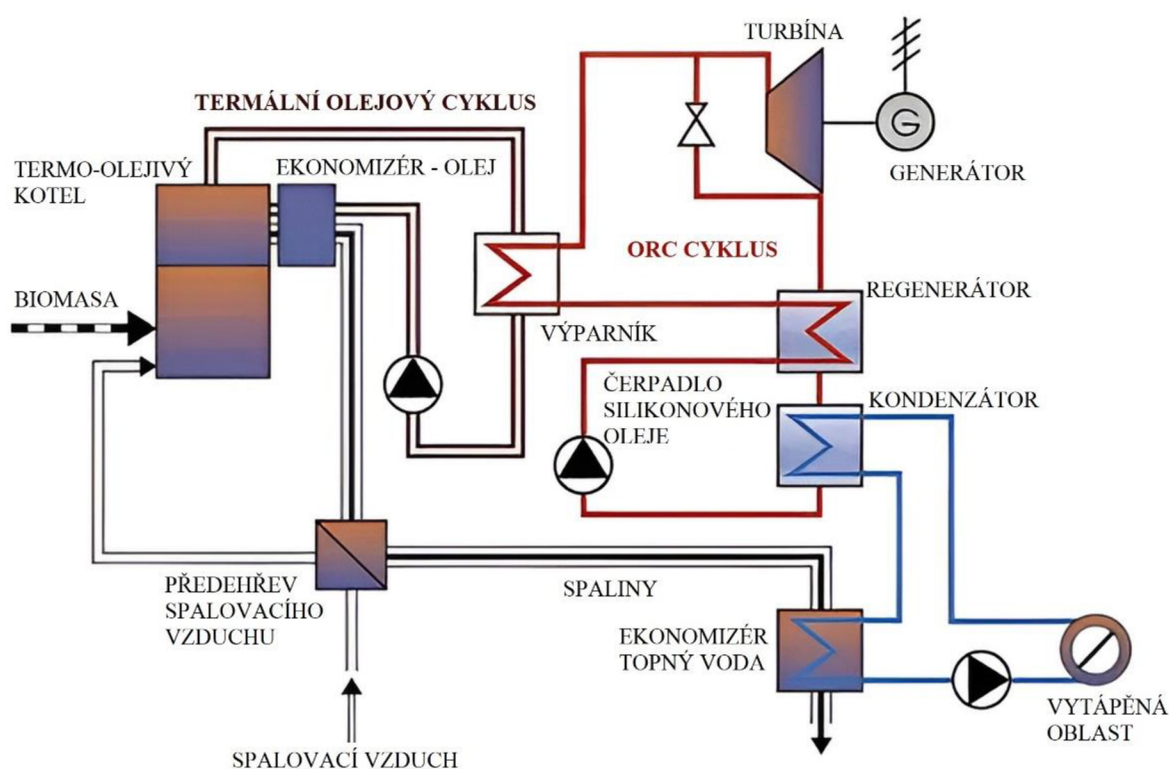
K získání pevných paliv lze biomasu zpracovávat i pouze mechanicky, a to řezáním, drcením, štípáním a lisováním, díky čemuž se pak biomasa lépe přepravuje, skladuje a následně užívá. [24] [26]

5.3 Princip získávání elektrické energie z biomasy

Spalováním biomasy můžeme získat teplo a zároveň i elektřinu. Jedná se tak o kombinovanou výrobu tepla a elektřiny, takzvanou kogeneraci. Hlavní výhodou kogenerace je zvýšení využití energie z biomasy, a tím i zvýšení celkové účinnosti energetické přeměny. Tato účinnost se pak pohybuje kolem 90 %. Kogenerační jednotky v poslední době zažily velký rozvoj, a kromě elektráren a tepláren se nyní často využívají i v průmyslových objektech a obytných domech. [20] [27]

Pro tyto účely se často používá kogenerace s ORC cyklem. Jedná se o Organický Rankinův Cyklus, který je podobný obyčejnému Rankinovu cyklu. Tyto cykly se od sebe odlišují rozdílným pracovním médiem. Zatímco Rankinův cyklus používá jako pracovní médium vodu, u ORC cyklu je to látka, která disponuje nižší teplotou varu než voda. [27]

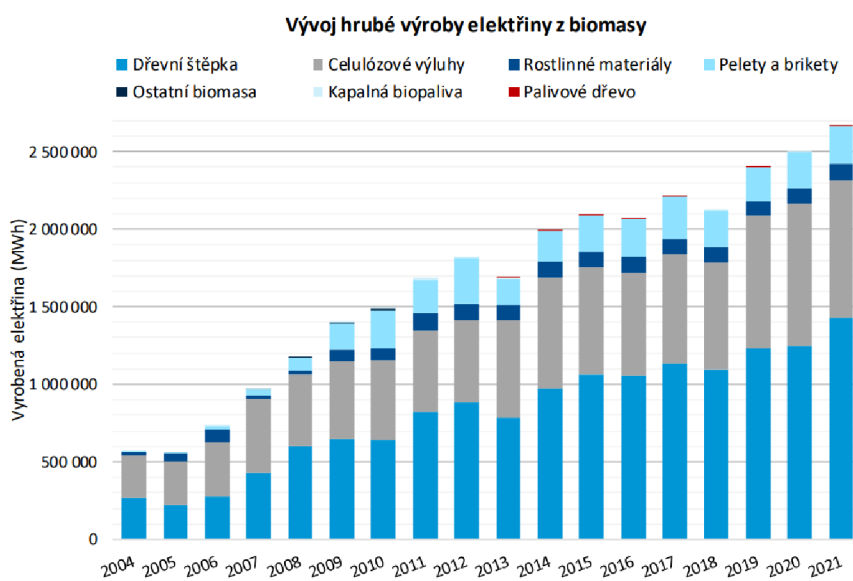
Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla pak funguje způsobem, který je znázorněn na obrázku 13. V kotli se začne ohřívat termoolej, který dosáhne přibližně teploty 300 °C. Termoolej o dané teplotě je přiveden do parogenerátoru, kde předává své teplo pracovnímu médiu, které se začne vypařovat. Ochlazený termoolej je čerpadlem opět vtlačen do kotle, kde se ohřívá. Vzniklé páry pracovního média expandují v turbíně, kterou tím roztáčejí a následkem toho dochází v generátoru k výrobě elektrické energie. Páry pak v regeneračním ohřevu předají část tepla zkapalněnému pracovnímu médiu a následně jsou v kondenzátoru opět zkapalněny. [27]



Obrázek 13 - Kogenerace založena na spalování biomasy ve spojení s ORC cyklem [47]

5.4 Využití biomasy v České republice a ve světě

Výroba elektrické energie a tepla z biomasy v České republice dlouhodobě roste. V roce 2021 v České republice činila roční hrubá výroba elektřiny z biomasy 2 664 593 MWh (viz graf 4) a hrubá výroba tepla 26 145 904 MWh. Na celkovém podílu vyrobené elektřiny z OZE se biomasa podílela 24,88 %. Jejich podíl na celkové hrubé roční výrobě elektrické energie v České republice byl 3,14 %. [8]



Graf 4 - Vývoj hrubé výroby elektřiny z biomasy v ČR [8]

Ve světě, ale i u nás bývá uhlí v tepelných elektrárnách nahrazováno biomasou. Z tohoto důvodu se spousta uhelných elektráren, ať už částečně nebo úplně, přestavuje na spalování biomasy. Mezi největší elektrárny v České republice, které biomasu v různých mírách využívají k výrobě elektrické energie a tepla, jsou elektrárny Poříčí a Hodonín. Ve Velké Británii to je velká uhelná elektrárna Drax, která se kompletně přestavuje na spalování biomasy. Uhlenné elektrárny se přestavují na elektrárny spalující biomasu i v ostatních zemích světa, ku příkladu v zemích jako je Nizozemsko, ale i Dánsko, které předělává hned své tři uhelné elektrárny Herring, Avedøre a Asnæs. [25] [28]

6 Bioplyn

Z biomasy lze vyrobit i bioplyn. Jedná se o hořlavou plynou směs, která vzniká v průběhu anaerobní digesce. V zásadě jde o rozklad biomasy za přítomnosti mikroorganismů bez přístupu kyslíku. V důsledku tohoto procesu vzniká energeticky bohatý bioplyn a digestát, který obsahuje spoustu živin a využívá se jako hnojivo. Vzniklý bioplyn se skládá obecně ze 60 % metanu (CH_4) a 25-39 % oxidu uhličitého (CO_2). [2] [20]

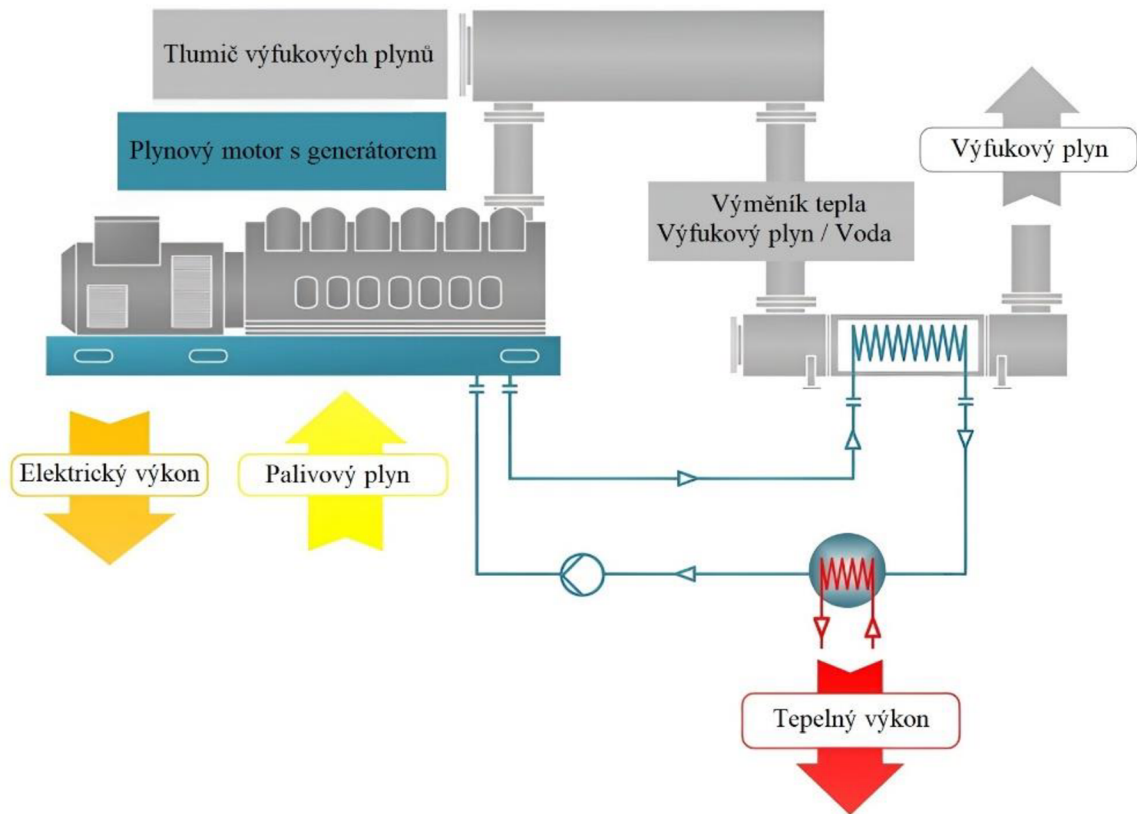
Pro anaerobní digesci lze využít mnoho druhů odpadní biomasy. Jsou to například čistírenské kaly, kejdy, hnůj z podestýlky hospodářských zvířat, odpady ze zpracování potravin, zbytky z restaurací, splašky, odpady z jatek a mnoho dalšího. Celý proces ovlivňuje hned několik faktorů, jako je třeba podíl uhlikatých a dusíkatých sloučenin, čistota a hodnota pH vstupujícího substrátu. Dále je velmi důležitá i teplota, která ovlivňuje růst mikroorganismů. [2] [20]

Úplně první bioplyn byl vyroben na přelomu 19. a 20. století v anglickém městě Exeter. Jednalo se o bioplyn vyrobený pomocí anaerobního zpracování kalu v uzavřených septicích. Během následujících let došlo ke zdokonalení technologií a k výrobě bioplynu se začínají využívat i odpady z potravinářství a zemědělství. Další důležitý krok nastal v 70. letech 20. století, kdy se přestala výroba omezovat pouze na odpady a začaly se využívat i záměrně pěstované plodiny. [29]

6.1 Princip získávání elektrické energie z bioplynu

Pro výrobu elektrické energie z bioplynu se opět využívá kogenerace, podobně jako u biomasy. Zde se využívá spalovací motor, přičemž se v praxi osvědčil především plynový zážehový spalovací motor a modifikované vznětové motory. Palivo ve formě bioplynu je přivedeno do spalovacího motoru, kde dojde k jeho spálení a následné přeměně na teplo a mechanickou energii. Spalovací motor otáčí hřídelí, na které je připojený generátor a ten vyrábí elektrickou energii. Vzniklé teplo je odebíráno z chladiče motoru a z výfukových plynů (viz obrázek 14). Odebrané teplo může sloužit k ohřevu užitkové vody a k vytápění. [1] [20] [27]

Samostatná výroba elektrické energie by dosahovala účinnosti využití paliva pouze kolem 35 %. V případě použití kogenerační jednotky dojde ke zvýšení účinnosti využití daného paliva až na 90 %. [20]



Obrázek 14 - Kogenerace s plynovým motorem (upraveno) [27]

6.2 Využití bioplynu v České republice

V roce 2021 v České republice činila roční hrubá výroba elektřiny z bioplynu 2 592 779 MWh a hrubá výroba tepla 1 293 062 MWh. Na celkovém podílu vyrobené elektřiny z OZE se bioplyn podílel 24,21 %. Jejich podíl na celkové hrubé roční výrobě elektrické energie v České republice byl 3,05 %. [8]

Největší zastoupení ve výrobě elektrické energie mají bioplynové stanice. Největší průmyslová bioplynová stanice v České republice je Cukrovar Dobruška v okrese Mladá Boleslav. Její instalovaný elektrický výkon je 15,18 MW_e. Největší zemědělskou bioplynovou stanicí je pak BPS Králupy s instalovaným elektrickým výkonem 2,769 MW_e. [8] [30]

7 Geotermální elektrárny

Geotermální energie je tepelná energie Země. Struktura Země se skládá ze tří hlavních částí, a to zemského jádra, zemského pláště a zemské kůry. Největší teploty jsou v zemském jádru a dosahují maximálních teplot až 6 500 °C. Je udáváno, že 99 % veškerého objemu Země dosahuje vyšší teploty jak 1 000 °C. Geotermální energie, kterou lze nazvat i jako teplo Země, je nejčistější obnovitelný zdroj energie, který lze nepřetržitě čtyřicet hodin denně využívat k výrobě elektrické energie a získávání tepla. [1] [2]

Geotermální energie byla využívána již ve starověkém Římě, kdy vytápěla termální lázně přírodní teplou vodou. Až v 19. století byla geotermální energie využívána na Islandu k vytápění skleníků a postupem let i k dodávkám tepla do měst. V roce 1913 byla vybudována úplně první, a na půl století i jediná geotermální elektrárna. [31]

7.1 Princip geotermálních elektráren

Geotermální elektrárny využívají především čtyři základní principy pro získávání elektrické energie. Jedná se o princip suché páry (Dry steam), princip mokré páry (Flash steam), princip ORC (Organic Rankine Cycle) a princip HDR (Hot Dry Rocks). [1] [31]

Nejjednodušší princip, na kterém fungují geotermální elektrárny, je princip suché páry. Tento princip je využíván v oblastech, kde lze ze země získat páru o teplotě kolem 200-300 °C. Tato pára pohání parní turbínu generátoru. Páre je pak odebráno část tepla a dochází ke zkapalnění. Následně je vzniklá voda vstříkována zpět do rezervoáru. [1] [31]

Podobně fungují i geotermální elektrárny na principu mokré páry. Rozdíl je v tom, že zde je čerpána voda pod velkým tlakem a teplotou, která dosahuje okolo 180 °C. Na povrchu se začne zmenšovat tlak a vzniká pára, která pohání parní turbínu. Páre se opět odebere teplo a je kondenzována. Následně je jako kapalina pod tlakem vrácena zpět do rezervoáru. [31]

ORC princip je využíván především u geotermálních elektráren, které čerpají vodu o teplotě 100 °C nebo méně. Tyto teploty již nepostačují k tvorbě páry. Čerpaná voda se tedy používá k ohřevu pracovního média v ORC cyklu, které dosahuje nižšího bodu varu než voda. Tímto vzniká v uzavřeném cyklu pára, která opět pohání turbínu. Voda, které předá své teplo v tepelném výměníku je vrácena zpátky do rezervoáru, aby se ohřála. [31]

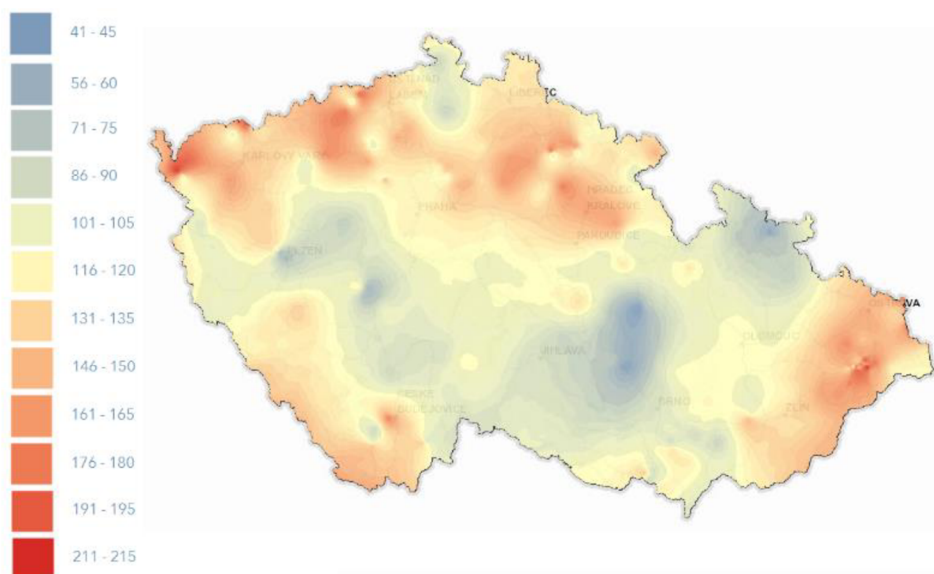
Poslední typ geotermální elektrárny využívá principu HDR. Tento princip je vhodný i pro geotermálně chudší oblasti. Vrtly dosahují hloubek kolem 5 kilometrů, kde se většinou vždy nachází horká suchá hornina. Vstříkovaním studené vody do vrtů vzniknou pukliny, do kterých je později čerpána studená voda. Tato voda se ohřeje na teplotu okolo 200 °C a je vrácena zpátky na povrch, kde se podobně jako v předchozích případech vyrobí elektrická energie a odebere se teplo. [1] [31]

7.2 Podmínky pro geotermální elektrárny v České republice

I když dle studie, kterou vypracovali zástupci Geofyzikálního ústavu Akademie věd ČR a České geologické služby, jsou podmínky v některých oblastech České republiky vhodné pro získávání geotermální energie, zájem investorů zůstává nízký. Je to především dáno tím, že pro využití potenciálu geotermální energie jsou zapotřebí větší investiční prostředky, než je u jiných způsobů získávání tepelné a elektrické energie. [31] [32]

I když se v České republice zatím nenachází žádná geotermální elektrárna, je zde spousta drobných projektů, které využívají geotermální energii v lázeňství, vytápění a ohřevu užitkové vody. Za zmínku stojí především Děčín, který využívá geotermální energii k vytápění více jak poloviny města. [31]

Nejvhodnější podmínky pro využívání geotermální energie se nacházejí především v severních Čechách, východní Moravě a v okresech Cheb, Sokolov, Karlovy Vary a České Budějovice (viz obrázek 15). [32] [33]



Teplota v hloubce 5000 m (°C)

Obrázek 15 - Geotermální potenciál České republiky [33]

7.3 Geotermální elektrárny ve světě

Obecně ve využívání geotermální energie naprosto dominují státy, jako je USA, Čína a Island. Z pohledu využití geotermálních zdrojů pouze k výrobě elektrické energie opět dominují Spojené státy americké, ale tentokrát následované Filipínami a Indonésií. I když Island je schopen pokrýt svoji energetickou spotřebu více jak z 50 % pomocí geotermální energie, jeho instalované výkony jsou v porovnání s ostatními malé. [1]

V roce 2015 celkový instalovaný výkon geotermálních elektráren z více jak pětadvaceti států dosahoval hodnoty 12 729 MW_e. Největším podílem přispívalo USA s celkovým instalovaným výkonem 3 450 MW_e, následováno Filipínami s 1 980 MW_e a Indonésií s 1 340 MW_e. [34]

Praktická část

8 Stanovení cílů

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout pro konkrétní rekreační objekt ostrovní systém výroby a spotřeby elektrické energie. V rámci ostrovního systému bude vyráběna vlastní elektrická energie pro zajištění veškeré elektrické spotřeby. Bude potřeba zjistit, zda je možné navržené řešení aplikovat i pro daný rekreační objekt a zda při zavedení ostrovního systému dojde k ušetření financí.

V prvním kroku bude potřeba:

- získat dlouhodobý základní přehled o celkové elektrické spotřebě,
- zanalyzovat současné spotřebiče a jejich spotřebu elektrické energie,
- identifikovat energeticky náročná a neefektivní spotřebiče pro obnovu,
- navrhnout průměrnou spotřebu elektrické energie rekreačního objektu.

V druhém kroku bude navržen ostrovní systém s ohledem na možnosti lokality, ve které se rekreační objekt nachází. Pro ostrovní systém bude zpracován:

- návrh ostrovní elektrárny,
- návrh měniče napětí,
- návrh akumulátorů.

V závěrečném kroku bude provedena technicko-ekonomická analýza kompletního ostrovního systému. Zde bude potřeba stanovit celkové náklady související s vybudováním celého ostrovního systému a jeho využití.

9 Umístění rekreačního objektu

Rekreační objekt se nachází ve Středočeském kraji v okrese Praha-Západ nedaleko města Černošice. Objekt stojí v kopci, kde z celé severovýchodní strany je obklopen lesem. Ze severozápadní a jihovýchodní strany sousedí s jinými rekreačními objekty, zatímco celá jihozápadní strana je odkrytá s výhledem na celou obec. Pozemek disponuje necelými 600 m², kdy necelá jeho polovina je zastavěná rekreačním objektem a dalšími stavbami jako například kůlnou a dřevníkem. Střecha rekreačního objektu je po rekonstrukci a má plochu necelých 200 m².

Rekreační objekt je využíván v období od dubna až do první půlky listopadu. Převážně je využíván v letních měsících, kterými jsou červen, červenec a srpen.

9.1 Možnosti dané lokality

Při rozhodování, jakou ostrovní elektrárnu pro daný rekreační objekt zvolit, byla jako první možnost zkoumána fotovoltaická elektrárna. Ta se jeví jako velmi vhodná vzhledem k tomu, že střecha disponuje relativně velkou plochou, kam lze umístit fotovoltaické panely. Další výhodou je, že od jihovýchodní strany až k západní straně není střecha stíněna žádnými okolními objekty.

Další zvažovanou možností je větrná elektrárna, ale vzhledem k rozložení pozemku je jediné volné místo na hranici pozemku s lesem. Elektrárna by byla zastíněna stromy, které by neumožnily naplnit veškerý potenciál elektrárny a realizace by nebyla ekonomicky výhodnou.

Na pozemku se nenachází žádný potok ani říčka. Čas od času se sice na pozemku objeví pramen, ale jen po období velkých dešťů. Síla tohoto pramene je ovšem zanedbatelná a pramen vydrží jen pár dní. Zvažované vytvoření vodní elektrárny na daném pozemku taktéž nepřipadá v úvahu.

V úvahu nepřipadá ani geotermální elektrárna. V dané lokalitě je složité, ne-li zcela nemožné získání povolení na provedení vrtů, aby nedošlo k odklonění vodního pramene. Dalším důvodem je, že se jedná o rekreační objekt, a tudíž není zcela vhodné budování velmi drahé geotermální elektrárny.

Poslední zvažovanou možností je využití biomasy. To se jeví vhodným hned z několika směrů. V daném rekreačním objektu se nachází technická místnost, kam by bylo možné umístit kotel na spalování biomasy a využít teplo k ohřevu vody nebo k vytápění objektu. Kotel je možné zakoupit již se stirlingovým motorem, který by mohl sloužit k výrobě elektrické energie. Ovšem výroba elektrické energie je spíše doplňková. Dále by nebylo vhodné vyrábět elektrickou energii v letních měsících, protože veškeré vzniklé teplo určené k vytápění objektu by bylo bez užitku vypouštěno do ovzduší. Z tohoto důvodu je vhodné tuto elektrárnu vybrat spíše jako rezervní, nikoliv jako hlavní.

10 Analýza spotřeby elektrické energie

Z vyúčtování za poslední čtyři roky lze odvodit, že průměrná spotřeba elektrické energie je necelých 0,608 MWh za rok. Spotřeba se zdá relativně stabilní. Menší odchylku má rok 2020, kdy spotřeba byla nižší, což bylo do jisté míry způsobeno celosvětovou pandemií. Celková spotřeba elektrické energie je rozdělená do jednotlivých měsíců, kdy byl prováděn samoodečet na začátku každého měsíce (viz tabulka 2).

Tabulka 2 - Spotřeba elektrické energie v letech 2019-2022

Spotřeba elektrické energie [kWh]	Měsíce	2022	2021	2020	2019
	Leden				
	Únor				
	Březen				
	Duben	13	9	3	8
	Květen	58	51	78	87
	Červen	114	98	101	122
	Červenec	146	164	132	155
	Srpen	148	157	134	137
	Září	62	88	55	66
	Říjen	54	92	39	26
	Listopad	25			9
	Prosinec				
	Celková spotřeba elektrické energie [kWh]		620	659	542

Z tabulky 2 je patrné, že i když začíná chatařská sezóna již v dubnu, počáteční elektrická spotřeba je velmi nízká. To je dáno tím, že v celém rekreačním objektu je přes zimu vypuštěna voda, aby nedošlo k zamrznutí vody v trubkách ve zdech. Znovu připojení rekreačního objektu k vodě probíhá až následující měsíc. Následně se spotřeba markantně zvýší kvůli čerpání vody ze studny a jejího ohřevu. Vyšší elektrická spotřeba je především v letních měsících, kdy je rekreační objekt využíván nejvíce. Současně jsou využívána i specifická elektrická zařízení na ohřev a filtraci vody v bazénu.

10.1 Analýza elektrických spotřebičů v rekreačním objektu

V rekreačním objektu se nachází mnoho elektrických spotřebičů. Tyto spotřebiče lze rozdělit na tři základní skupiny a to primární, sekundární a terciální. Do primární skupiny budou patřit elektrické spotřebiče, které budou považovány za nezbytné pro rekreaci. Z tohoto důvodu by případná budoucí elektrická elektrárna měla být schopna tuto elektrickou spotřebu vždy zajistit. Do sekundární skupiny budou zařazeny spotřebiče, které se využívají jen výjimečně nebo méně často než ostatní. Tyto spotřebiče budou zapínány pouze, když bude dostatek elektrické energie v systému. A do poslední terciální skupiny budou patřit doplňková zařízení, která nejsou nezbytná pro rekreaci a lze se bez nich obejít.

10.1.1 Primární skupina

Pro výpočet odhadu spotřeby elektrické energie se musí jako první definovat doba, po kterou budou elektrické spotřebiče odebírat elektrickou energii. Doba chatařské sezóny v daném rekreačním objektu trvá průměrně cca 200 dní za rok, kdy po tuto dobu jsou permanentně připojená elektrická zařízení, jakými jsou lednice a router. Pro zbylé spotřebiče, které nejsou zapnuty po celou sezónu, bude odhadnuta jejich vytiženost. Jedná se o zbylé spotřebiče, které jsou využívány jen v období, kdy je objekt skutečně využíván, a ne vždy jsou využívány všechny spotřebiče. Z dané chatařské sezóny s přihlédnutím na víkendy a případné dovolené v letních měsících bylo odhadnuto, že pouze 90 dní z celé chatařské sezóny je objekt plně využíván. Následně se spočítá daná elektrická spotřeba jednotlivých spotřebičů dle vzorce (2). Pro spotřebiče s energetickým štítkem bude elektrická spotřeba stanovena pomocí uvedeného energetického štítku.

$$E = P \cdot t \quad (2)$$

kde **P** elektrický příkon spotřebiče [W] a **t** doba, po kterou je spotřebič používán [h]

Výpočet

- Roční elektrická spotřeba lednice (E_L) s energetickou třídou C, kde je udávána elektrická spotřeba 163 kWh / annum:

$$E_L = \frac{E_{L(365)}}{365} \cdot t_S = \frac{163\,000}{365} \cdot 200 = 89\,315 \text{ Wh} = 89,32 \text{ kWh} \quad (3)$$

kde $E_{L(365)}$ je roční elektrická spotřeba lednice [Wh] a t_S doba trvání sezóny [dny].

- Roční elektrická spotřeba routeru (E_r):

$$E_r = P \cdot t = 10 \cdot (24 \cdot 200) = 48\,000 \text{ Wh} = 48 \text{ kWh} \quad (4)$$

- Roční elektrická spotřeba televize (E_T) s energetickou třídou E, kde je udávána elektrická spotřeba 45 kWh/1000 h:

$$E_T = \frac{E_{T(1000)}}{1000} \cdot t = \frac{45\,000}{1000} \cdot (4 \cdot 90) = 16\,200 \text{ Wh} = 16,20 \text{ kWh} \quad (5)$$

kde $E_{T(1000)}$ je elektrická spotřeba televize pro dobu 1000 h [Wh].

Vypočtené hodnoty pro všechny spotřebiče primární skupiny jsou pak zaznamenány v tabulce 3.

Tabulka 3 - Spotřeba elektrické energie spotřebičů primární skupiny

Primární skupina	Příkon[W]	Odhadovaná doba provozu za den [h]	Odhadovaná doba provozu za rok [dny]	Elektrická spotřeba za sezónu [kWh]
Lednice (C)	120	24	200	89,32
Router	10	24	200	48,00
Darling	1500	0,2	90	27,00
Boiler (B)	2000	24	60	206,30
Vařič	2000	1	60	120,00
Trouba	1850	1	20	37,00
Rychlovarní konvice	2000	0,2	80	32,00
Svícení	100	1,5	90	13,50
Televize (E)	60	4	90	16,20
			Celkem:	589,32

10.1.2 Sekundární skupina

Pro myčku a pračku je elektrická spotřeba odvozena z energetických štítků, kde je udávána spotřeba na sto cyklů. Zde se bude předpokládat, že během jednoho dne se zařízení zapne pouze jednou. Pak bude platit, že odhadovaný počet dnů se bude rovnat počtu cyklů.

Výpočet

- Roční elektrická spotřeba vysavače (E_V):

$$E_V = P \cdot t = 400 \cdot (0,5 \cdot 30) = 6\,000 \text{ Wh} = 6 \text{ kWh} \quad (6)$$

- Roční elektrická spotřeba myčky (E_M) s energetickou třídou B, kde je udávána elektrická spotřeba na sto cyklů 64 kWh.

$$E_M = \frac{E_{M(100)}}{100} \cdot t_m = \frac{64\,000}{100} \cdot 30 = 19\,200 \text{ Wh} = 19,20 \text{ kWh} \quad (7)$$

kde $E_{M(100)}$ je elektrická spotřeba myčky pro sto cyklů [Wh] a t_m doba užívání myčky [dny].

Vypočtené hodnoty pro všechny spotřebiče sekundární skupiny jsou pak zaznamenány v tabulce 4.

Tabulka 4 - Spotřeba elektrické energie spotřebičů sekundární skupiny

Sekundární skupina	Příkon[W]	Odhadovaná doba provozu za den [h]	Odhadovaná doba provozu za rok [dní]	Elektrická spotřeba za sezónu [kWh]
Čerpadlo	400	0,5	20	4,00
Filtrace bazénu	250	0,5	25	3,13
Sekačka	1800	1	15	27,00
Vysavač	400	0,5	30	6,00
Myčka (B)	2000	-	30	19,20
Pračka (B)	1900	-	15	7,80
Celkem:				67,13

10.1.3 Terciální skupina

Poslední analyzovanou skupinou je terciální (viz tabulka 5). Zde je spotřeba nejnižší. Do této skupiny spadají zařízení, která jsou sice často využívána, ale v důsledku snížení spotřeby je lze omezit nebo je úplně vyřadit. Při používání těchto zařízení bude záležet na aktuálním stavu akumulátorů. Tyto spotřebiče budou využívány pouze v případě, kdy bude elektrické energie dostatek pro první dvě skupiny.

Výpočet

- Roční elektrická spotřeba rádia (E_R):

$$E_R = P \cdot t = 12 \cdot (2 \cdot 40) = 960 \text{ Wh} = 0,96 \text{ kWh} \quad (8)$$

Tabulka 5 - Spotřeba elektrické energie spotřebičů terciální skupiny

Terciální skupina	Příkon[W]	Odhadovaná doba provozu za den [h]	Odhadovaná doba provozu za rok [dní]	Elektrická spotřeba za sezónu [kWh]
DVD přehrávač	14	1	30	0,42
Notebook (nabíjení)	40	1	60	2,40
Mobil (nabíjení)	10	1	70	0,70
Mikrovlnná trouba	800	0,2	60	9,60
Rádio	12	2	40	0,96
			Celkem:	14,08

10.2 Plánované změny spotřebičů

Dlouhodobě je plánovaná výměna některých spotřebičů. Bude se především jednat o staré spotřebiče, které již není vhodné nadále opravovat nebo o spotřebiče, které spotřebovávají příliš mnoho elektrické energie a nejsou tak efektivní. Tyto spotřebiče budou nahrazeny novými spotřebiči s nižší energetickou spotřebou. Jedná se zejména o starý Darling 100-3. Darling bude nahrazen moderní Nautilou, kterou lze spotřebu elektrické energie na čerpání vody snížit více jak o polovinu. Následně bude vyměněna i stará lednice za novou s vyšší energetickou třídou, než kterou má současná. Dojde také k úplnému nahrazení elektrické sekačky za sekačku se spalovacím motorem.

Výpočet

- Roční elektrická spotřeba spotřebičů před obnovou (E_1):

$$E_1 = E_D + E_L + E_S = 27 + 89,32 + 27 = 143,32 \text{ kWh} \quad (9)$$

kde E_D je roční elektrická spotřeba Darlingu [kWh], E_L roční elektrická spotřeba lednice s energetickou třídou C [kWh] a E_S roční elektrická spotřeba sekačky [kWh].

- Roční elektrická spotřeba spotřebičů po obnově (E_2):

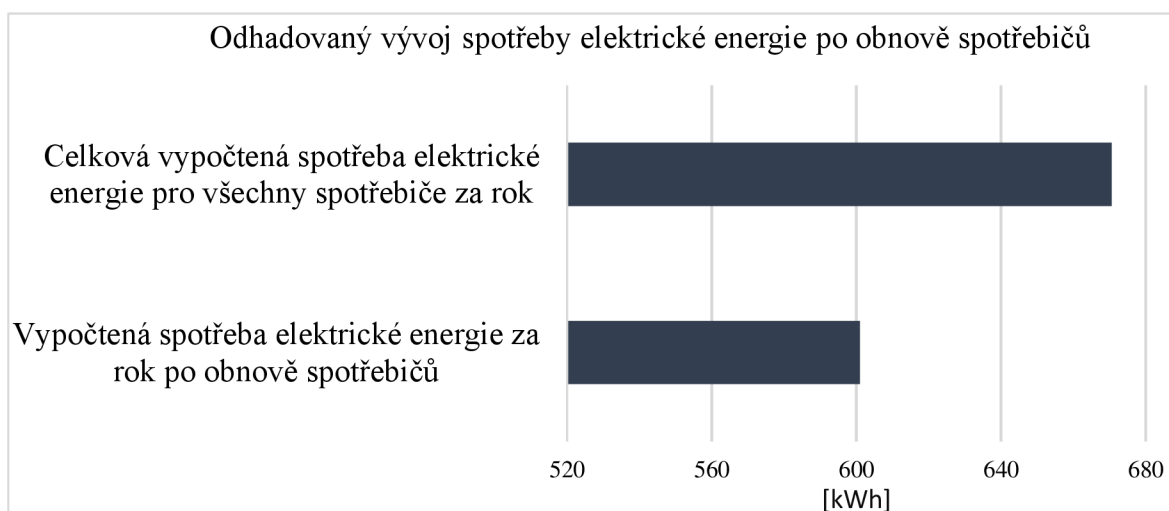
$$E_2 = E_N + E_{L(A)} = \frac{E_D}{2} + \frac{E_{L(365)(A)}}{365} \cdot t_S = \frac{27}{2} + \frac{110}{365} \cdot 200 = 73,77 \text{ kWh} \quad (10)$$

kde E_N je odhadovaná roční elektrická spotřeba Nautily [kWh] a $E_{L(365)(A)}$ je roční elektrická spotřeba lednice s energetickou třídou A [kWh] a t_S doba trvání sezóny [dny].

- Snížení spotřeby v důsledku obnovy starých spotřebičů (E_C):

$$E_C = E_1 - E_2 = 143,32 - 73,77 = 69,55 \text{ kWh} \quad (11)$$

Při obnově starých spotřebičů za nové dojde ročně k úspoře 69,55 kWh. Jedná se o snížení celkové vypočítané elektrické spotřeby o 10,37 % (viz graf 5).



Graf 5 - Odhadovaný vývoj spotřeby elektrické energie po obnově spotřebičů

10.3 Návrh spotřeby elektrické energie

Pro návrh spotřeby elektrické energie rekreačního objektu bude důležitá průměrná roční spotřeba elektrické energie z předchozích let. Dále bude zohledněna vypočítaná roční spotřeba elektrické energie jednotlivých elektrických spotřebičů. Nakonec bude zohledněno i snížení spotřeby elektrické energie v důsledku obnovy starých zařízení.

Výpočet

- Odhadovaná průměrná roční spotřeba elektrické energie (\bar{E}):

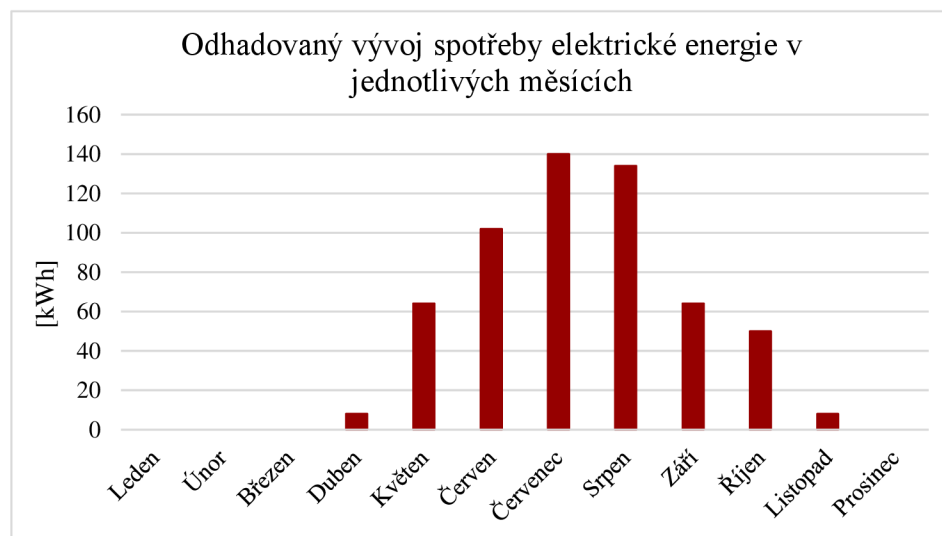
$$\bar{E} = \frac{\bar{E}_{Sv} + E_z}{2} = \frac{607,75 + 670,53}{2} = 639,14 \text{ kWh} \quad (12)$$

kde \bar{E}_{Sv} je průměrná roční spotřeba elektrické energie ze starých výpisů [kWh] a E_z je vypočítaná celková roční spotřeba elektrické energie jednotlivých zařízení [kWh].

- Odhadovaná roční spotřeba elektrické energie po snížení spotřeby v důsledku obnovy starých zařízení (E_o):

$$E_o = \bar{E} - E_c = 639,14 - 69,55 = 569,59 \text{ kWh} \doteq 570 \text{ kWh} \quad (13)$$

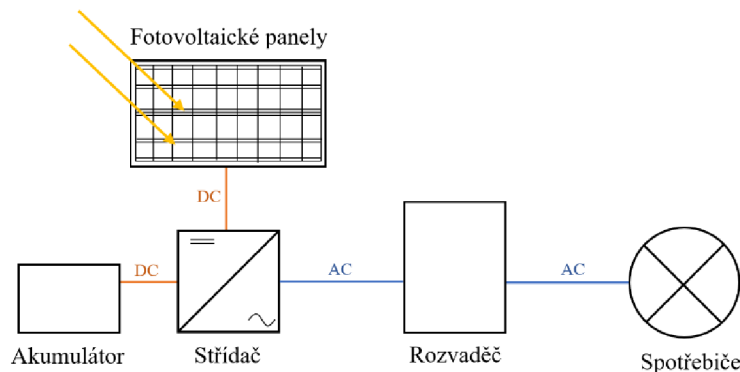
Výsledná odhadovaná roční elektrická spotřeba rekreačního objektu vychází po zaokrouhlení na 570 kWh. Stejným postupem je vypočtena i jednotlivá elektrická spotřeba v jednotlivých měsících, která je pak znázorněna v grafu 6.



Graf 6 - Odhadovaný vývoj spotřeby elektrické energie v jednotlivých měsících

11 Návrh ostrovního systému

Ostrovní systém se bude skládat z několika základních komponentů (viz obrázek 16). Nejdůležitější pro ostrovní systém bude především návrh ostrovní elektrárny, která vyrobí dostatek elektrické energie pro danou spotřebu rekreačního objektu. Nedílnou součástí systému bude i návrh akumulátorů, které umožňují naakumulovat elektrickou energii v období, kdy jí je dostatek a znovu ji využít v případě, že spotřebu nelze pokrýt pouze vyrobenou elektrickou energií z elektrárny. A dále návrh měniče napětí, který transformuje vyrobenou elektrickou energii ze stejnosměrného napětí na střídavé napětí. Potřebné budou i další příslušenství jako je veškerá kabeláž a elektrické přístroje pro měření a ochranu daného systému. Tyto komponenty budou započítány pouze do kalkulace celkových nákladů.



Obrázek 16 - Základní schéma ostrovního systému s FVE (upraveno) [1]

11.1 Návrh fotovoltaické elektrárny

Jako první při návrhu ostrovního systému bude navržena ostrovní elektrárna. Pro daný rekreační objekt byla zvolena jako nejvhodnější fotovoltaická elektrárna. Při navrhování fotovoltaické elektrárny bude využit web PVGIS (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM). Na tomto webu po doplnění některých parametrů fotovoltaické elektrárny lze dopočítat pro konkrétní oblast odhadovanou průměrnou roční výrobu elektrické energie, ale i průměrnou výrobu elektrické energie pro jednotlivé měsíce. Web PVGIS zohledňuje při výpočtu vyprodukované elektrické energie hned několik dlouhodobě sledovaných parametrů. Mezi konkrétní parametry, které jsou brány v úvahu, patří sluneční záření, teplota, rychlost větru, sklon a typ fotovoltaických panelů. Při zohlednění všech těchto parametrů v jednotlivých obdobích v roce se dosáhne co nejpřesnějšího výpočtu. [35]

Dále pro návrh bude využit i simulační program PV*SOL Premium od firmy Valentin software. Program obsahuje mnoho užitečných funkcí pro návrh fotovoltaické elektrárny. Program dále obsahuje například prostředí k vytvoření 3D modelu objektu, do kterého lze vkládat i jednotlivé objekty a moduly, 3D animace stínů, procentuální znázornění zastínění jednotlivých modulů a mnoho dalších funkcí. [36]

Prvním krokem postupu je zvolení konkrétního typu fotovoltaického panelu. Po získání jednotlivých parametrů modulu bude potřeba tyto parametry vložit do PVGIS a PV*SOL Premium. Dále se vypočítají průměrné produkce elektrické energie pro jednotlivé varianty počtu fotovoltaických panelů. Tyto hodnoty budou porovnávány s odhadovanou elektrickou spotřebou rekreačního objektu tak, aby byla daná spotřeba zajištěna. Následně se zvolí vhodná varianta s počtem modulů, která toto splňuje.

V simulačním programu PV*SOL Premium bude vytvořen 3D model rekreačního objektu a na střechu budou umístěny fotovoltaické panely. Dále bude možno provést v programu několik simulací. Jako například zastínění jednotlivých modulů při různém umístění na střeše.

11.1.1 Volba fotovoltaického panelu

Nezbytnou součástí každé fotovoltaické elektrárny jsou fotovoltaické panely. Při volbě byly preferovány fotovoltaické panely, které se skládají především z monokrystalických článků. Tyto fotovoltaické panely pak dosahují vyšší účinnosti. Byla provedena analýza českého trhu s fotovoltaickými panely a s přihlédnutím na recenze a doporučení z praxe byl vybrán fotovoltaický panel od firmy Risen Energy. Konkrétně typ RSM40-8-400M. Jeho jednotlivé základní parametry jsou pak znázorněny v tabulce 6.

Tabulka 6 - Základní parametry modulu RSM40 - 8 - 400M [37]

Druh fotovoltaického panelu	Risen Energy RSM40 - 8 - 400M
Typ článku	Monocrystalline
Rozměry	1 754 x 1 096 x 30 mm
Rozdělení článků	120 (5 x 20 + 5 x 20)
Elektrická specifikace STC (Měřeno za standardních testovacích podmínek: Osvit 1000 W/m ² , Teplota článků 25 °C; AM 1,5)	
Nominální max. výkon (P_{max})	400 W
Nominální napětí (V_{mp})	34,39 V
Nominální proud (I_{mp})	11,64 A
Účinnost panelu	20,80 %
Elektrická specifikace NMOT (Měřeno za normálních provozních podmínek: Osvit 800 W/m ² , Teplota článků 20 °C; AM 1,5; Rychlost větru 1 m/s)	
Nominální max. výkon (P_{max})	303,1 W
Nominální napětí (V_{mp})	31,91 V
Nominální proud (I_{mp})	9,45 A

11.1.2 Stanovení instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny

Pro výpočty v PVGIS je potřeba jako první definovat druh článku a instalovaný špičkový výkon fotovoltaického panelu. Vybraný fotovoltaický panel je tvořen články z monokrystalu křemíku. Jeho instalovaný špičkový výkon měřený při standardních testovacích podmínkách dosahuje 400 Wp (viz tabulka 6).

Odhadované ztráty celého systému, které jsou způsobeny například ztráty v kabelech a účinností střídače, zůstanou na doporučených 14 % systémem PVGIS. Závěrem je potřeba definovat orientaci a sklon fotovoltaických panelů. Moduly budou umístěny pod stejným úhlem jako je stoupaní střechy, a to ve 40°. Část střechy, kam budou umístěvány fotovoltaické panely je orientovaná na jihozápad. Potřebný úhel k výpočtu je stanoven jako odklonění od ideálního směru, a to od jihu, kdy odklon na východ je -90° a na západ 90°. Z toho vychází, že odklon střechy na jihozápad je 45° (viz obrázek 17). [35]

Solar radiation database

PV technology

Installed peak PV power [kWp]

System loss [%]

Fixed mounting options

Mounting position

Slope [°]

Azimuth [°]

Obrázek 17 - Vstupní data PVGIS pro jeden fotovoltaický panel [35]

Pro určení potřebného instalovaného výkonu je potřeba dopočítat denní spotřebu elektrické energie rekreačního objektu pro jednotlivé měsíce (viz tabulka 7).

Výpočet

- Denní spotřeba elektrické energie v květnu (E_{D5}), pro odhadovaný počet dnů, kde je rekreační objekt skutečně využíván:

$$E_{D5} = \frac{E_5}{t_{05}} = \frac{64}{9} = 7,11 \text{ kWh} \quad (14)$$

kde E_5 je odhadovaná měsíční spotřeba elektrické energie za měsíc květen [kWh] a n_{05} je odhadovaný počet dní využití rekreačního objektu v květnu [dny].

Tabulka 7 - Odhadovaná denní spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících

Měsíc	Odhadovaná celková spotřeba elektrické energie [kWh]	Odhadovaný počet dnů v měsíci, kdy je objekt skutečně využíván [dny]	Odhadovaná denní spotřeba elektrické energie [kWh]
Leden	0	0	0
Únor	0	0	0
Březen	0	0	0
Duben	8	3	2,67
Květen	64	9	7,11
Červen	102	13	7,85
Červenec	140	19	7,37
Srpen	134	18	7,43
Září	64	11	5,82
Říjen	50	12	4,17
Listopad	8	5	1,60
Prosinec	0	0	0
Celkem	570	90	

Dále pro stanovení potřebného instalovaného výkonu je potřeba spočítat vyprodukovanou elektrickou energii pro jednotlivé počty modulů. Pro variantu s jedním fotovoltaickým panelem jsou vstupní data (viz obrázek 17) vkládány do PVGIS. Následně se zvětšuje počet modulů, se kterými se zvyšuje i instalovaný špičkový výkon. Pro jednotlivé počty panelů jsou hodnoty vyprodukované elektrické energie během roku a v jednotlivých měsících znázorněny v tabulce 8.

Tabulka 8 - Odhadovaná produkce elektrické energie pro 1-5 FV panely [35]

Počet FV panelů	1	2	3	4	5	
Instalovaný výkon [kWp]	0,4	0,8	1,2	1,6	2	
Odhadovaná roční produkce elektrické energie [kWh]	395,6	791,2	1 186,6	1 582,2	1 977,8	
Odhadovaná produkce elektrické energie [kWh]	Leden	13,3	26,6	39,9	53,2	66,5
	Únor	20,5	41,0	61,4	81,9	102,4
	Březen	33,3	66,5	99,8	133,1	166,4
	Duben	45,9	91,7	137,6	183,4	229,3
	Květen	47,4	94,8	142,1	189,5	236,9
	Červen	49,0	98,0	147,0	196,0	244,9
	Červenec	49,9	99,7	149,6	199,4	249,3
	Srpen	46,1	92,2	138,3	184,4	230,5
	Září	37,5	75,1	112,6	150,2	187,7
	Říjen	26,4	52,9	79,3	105,8	132,2
	Listopad	14,1	28,3	42,4	56,5	70,7
	Prosinec	12,2	24,4	36,6	48,8	61,0

Denní produkce elektrické energie jsou porovnávány s odhadovanou denní spotřebou rekreačního objektu (viz tabulka 9) tak, aby daným počtem fotovoltaických panelů byla zajištěna odhadovaná denní spotřeba elektrické energie.

Výpočet

- Denní produkce elektrické energie vyprodukované pěti panely v květnu (E_{DP55}):

$$E_{DP55} = \frac{E_{P55}}{n_5} = \frac{236,9}{31} = 7,64 \text{ kWh} \quad (15)$$

kde E_{P55} je odhadovaná měsíční produkce elektrické energie pěti panely za měsíc květen [kWh] a n_5 je počet dní v květnu [dny].

Tabulka 9 - Porovnání odhadované denní produkce a denní spotřeby elektrické energie

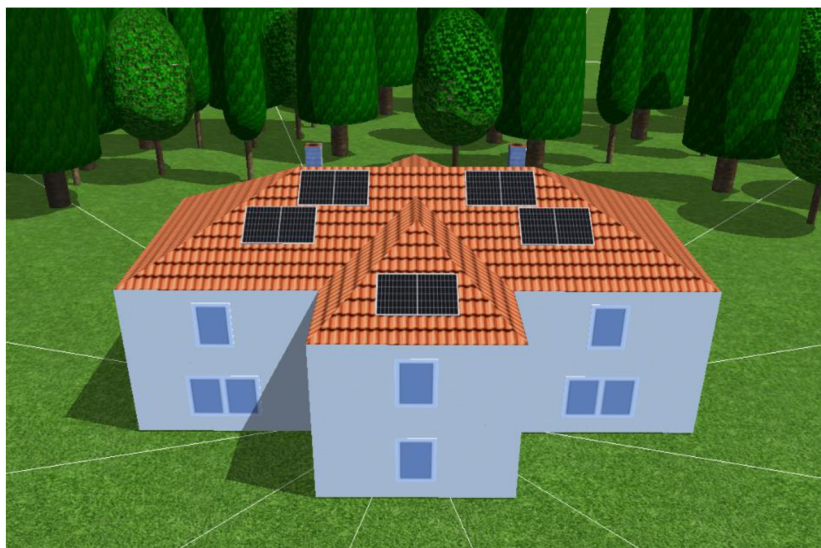
Počet FV panelů		1	2	3	4	5	Odhadovaná denní spotřeba elektrické energie [kWh]
Odhadovaná denní produkce elektrické energie [kWh]	Leden	0,43	0,86	1,29	1,72	2,15	0
	Únor	0,73	1,46	2,19	2,93	3,66	0
	Březen	1,07	2,15	3,22	4,29	5,37	0
	Duben	1,53	3,06	4,59	6,11	7,64	2,67
	Květen	1,53	3,06	4,58	6,11	7,64	7,11
	Červen	1,63	3,27	4,90	6,53	8,16	7,85
	Červenec	1,61	3,22	4,83	6,43	8,04	7,37
	Srpen	1,49	2,97	4,46	5,95	7,46	7,43
	Září	1,25	2,50	3,75	5,01	6,26	5,82
	Říjen	0,85	1,71	2,56	3,41	4,26	4,17
	Listopad	0,47	0,94	1,41	1,88	2,36	1,60
	Prosinec	0,39	0,79	1,18	1,57	1,97	0

- je zajištěná denní spotřeba elektrické energie rekreačního objektu
- není zajištěná denní spotřeba elektrické energie rekreačního objektu

Denní spotřeby v jednotlivých měsících jsou zajištěny pouze u varianty s pěti fotovoltaickými panely. Z tohoto důvodu bude na střechu instalováno pět fotovoltaických panelů od firmy Risen Energy RSM40 - 8 - 400M, kdy celkový instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny bude dosahovat 2 kWp. Tato fotovoltaická elektrárna bude schopna průměrně ročně vyprodukovat 1 977,8 kWh.

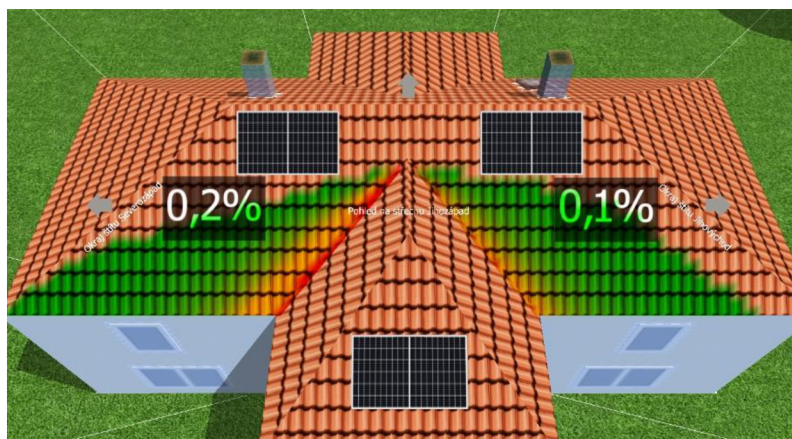
11.1.3 Návrh umístění fotovoltaických panelů na střechu

Pro rozmístění fotovoltaických panelů se v programu PV*SOL Premium, vytvoří 3D model rekreačního objektu (viz obrázek 18). Jedná se o pohled z jihozápadní strany. Do 3D modelu byly vloženy fotovoltaické panely Risen Energy RSM40 - 8 - 400M v požadovaném počtu pěti kusů.



Obrázek 18 - 3D model rekreačního objektu [45]

Po vložení panelů do 3D modelu byla spuštěna funkce „frekvence zastínění“. Ta graficky znázornila plochu na střechě, která během roku je zcela nebo částečně zastíněna. Fotovoltaické panely byly umístěny do míst, kde nedochází k žádnému nebo jen částečnému zastínění, aby došlo k co největšímu využití jejich potenciálu (viz obrázek 19).



Obrázek 19 - Zastínění střechy [45]

11.2 Návrh měniče

Hlavní podmínkou výběru měniče napětí bylo, aby byl schopen pracovat v ostrovním provozu, tzn. off-gride. Jako nejvhodnější byl vybrán měnič od firmy Victron Energy. Konkrétně hybridní DC-AC měnič MultiPlus-II 48 V, 3 000 VA. Jedná se o kompaktní, jednofázový měnič s maximální účinností 95 %. Jeho jednotlivé základní parametry jsou znázorněny v tabulce 10.

Tabulka 10 - Základní parametry měniče Victron Energy Multiplus-II 48 V [38]

Druh měniče	Victron Energy Multiplus-II 48V
Rozsah vstupního DC napětí	38 V - 66 V
Výstupní napětí	230 V (AC) \pm 2 %
Frekvence	50 Hz \pm 0,1 %
Max. účinnost měniče	95 %
Maximální zdánlivý napájecí výkon	3 000 VA

Fotovoltaické panely budou zapojeny sériově. Sériové zapojení způsobí, že jejich celkové napětí bude vyšší, než je rozsah vstupního napětí do měniče (viz Tabulka 10). Z tohoto důvodu je potřeba přidat MPPT regulátor napětí, který napětí z fotovoltaických panelů upraví pro daný měnič a akumulátory. K návrhu MPPT regulátoru napětí byl využit konfigurátor od firmy Victrone Energy (viz obrázek 20). [39]

Kalkulačka pro kalibraci MPPT

Sledovač 1 +

Systémové napětí [V]: 48 V sérii: 5 Paralelně: 1

Plovoucí napětí baterie [V]: 54

Délka kabelu [m]: 10 Průřez [mm²]: 10

Teplota FV modulu [°C]: Min.: -30 Max.: 80 (-22 °F 176 °F)

Napájení [Wp]: 400

Voc [V]: 41,3 Isc [A]: 12,34

Vmpp [V]: 34,39 Impp [A]: 11,64

System calculations

Vstupní FV napětí

Maximální FV napětí při minimální teplotě 246.3 V

Minimální FV napětí při maximální teplotě 131.5 V

Výsledek

SmartSolar MPPT 250/60 Tr

Katalogové číslo zboží: SCC125060221

FV konektor: Terminály

✓ Bluetooth Smart

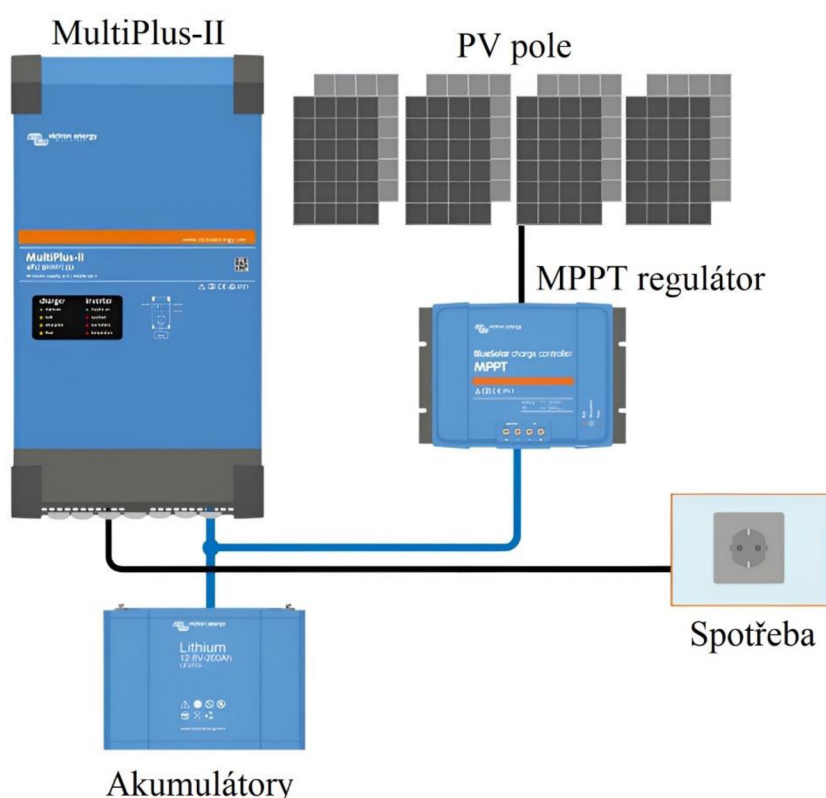
Obrázek 20 - Konfigurace MPPT regulátoru napětí [39]

Na základě zadaných parametrů do konfigurátoru byl jako nejvhodnější MPPT regulátor napětí vybrán SmartSolar MPPT 250/60 Tr od stejné firmy jako je měnič napětí, a to Victron Energy. Jeho jednotlivé základní parametry jsou pak znázorněny v tabulce 11.

Tabulka 11 - Základní parametry MPPT regulátoru SmartSolar MPPT 250/60 Tr [40]

Druh MPPT regulátoru	SmartSolar MPPT 250/60 Tr
Max. napětí FV naprázdno	250 V
Napětí akumulátoru	12 / 24 / 48 V
Max. účinnost měniče	99 %

Zapojení měniče napětí s MPPT regulátorem napětí včetně akumulátorů je schematicky znázorněno na obrázku 21. Propojení těchto komponentů bude provedeno pomocí kabelů, které budou dimenzovány dle proudu, který jimi bude procházet.



Obrázek 21 - Zapojení jednotlivých komponentů (upraveno) [38]

11.3 Návrh velikosti a druhu akumulátoru

Pro návrh byly zvoleny jako nejvhodnější nové lithium-iontové akumulátory, které mají delší životnost a lepší využití kapacity než staré olovněné akumulátory. Bude se jednat o typ LFP (Lithium – železo – fosfát), které jsou nejčastěji využívané ve fotovoltaických elektrárnách. LFP akumulátory, označované také jako LiFePO₄, disponují obzvláště dlouhou životností. Akumulátory budou konkrétně od výrobce CALB. Základní parametry pro zvolený typ akumulátorů jsou znázorněny tabulce 12.

Tabulka 12 - Základní parametry akumulátoru [41]

Jmenovitá kapacita	230 Ah
Jmenovité napětí	3,2 V
Rozsah pracovního napětí	2,5 V - 3,65 V
Max. trvalý vybíjecí proud	230 A
Počet cyklů / životnost	4000

Výpočet

- Pro výpočet potřebné kapacity akumulátorů je potřeba nejdříve definovat průměrnou denní spotřebu elektrické energie rekreačního objektu (E_{DA}), která vychází 5 500 Wh.
- Tuto hodnotu je potřeba navýšit o ztráty, které vzniknou například v měniči napětí, v akumulátorech, v kabelech, ve svorkách, v měřicích a ochranných elektrických přístrojích. Celkové ztráty jsou pak stanoveny na 14 %.
- Průměrná denní spotřeba elektrické energie rekreačního objektu včetně ztrát (E_{DAZ}):

$$E_{DAZ} = E_{DA} \cdot \left(1 + \frac{\delta_Z}{100}\right) = 5\,500 \cdot \left(1 + \frac{14}{100}\right) = 6\,270 \text{ kWh} \quad (16)$$

kde δ_Z ztráty [%].

- Pro získání celkové spotřeby (E_{CA}) byla stanovena doba tří dnů, po kterou musí být akumulátory schopny zajistit požadovanou spotřebu. Jak už bylo řečeno, jedná se o rekreační objekt, kam se jezdí především o víkendech.

$$E_{CA} = E_{DAZ} \cdot t_A = 6\,270 \cdot 3 = 18\,810 \text{ kWh} \quad (17)$$

kde t_A je doba, po kterou akumulátory musí být schopny pokrýt stanovenou spotřebu [dny].

- Kapacita akumulátorů (C_A):

$$C_A = \frac{E_{CA}}{U_A} = \frac{18\,810}{48} = 391,88 \text{ Ah} \quad (18)$$

kde U_A je výstupní napětí z akumulátorů [V]

- Je nutné zohlednit, že akumulátor nelze zcela vybit, aby nedošlo k jeho zničení. U akumulátorů LiFePO4 je udáváno, že lze využít až 90 % jejich kapacity. Pro výpočet je kapacita navýšena ještě o 10 % (y).

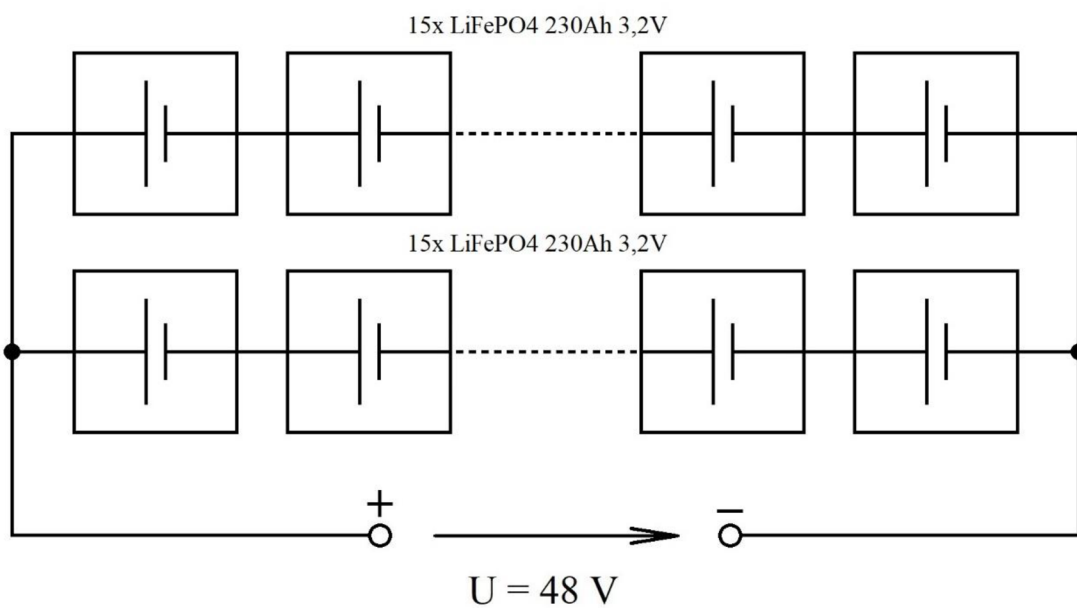
$$C_{AZ} = C_A \cdot \left(1 + \frac{y}{100}\right) = 391,88 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 431,07 \text{ Ah} \quad (19)$$

- Potřebný počet řad akumulátorů pro zajištění celkové kapacity (n):

$$n = \frac{C_{AZ}}{C} = \frac{431,07}{230} = 1,87 \doteq 2 \quad (20)$$

kde C je kapacita zvoleného typu akumulátorů [Ah].

Pro získání požadovaného napětí 48 V a vypočtené potřebné kapacity bude potřeba sérioparalelně propojit třicet akumulátorů. Akumulátory budou ve dvou řadách, přičemž v každé řadě bude sériově propojeno patnáct akumulátorů (viz obrázek 22). Výsledná kapacita takto zapojených akumulátorů dosahuje 460 Ah.



Obrázek 22 - Zapojení akumulátorů

Akumulátory budou vybíjeny primárně přes víkendy, přičemž přes celý týden, kdy je rekreační objekt málo využíván, bude většina vyrobené elektrické energie využita na jejich dobíjení.

12 Technicko-ekonomická analýza

Technicko-ekonomická analýza je důležitou součástí každého projektu. Pomocí ní lze zjistit, zda realizace projektu dává smysl nebo právě naopak, zda kvůli nedostatečné nebo dokonce žádné rentabilitě smysl nedává.

12.1 Stanovení nákladů

Jako první je potřeba nadefinovat a spočítat veškeré náklady spjaté s vybudováním ostrovního systému. Bude se jednat pouze o náklady, které mají přímou souvislost s ostrovním systémem. Z toho důvodu zde nebudou započítávány náklady na obnovu elektrických spotřebičů. Především se bude jednat o náklady nejdůležitějších komponentů, ze kterých je tvořen ostrovní systém. Těmito komponenty jsou fotovoltaické panely od firmy Risen Energy, LiFePO₄ akumulátory od firmy CALB, měnič napětí a MPPT regulátor napětí od firmy Victron Energy. Vypočtené ceny pro jednotlivé komponenty v požadovaném počtu jsou zaznamenány v následující tabulce 13.

Tabulka 13 - Náklady hlavních komponentů ostrovního systému

Komponenty	Druh	Počet	Cena za kus	Celková cena
Fotovoltaické panely	Risen Energy RSM40-8-400 M	5	4 200 Kč	21 000 Kč
Akumulátory	LiFePO ₄ CALB 3,2 V 230 Ah	30	4 000 Kč	120 000 Kč
Měnič napětí	Victron Energy Multiplus-II 48 V	1	28 000 Kč	28 000 Kč
MPPT regulátor napětí	Victron Energy SmartSolar MPPT 250/60 Tr	1	16 000 Kč	16 000 Kč
			Celkem:	185 000 Kč

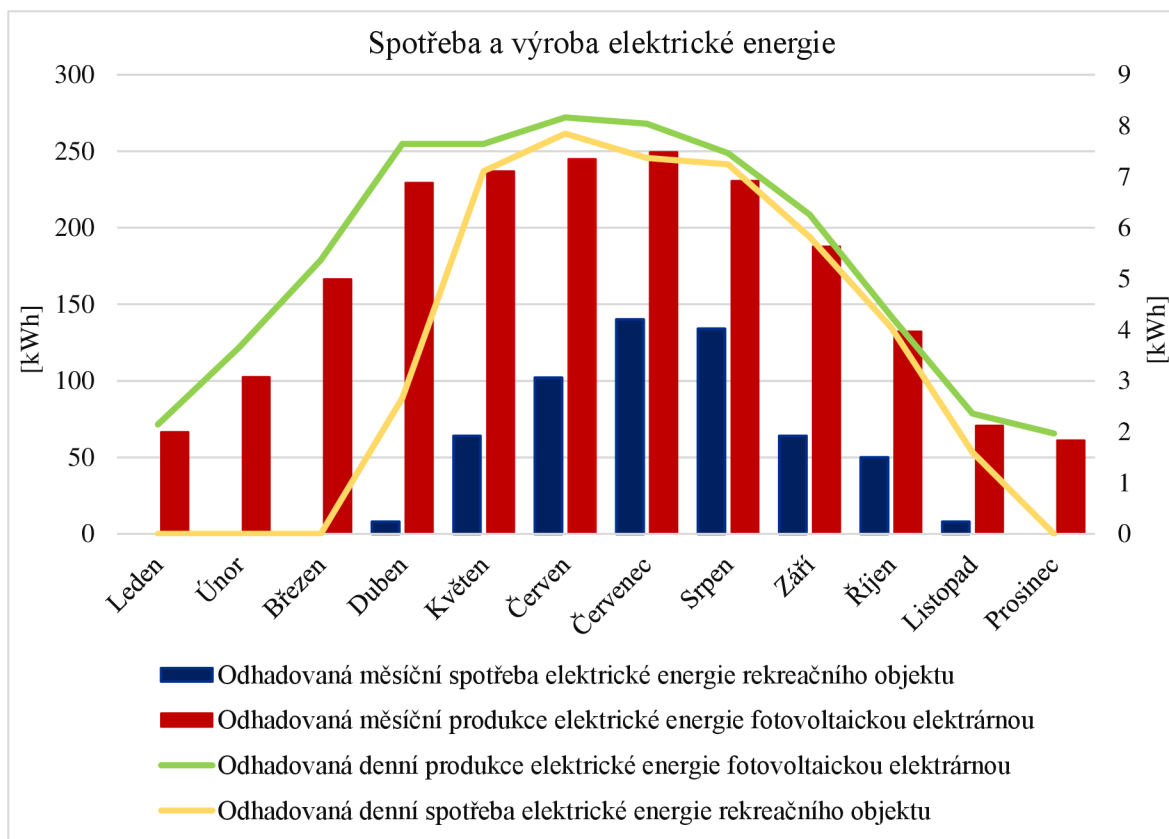
Navíc k výše uvedeným nákladům je zapotřebí počítat i s dalšími náklady. Jedná se o náklady za materiál k uchycení fotovoltaických panelů ve výši 6 000 Kč a za odbornou instalaci panelů na střechu ve výši 10 000 Kč. Další náklady ještě vzniknou v důsledku pořízení kabeláže a elektrických přístrojů pro měření a ochranu sítě včetně rozvaděče. Veškeré elektrické zapojení bude prováděno odborně svépomocí, tudíž vzniknou náklady jen za elektromateriál. Jejich výše se odhaduje na 40 000 Kč.

Celková výše nákladů po sečení jednotlivých položek potřebných k vytvoření ostrovního systému bude činit **241 000 Kč**.

12.2 Využití elektrické energie z daného systému

Po stanovení nákladů je potřeba definovat i využití daného systému. Pro jeho využití bude zásadní především to, do jaké míry bude využívána produkovaná elektrická energie z fotovoltaické elektrárny. Díky využívání produkované elektrické energie se zjistí, kolik elektrické energie se ušetří tím, že nebude odebírána z distribuční sítě. Také bude možné zjistit, kolik vyprodukované elektrické energie zůstane nevyužito.

Fotovoltaická elektrárna produkuje elektrickou energii po celý rok a je tak schopna ročně vyprodukovat až 1 977,8 kWh. V případě našeho rekreačního objektu je roční spotřeba pouze 570 kWh. Veškerá spotřeba však probíhá pouze v období od dubna do listopadu. Aby elektrárna byla schopna vyrobit dostatek elektrické energie v nejvíce zatížených dnech letních měsíců, je potřeba ji do jisté míry předimenzovat. Porovnání spotřebované a vyrobené elektrické energie rekreačního objektu je znázorněno v následujícím grafu 7.



Graf 7 - Spotřeba a produkce elektrické energie

Ročně tak teoreticky dojde ke „ztrátě“ bezmála 1 407 kWh elektrické energie, kterou je schopna vyprodukovat navržená fotovoltaická elektrárna nad roční spotřebu rekreačního objektu. Ve skutečnosti by však celá tato hodnota nešla využít, a to především kvůli ztrátám v akumulátorech, kde se uložená 1 kWh nerovná 1 kWh odebrané. Při výpočtu návratnosti bude udáváno, že se ročně využije pouze 570 kWh, které by při absenci ostrovního systému byly odebrány z distribuční sítě.

12.3 Možnosti využití dotací

Je potřeba provést i analýzu, zda je možné pro daný projekt získat finanční prostředky ve formě dotace od státu. Dotace by snížila výdej vlastních finančních prostředků na vybudování ostrovního systému, což by vedlo i k dřívější finanční návratnosti.

V České republice lze aktuálně čerpat dotace na fotovoltaické systémy z programu zvaného Nová zelená úspora. Čerpat ji lze až do roku 2030 nebo do vyčerpání finančních zdrojů (viz tabulka 14). Fotovoltaická elektrárna musí disponovat instalovaným výkonem alespoň 2 kWp. Maximální výše dotace, na kterou lze dosáhnout je 200 000 Kč. [42]

Tabulka 14 - Dotace na FVE [42]

Instalované komponenty FVE systému	Výše podpory
Minimální instalace o výkonu 2 kWp	40 000 Kč
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem	60 000 Kč
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla	100 000 Kč
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	10 000 Kč
Za 1 kWh el. akumulačního systému s akumulátory na bázi lithia	10 000 Kč

V současnosti dokonce došlo k úpravě pravidel pro získání dotace, díky čemuž o ni lze žádat i na rekreační objekty. Je však potřeba, aby objekt měl přidělené číslo popisné nebo evidenční a sloužil alespoň 24 měsíců pro trvalé bydlení. To daný rekreační objekt nesplňuje a tím nelze žádat o žádnou dotaci. [42]

12.4 Návratnost projektu

V poslední části technicko-ekonomické analýzy je stanovení finanční návratnosti z nákladů a z využití elektrické energie, kterou lze daným systémem získat. To je důležitým aspektem každého podobného projektu. Po zjištění návratnosti lze celý systém zhodnotit a rozhodnout o jeho vhodnosti realizace.

Návratnost projektu bude sledována v období dvaceti let (viz tabulka 15). Pro výpočet je stanovena průměrná cena 1 kWh, kterou odkoupíme od distributora včetně všech poplatků na 9 Kč. Dále se bude předpokládat, že roční spotřeba rekreačního objektu se bude pohybovat kolem stanovených 570 kWh. Pro akumulátory LiFePO₄, které byly v ostrovním systému navrženy se udává životnost kolem 10 let. Ve sledovaném období bude potřeba provést alespoň jednou jejich obnovu.

Výpočet

- Finanční návratnost:

$$ROI_{2023} = (E_O \cdot z) - N_{OS} = (570 \cdot 9) - 241\,000 = -235\,870 \text{ Kč} \quad (21)$$

kde z je cena za 1 kWh, včetně všech poplatků a N_{OS} jsou náklady spjaté s vybudováním ostrovního systému.

$$\begin{aligned} ROI_{2032} &= (E_O \cdot z) + ROI_{2031} - N_{OA} = (570 \cdot 9) + (-194\,830) - 120\,000 = \\ &= -309\,700 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (22)$$

kde N_{OA} jsou náklady spjaté s obnovou akumulátorů.

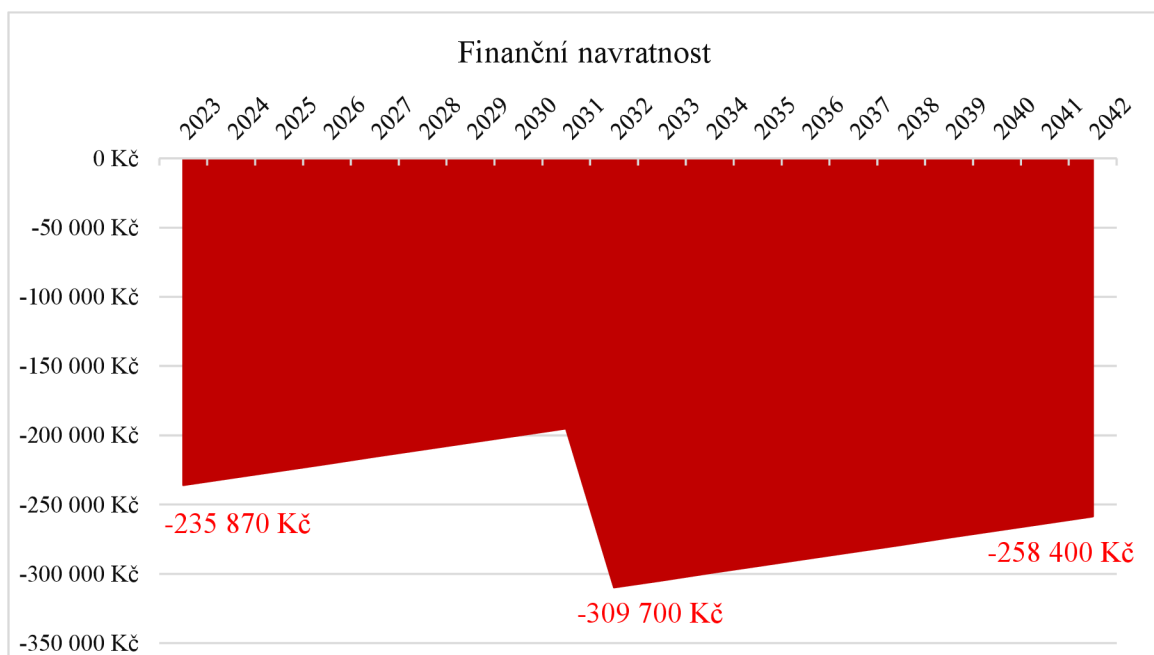
$$ROI_{2042} = (E_O \cdot z) + ROI_{2041} = (570 \cdot 9) - 263\,530 = -258\,400 \text{ Kč} \quad (23)$$

Tabulka 15 - Finanční návratnost

Sledované období	Obnova akumulátorů	Finanční návratnost	Sledované období	Obnova akumulátorů	Finanční návratnost
2023		-235 870 Kč	2033		-304 570 Kč
2024		-230 740 Kč	2034		-299 440 Kč
2025		-225 610 Kč	2035		-294 310 Kč
2026		-220 480 Kč	2036		-289 180 Kč
2027		-215 350 Kč	2037		-284 050 Kč
2028		-210 220 Kč	2038		-278 920 Kč
2029		-205 090 Kč	2039		-273 790 Kč
2030		-199 960 Kč	2040		-268 660 Kč
2031		-194 830 Kč	2041		-263 530 Kč
2032	-120 000 Kč	-309 700 Kč	2042		-258 400 Kč

12.5 Ekonomické zhodnocení projektu

Jak je patrné z grafického znázornění (viz graf 8), finanční návratnosti se nedosáhne ani po dvaceti letech.



Graf 8 - Finanční návratnost

V roce 2042 by ztráta navrženého ostrovního systému činila 258 400 Kč. Z toho vyplývá, že v případě realizace navrženého ostrovního systému dojde ke ztrátě, nikoliv k požadované úspoře financí na provoz objektu. Je to způsobeno především velmi drahými akumulátory, které je potřeba po cca 10 letech obnovovat. Ztráta je také způsobena nevyužitím veškerého potenciálu fotovoltaické elektrárny. Z ekonomického hlediska není vhodné celý rekreační objekt odpojit od distribuční sítě a realizovat navržený ostrovní systém.

Závěr

V teoretické části byly představeny jednotlivé principy a metody získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů a zhodnoceny podmínky pro jejich využití jak v České republice, tak i ve světě. Získané teoretické vědomosti o dané problematice sloužily ke zvolení vhodné varianty ostrovní elektrárny pro zvolený rekreační objekt.

Jako nejvhodnější varianta pro daný objekt vyšla fotovoltaická elektrárna. Nejprve byla provedena analýza spotřeby elektrické energie daného rekreačního objektu. Výpočty vycházely z existujících starých výpisů a také z vypočítané spotřeby elektrické energie jednotlivých zařízení, která se v objektu nacházejí. Z důvodu snížení celkové spotřeby elektrické energie byla provedena obnova některých starších zařízení. Průměrná roční spotřeba elektrické energie po obnově spotřebičů byla spočítána na 570 kWh.

V dalším kroku byl navržen ostrovní systém s využitím aplikace PVGIS a simulační program PV*SOL Premium. Fotovoltaická elektrárna byla navržena tak, aby byla schopna zajistit spotřebu i v nejvíce vytížených dnech letních měsíců. Rekreační objekt disponuje velmi nepravidelným zatížením, a proto bylo potřeba stanovit denní spotřebu elektrické energie s ohledem na počet dnů, kdy je objekt reálně využíván. Z tohoto důvodu byla navržena fotovoltaická elektrárna s pěti fotovoltaickými panely z monokrystalických článků. Fotovoltaická elektrárna disponuje celkovým instalovaným výkonem 2 kWp. V simulačním programu PV*SOL Premium byl vytvořen 3D model rekreačního objektu pro simulaci vhodného umístění fotovoltaických panelů. Při umístění fotovoltaických panelů byl brán ohled na zastínění střechy.

Následně byl zvolen vhodný měnič napětí a MPPT regulátor napětí pro navrženou fotovoltaickou elektrárnu. Pro daný ostrovní systém byl zvolen lithium-iontový akumulátor s napětím 3,2 V a s kapacitou 230 Ah. Na základě vybraného měniče bylo stanoveno výstupní napětí z akumulátorů 48 V. Pro získání požadovaného napětí 48 V a vypočtené potřebné kapacity bylo potřeba sérioparalelně propojit třicet zvolených lithium-iontových akumulátorů. Akumulátory budou ve dvou řadách, přičemž v každé řadě bude sériově propojeno patnáct akumulátorů. Výsledná kapacita takto zapojených akumulátorů dosahuje 460 Ah.

V závěrečné části technicko-ekonomické analýzy byly stanoveny náklady spjaté s vybudováním ostrovního systému. Výsledná kalkulace nákladů činí 241 000 Kč. Byly prověřeny i možnosti získání dotace z programu Nová zelená úspora. Bohužel daný rekreační objekt nesplňuje všechny podmínky pro získání dotace. Z vypočtené finanční návratnosti se zjistilo, že projekt není ekonomicky rentabilní.

Jedná se o zajímavé řešení projektu, které jistě najde uplatnění u objektů bez možnosti připojení k distribuční síti. U zvoleného rekreačního objektu by stálo za prozkoumání vytvoření menší fotovoltaické elektrárny. Objekt by zůstal připojený k distribuční síti. Část přebytečně vyprodukované elektrické energie by bylo možné prodávat zpět do distribuční sítě v době, kdy objekt nebude plně využíván.

Seznam použitých zdrojů

- [1] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. První vydání. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] BHATIA, S.C. a R.K. GUPTA. *Textbook of Renewable Energy*. First published. New Delhi: Woodhead Publishing India PVT LTD, 2019. ISBN 978-81-936446-0-7.
- [3] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny. In: *OENERGETICE* [online]. Třebíč [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [4] *Fotovoltaické články a panely: SVĚT ENERGIE* [online]. ČEZ, 2020 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/sluncni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad>
- [5] *Typy fotovoltaických panelů* [online]. bohemia civil engineering, 2019 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/3-typy-fotovolatickych-panelu/>
- [6] PLCH, Jiří a Jitka MOHELNÍKOVÁ. *Slunce na Moravě a v Čechách: SVĚTLO*. 2011/4. Praha: FCC Public, 2011. ISSN 1212-0812.
- [7] *Map and data - Czech Republic* [online]. GLOBAL SOLAR ATLAS, 2019 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info/download/czech-republic>
- [8] BUFKA, Aleš, Jana VEVERKOVÁ a Miroslav MODLÍK. *Obnovitelné zdroje energie: Výsledky statistického zjišťování* [online]. In: . Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2022 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2023/1/Obnovitelne-zdroje-energie-2021-230125.pdf>
- [9] *Největší české FVE* [online]. Hulín: Fotovoltaické panely, 2012 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/nejvetsi-ceske-elektrarny/>
- [10] *Největší FVE na světě* [online]. Elektřina.cz, c2014-2023 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/7-nejvetsich-fotovoltaickych-elektraren-na-svete>
- [11] VOBOŘIL, David. *Větrné elektrárny* [online]. In: . Třebíč: OENERGETICE [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [12] *Větrná elektrárna s horizontální osou: SVĚT ENERGIE* [online]. ČEZ, 2020 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/vetrne-elektrarny-podrobne/vetrna-elektrarna-s-horizontalni-osou/vyklad>
- [13] *Větrné elektrárny v ČR* [online]. EVROPA V DATECH, 2022 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.evropavdatech.cz/clanek/87-vetrne-elektrarny-v-cr/>
- [14] *Jak fungují větrné elektrárny* [online]. Elektřina.cz, c2014-2023 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/jak-funguji-vetrne-elektrarny>

- [15] *Vertikální Darrieova turbína: SVĚT ENERGIE* [online]. ČEZ, 2020 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/vetrne-elektrarny-podrobne/vertikalni-darrieova-turbina/vyklad>
- [16] HANSLIAN, David. Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice. In: *Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.* [online]. Praha, 2020 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: https://www.ufa.cas.cz/DATA/vetrna-energie/Potencial_vetrne_energie_2020.pdf
- [17] HORČÍK, Jan. Největší přímořská větrná elektrárna na světě. In: *Hybrid.cz* [online]. Chamanne [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/nejvetsi-primorska-vetrna-elektrarna-na-svete-uz-vyrabi-elektřinu/>
- [18] *Charakteristika vodní elektrárny: SVĚT ENERGIE* [online]. ČEZ, 2020 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/vodni-elektrarna-podrobne/charakteristika-zdroje>
- [19] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny. In: *OENERGETICE* [online]. Třebíč [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>
- [20] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy* [online]. 2016 [cit. 2023-02-04]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Impresum.html>
- [21] *O vodní energetice* [online]. ČEZ, 2023 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice>
- [22] *Dlouhodobé průměrné průtoky v profilech vodních útvarů* [online]. ČHMÚ, VÚV T. G. M., v.v.i., 2010 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://chmi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=4c9d11fbb8e347e483ec2bc792df09da>
- [23] BUDÍN, Jan. *Největší vodní elektrárny* [online]. In: . Třebíč: OENERGETICE [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/deset-nejvetsich-vodnich-elektřaren-na-svete>
- [24] VOBOŘIL, David. *Biomasa* [online]. In: . Třebíč: OENERGETICE [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevahody>
- [25] KAŠINSKÝ, Jan. *Potenciál využití biomasy* [online]. In: . Třebíč: OENERGETICE [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/jaky-potencial-vyuziti-biomasy-cesku-ve-svete>
- [26] *Energie biomasy* [online]. Ústav fyziky a materiálového inženýrství [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_14.pdf
- [27] BUDÍN, Jan. *Kogenerace* [online]. In: . Třebíč: OENERGETICE [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>

- [28] *Elektrárny spalující biomasu* [online]. ČEZ, 2023 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelné-zdroje/biomasa-1/elektrárny-cez-spalující-biomasu>
- [29] *Co je bioplyn* [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/co-je-bioplyn.html>
- [30] *Mapa bioplynových stanic* [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: https://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic.html?order_by=el_pow&direction=d#table
- [31] DŘÍMAL, Petr. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. 2016 [cit. 2023-02-07]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/Impresum.html>
- [32] Čekání na první geotermální elektrárnu v Česku. In: *Ekonomický deník* [online]. Media Network [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/cekani-na-prvni-geotermalni-elektrarnu-v-cesku-potencial-by-to-by/>
- [33] *Geotermální potenciál ČR* [online]. Česká geologická služba [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/geotermalni_potencial/
- [34] ŠAFANDA, Jan. *Možnosti využití geotermální energie v ČR* [online]. In: . Třebíč: OENERGETICE [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/jake-jsou-moznosti-vyuziti-geotermalni-energie-cesku>
- [35] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM: Czech Republic* [online]. 2022: European Commission [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [36] *PV*SOL* [online]. Česká fotovoltaická asociace, z. s., 2013 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.cefaz.cz/pv-sol/>
- [37] *RSM40-8-400M: DATASHEET* [online]. Risen Energy, 2022 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: https://en.risenenergy.com/uploads/20220813/RSM40-8-390-415M%20IEC1500V-30mm%202022H1-3-EN_Black%20frame.pdf
- [38] *MultiPlus-II Inverter/Charger: DATASHEET* [online]. Victron Energy B.V. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-MultiPlus-II-inverter-charger-EN.pdf>
- [39] *Kalkulačka pro kalibraci MPPT* [online]. Victron Energy B.V. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://mppt.victronenergy.com>
- [40] *SmartSolar Charge Controllers: DATASHEET* [online]. Victron Energy B.V. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-250-60-and-250-70-EN.pdf>
- [41] *Akumulátor CALB LiFePO4 230AH, 3,2V: DATASHEET* [online]. Mivvy a.s., 2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.batterystore.cz/cs/clanky-lifepo4/128-191-clanek-lifepo4-230ah-32v-calb.html#/158-inicializacni_nabiti_clanku-ne_0_kc

- [42] KOREC, Martin. *Stát rozdává štedré dotace* [online]. In: . EFOTOVOLTAIKA.CZ, 2022 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.efotovoltaika.cz/dotace-na-fotovoltaiku/>
- [43] BUKALA, Jakub, Krzysztof DAMAZIAK, Krzysztof KROSZCZYNSKI et al. Small Wind Turbines: Specification, Design, and Economic Evaluation. In: *Wind Turbines - Design, Control and Applications* [online]. InTech, 2016 [cit. 2023-02-04]. ISBN 978-953-51-2495-5. Dostupné z: doi:10.5772/62821
- [44] *Mapa všeobecných větrných podmínek* [online]. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i., 2016 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/#>
- [45] *PV*SOL Premium* [Software]. Valentin software; Požadavky na systém: Win 8,1, Win 10, Win 11; velikost 850 MB [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://valentin-software.com/en/>
- [46] *Vertikální Savoniova turbína: SVĚT ENERGIE* [online]. ČEZ, 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/vetrne-elektrany-podrobne/vertikalni-savoniova-turbina/vyklad>
- [47] KUNC, Jan. *Biomasa - efektivní palivo pro ORC technologii: tzbinfo* [online]. 1. dubna 2005. Topinfo s.r.o., c2001-2023 [cit. 2023-03-05]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2455-biomasa-efektivni-palivo-pro-orc-technologie>
- [48] *Strojovna větrné elektrárny* [online]. Praha: Česká společnost pro větrnou energii, 2021 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrany/324#prettyPhoto>