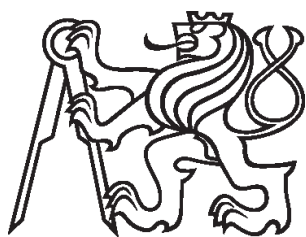


Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

Fotovoltaická elektrárna v průmyslovém areálu

Martin Lukeš

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.

2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lukeš** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **492392**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Fotovoltaická elektrárna v průmyslovém areálu

Název bakalářské práce anglicky:

Photovoltaic power plant in an industrial area

Pokyny pro vypracování:

- 1) Druhy obnovitelných zdrojů energie.
- 2) Návrh fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt.
- 3) Záložní zdroj elektřiny pro průmyslový objekt.
- 4) Technicko – ekonomické zhodnocení návrhu.
- 5) Závěrečné zhodnocení a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BENDA, V. a kol. Obnovitelné zdroje energie. 1. vyd. Praha: Profi press, 2012, 208 s. ISBN 978-808-6726-489.
- 2) MASTNÝ, Petr a kol. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- 3) IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.
- 4) LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **08.02.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 20. 5. 2022

Martin Lukeš

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D, za odborné vedení, cenné připomínky a za veškerou pomoc, kterou mi během zpracování bakalářské práce poskytl.

Abstrakt

Bakalářská práce v teoretické části se věnuje popisu druhů obnovitelných zdrojů energie a záložním zdrojům elektřiny. U druhů obnovitelných zdrojů energie je popsána fotovoltaika, solární kolektory, větrné zdroje energie, vodní zdroje energie, geotermální zdroje energie a biomasa. V části záložní zdroje elektřiny jsou popsány zdroje pro akumulaci elektrické energii, bateriové uložení, UPS a elektrocentrály.

Praktická část se věnuje návrhu fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt a technicko-ekonomickému zhodnocení návrhu.

Klíčová slova

obnovitelné zdroje energie, záložní zdroje energie, návrh fotovoltaické elektrárny, technicko-ekonomické zhodnocení

Abstract

The theoretical part of the bachelor thesis is devoted to the description of types of renewable energy sources and backup sources of electricity. For the types of renewable energy sources, photovoltaics, solar collectors, wind energy sources, hydro energy sources, geothermal energy sources and biomass are described. The section on back-up sources of electricity describes sources for electricity storage, battery storage, UPS and power generators.

The practical part is devoted to the design of a photovoltaic power plant for an industrial building and the technical and economic evaluation of the design.

Keywords

renewable energy sources, backup energy sources, photovoltaic power plant design, techno-economic evaluation

Obsah

1	Úvod	1
2	Druhy obnovitelných zdrojů energie	2
2.1	Druhy obnovitelných zdrojů energie	2
2.2	Sluneční zdroje energie	3
2.2.1	Úvod ke slunečním zdrojům energie	3
2.2.2	Princip FV jevu	3
2.2.3	Konstrukce FV článku	4
2.2.4	Části FV systému	5
2.2.5	Dělení FV elektráren	6
	Princip solárního kolektoru	8
2.2.6	Druhy solárních kolektorů	9
2.3	Větrné zdroje energie	11
2.3.1	Vznik větru	11
2.3.2	Principy větrných turbín	11
2.3.3	Příklady větrných turbín	12
2.3.4	Regulace výkonu větrných turbín	14
2.4	Vodní zdroje energie	16
2.4.1	Hydroenergetický potenciál	16
2.4.2	Princip výroby elektrické energie v VE	16
2.4.3	Druhy vodních turbín	17
2.4.4	Druhy vodních elektráren	18
2.5	Geotermální zdroje energie	19
2.5.1	Úvod	19
2.5.2	Využití nízkoteplotních zdrojů	19
2.5.3	Využití středně teplotních zdrojů	21
2.5.4	Využití vysokoteplotních zdrojů	22

2.6	Biomasa	23
2.6.1	Úvod	23
2.6.2	Biomasa rostlinného původu	23
2.6.3	Biomasa živočišného původu	25
3	Záložní zdroje elektřiny	26
3.1	Dělení spotřebitelů při stavu nouze v elektroenergetice	26
3.2	Vlastnosti záložního zdroje elektřiny	26
3.2.1	Výkon	26
3.2.2	Čas odezvy.....	27
3.2.3	Účinnost záložního zdroje elektřiny	27
3.2.4	Doba provozu na záložním zdroji elektřiny.....	27
3.3	Zdroje pro akumulaci elektrické energie	27
3.3.1	Akumulátory.....	28
3.3.2	Palivové články.....	29
3.3.3	Setrvačníky	30
3.3.4	Superkondenzátory	30
3.4	Bateriové uložení	30
3.4.1	Složení bateriového uložení.....	31
3.5	UPS.....	31
3.5.1	UPS typu pasivní záloha.....	31
3.5.2	UPS typu interakce se sítí.....	32
3.5.3	UPS typu dvojí konverze.....	32
3.6	Elektrocentrála.....	33
4	Návrh FV elektrárny a doporučení záložního zdroje elektřiny pro průmyslový objekt	35
4.1	Popis podniku	35
4.2	Umístění FV panelů.....	36
4.3	Sluneční ozáření	36
4.4	Velikost instalovaného výkonu FV elektrárny	37

4.5	Komponenty FV elektrárny.....	38
4.5.1	FV panel	38
4.5.2	Střídač	39
4.5.3	Kabely a ochrany.....	41
4.6	Elektrická energie vyrobená FV elektrárnou.....	41
4.7	Volba záložního zdroje elektřiny	43
5	Technicko-ekonomické zhodnocení FV elektrárny.....	44
5.1	Počáteční investice, náklady, příjmy a úspory FV elektrárny	44
5.1.1	Odhad počáteční investice.....	44
5.1.2	Odhad nákladů FV elektrárny	44
5.1.3	Příjem a úspory FV elektrárny	45
5.2	NPV kritérium	46
5.3	IRR kritérium	47
5.4	Závěrečné zhodnocení a doporučení	48
6	Závěr.....	49
7	SEZNAM LITERATURY.....	50
7.1	Knižní zdroje.....	50
7.2	Internetové zdroje.....	50
8	Seznam příloh.....	54

Obrázky

Obr. 2-1 - Rozdělení zdrojů energie	2
Obr. 2-2 - Struktura FV článku.....	4
Obr. 2-3 - Zapojení střídače a FV pole A) centrální měnič, B) řetězcové měniče, C) modulové měniče	6
Obr. 2-4 - Schéma zapojení FV elektrárny v ostrovním provozu.....	7
Obr. 2-5 - Schéma zapojení FV elektrárny přímo spojené se sítí.....	7
Obr. 2-6 - Schéma zapojení FV elektrárny v hybridním provozu	8
Obr. 2-7 - Princip solárního kolektoru.....	9
Obr. 2-8 - Plochý nekrytý kolektor.....	9
Obr. 2-9 - Plochý vakuový kolektor	10
Obr. 2-10 - Trubkový jednostěnný vakuový kolektor	10
Obr. 2-11 - Ohřev pomocí koncentrátorového systému	10
Obr. 2-12 - Závislost výkonu větru protékajícího plochou 1m ²	11
Obr. 2-13 - Výslednice vztlakové a odporové síly	12
Obr. 2-14 Savoniova větrná turbína	13
Obr. 2-15 - Horizontální větrná turbína.....	13
Obr. 2-16 - Darrieova větrná turbína.....	14
Obr. 2-17 - Kombinace Savoniovy a Darrieovy turbíny	14
Obr. 2-18 - Větrná elektrárna se směrovým kormidlem.....	15
Obr. 2-19 – Graf závislosti průtoku a výkonu turbíny na výšce spádu s vyznačenými oblastmi použití Kaplanovy, Francisovy, Bánkiho a Peltonovy turbíny.....	18
Obr. 2-20 - Technologické schéma tepelného čerpadla.....	20
Obr. 2-21 - (zleva) Tepelné čerpadlo vzduch – voda, voda - voda, země - voda.....	21
Obr. 2-22 – Technologické schéma elektrárny využívající metodu suchých par.....	22
Obr. 2-23 – Řez zemí s elektrárnou využívající metodu hot dry rock.....	23
Obr. 2-24 - Obilí.....	24
Obr. 2-25 - Řepka olejka	24
Obr. 2-26 - Japonské topoly	25

Obr. 3-1 - Rozdělení akumulčních soustav	28
Obr. 3-2 - Princip palivového článku	30
Obr. 3-3 - UPS typu pasivní záloha.....	32
Obr. 3-4 - UPS typu interakce se sítí.....	32
Obr. 3-5 - UPS typu dvojí konverze.....	33
Obr. 3-6 - dieselový motorgenerátor	34
Obr. 4-1 - Měsíční spotřeba elektrické energie	35
Obr. 4-2 – Měsíční dopadající sluneční ozáření v roce 2020.....	37
Obr. 4-3 - Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku.....	40
Obr. 4-4 - Vyrobená elektrická energie FV elektrárnou	42
Obr. 4-5 - Spotřeba objektu a vyrobená elektrická energie z FV elektrárny.....	42
Obr. 5-1 - Průběh hotovostního toku.....	46
Obr. 5-2 - Průběh diskontovaného hotovostního toku	47
Obr. 5-3 - Závislost NPV na diskontní sazbě.....	48

Tabulky

Tab. 4-1 - Základní parametry FV panelu Lepton	38
Tab. 4-2 - Potřebný a zvolený výkon FV elektrárny a počet FV panelů	39
Tab. 4-3 - Základní parametry střídače Fronius	39
Tab. 4-4 - Údaje k připojení FV panelů ke střídači	40
Tab. 4-5 – Roční vyrobená elektrická energie z FV elektrárny.....	42
Tab. 5-1 - Odhad počáteční investice	44
Tab. 5-2 - Odhad nákladů FV elektrárny.....	44
Tab. 5-3 – Roční úspora a příjem z FV elektrárny	45
Tab. 5-4 - Vypočtené NPV a IRR návrhu FV elektrárny	48

Seznam zkratk

BMS	Battery energy system
EMS	Energy management systém
FV	Fotovoltaika
HEP	Hydroenergetický potenciál
IRR	Vnitřní výnosové procento
NPV	Čistá současná hodnota
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
UPS	Zdroj nepřerušovaného napětí
VE	Vodní elektrárna

1 Úvod

Už je to přes 250 let, kdy Benjamin Franklin a Prokop Diviš vynalezli hromosvod. To dalo lidstvu jiskru k poznávání elektřiny a od té doby jsme ušli dlouhou cestu a vynalezli velké množství technologií založené na elektřině. Od té doby naše závislost na elektřině roste. V dnešní době by se už těžko hledal obor, ve kterém nenajdeme ovlivnění elektřinou. Jak nám roste spotřeba elektrické energie a zároveň nám klesají zásoby klasických zdrojů elektrické energie. Začínáme hledat jiné zdroje energie, kterých máme dostatek, nebo se u nich nemusíme bát, že by nám v řádech stovek let došli. Tohoto trendu, kde se snažíme využít energii světla, větru, vody a dalších obnovitelných zdrojů energie si můžeme povšimnout po celém světě. Snaha snížit podíl elektráren využívajících fosilní palivo a nahradit je elektrárnami využívající obnovitelné zdroje energie. Pro uvedení příkladu si můžeme povšimnout například Evropskou unii, která se snaží v rámci Zelené dohody docílit klimaticky neutrálního kontinentu do roku 2050. Jeden z jejich cílů je docílit podílu obnovitelných zdrojů 40 % do roku 2030. Poměrně známým sousedem, který jde ve směru obnovitelných zdrojů je Německo. Povedlo se mu od roku 2010 do 2021 zvýšit podíl obnovitelných zdrojů z 19,1 % na 45,8 %. Výroba energie z fosilních paliv se snížila z 56,1 % na 40,9 %.^{1 2}

Záložní zdroje elektřiny jsou jak pro průmyslový objekt, tak i obecně velmi důležitá zařízení, která musíme řešit v případě, že klademe nároky na spolehlivost dodávky elektrické energie. V případě výpadku elektřiny z elektrické sítě může dojít k nehodám a ztrátě na majetku, finanční ztrátě. S tím se můžeme setkat například v objektech, kde by výpadek znamenal vypnutí zabezpečovacích zařízení, jako jsou třeba banky, anebo v továrnách, kde, kdyby došlo k výpadku, tak by se vply výrobní linky a následné spuštění linek by trvalo dlouhou dobu, a došlo by ztrátě peněz. Nemusí to být jen ztráty na majetku a financí, ale i na životech. Ke ztrátám na životech by mohlo dojít například v nemocnicích, kde jsou pacienti, kteří mají své životní funkce závislé na fungování elektrických zařízení a v případě výpadku elektřiny by mohlo dojít k jejich úmrtí.

Kromě teoretické části, ve které jsou popsány obnovitelné zdroje energie a záložní zdroje elektřiny obsahuje tato bakalářská práce i praktickou část. V ní se budu zabývat návrhem fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt a jejím následným zhodnocením.

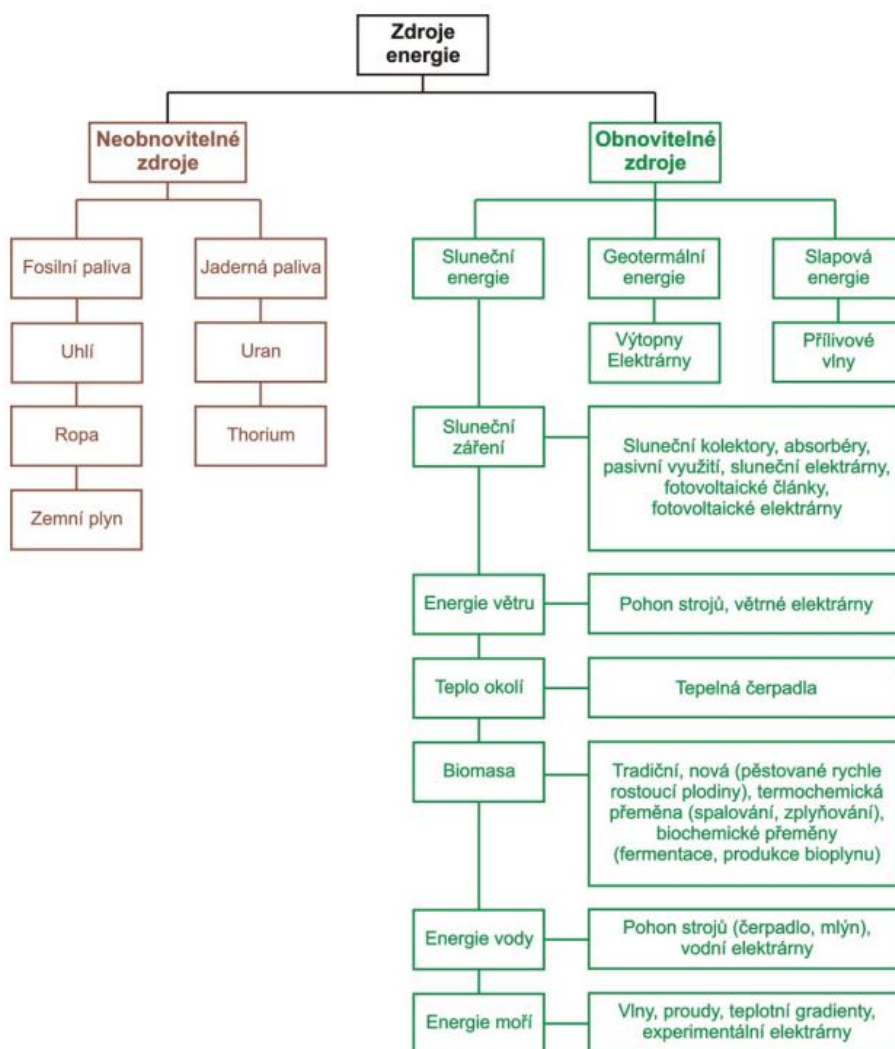
¹ EVROPSKÁ KOMISE. Realizace Zelené dohody pro Evropu. Evropská komise [online]. Brusel: Evropská komise, c1995-2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs

² FRAUNHOFER ISE. Pie Chart Electricity Generation. Energy-charts [online]. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2020 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: https://energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=en&c=DE&interval=year&year=2010

2 Druhy obnovitelných zdrojů energie

2.1 Druhy obnovitelných zdrojů energie

Pro definici obnovitelných zdrojů energií můžeme využít výňatek z českého zákona číslo 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie. V § 2 části a) máme definovaný co můžeme pokládat za obnovitelný zdroj energie. „obnovitelnými zdroji obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu,“³



Obr. 2-1 - Rozdělení zdrojů energie⁴

³ ČESKO. Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 5. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>

⁴ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 19. ISBN 978-80-01-04937-2.

2.2 Sluneční zdroje energie

2.2.1 Úvod ke slunečním zdrojům energie

U slunečních zdrojů energie využíváme sluneční paprsky, přesněji elektromagnetického záření, které je vyzařováno ze Slunce. Sluneční energie je využívána v mnoha různých odvětvích a mnoha částech přírodního ekosystému. Od samotné potřeby k životu, ohřevu vody, fotosyntézy a také k výrobě elektrické energie.

Jak si můžeme povšimnout v Obr. 2-1 tak jen málo obnovitelných zdrojů není v nějaké formě sluneční energie. Například geotermální, kde se využívá tepla z jádra Země nebo slapové elektrárny, které využívají vzájemného pohybu Země a Měsíce. Tento pohyb poté způsobuje příliv a odliv. Většina ostatních je různou formou sluneční energie. Například větrné, vodní zdroje energie nebo biomasa. V této kapitole budu popisovat sluneční zdroje energie. A to využití slunečního záření k ohřevu například vody využitím slunečních kolektorů nebo k tvorbě elektrické energie využitím fotovoltaického (dále také „FV“) jevu. FV jev byl objasněn Albertem Einsteinem, díky kterému vděčíme za mnoho dalších objevů ve fyzice.

2.2.2 Princip FV jevu

Pokud bychom polovodiči dodali energii, která je vyšší, než je šířka zakázaného pásu. V našem případě pomocí světelného záření. Tak nám elektron excituje do vodivostního pásu, kde se z něho stává volným elektronem a může dojít k vedení elektrického proudu. Ve valenčním pásu pak za sebou zanechal díru. Do této díry se pak může dostat jiný valenční elektron, po kterém zůstane díra. Při působení elektrického pole se nám díra pohybuje opačně oproti elektronu. Tedy ve směru působení elektrického pole.

Z hlediska toho, zda u polovodiče využijeme čistý prvek, například křemík, jehož chemická značka je Si, nebo k němu přidáme i nějaké příměsi. Tak dělíme polovodič na:

- Vlastní polovodič
- Polovodič typu P/N

U polovodiče typu P využíváme příměs zvanou akceptory z III. skupiny periodické tabulky prvků. U tohoto typu polovodiče nám převažují díry nad volnými elektrony. U polovodiče typu N využíváme příměs z IV. skupiny periodické tabulky prvků. Převažují nám zde volné elektrony nad dírami.

Pokud vytvoříme polovodič, který je v jedné části typu P a v jiné části typu N. Vzniká nám mezi nimi PN přechod.

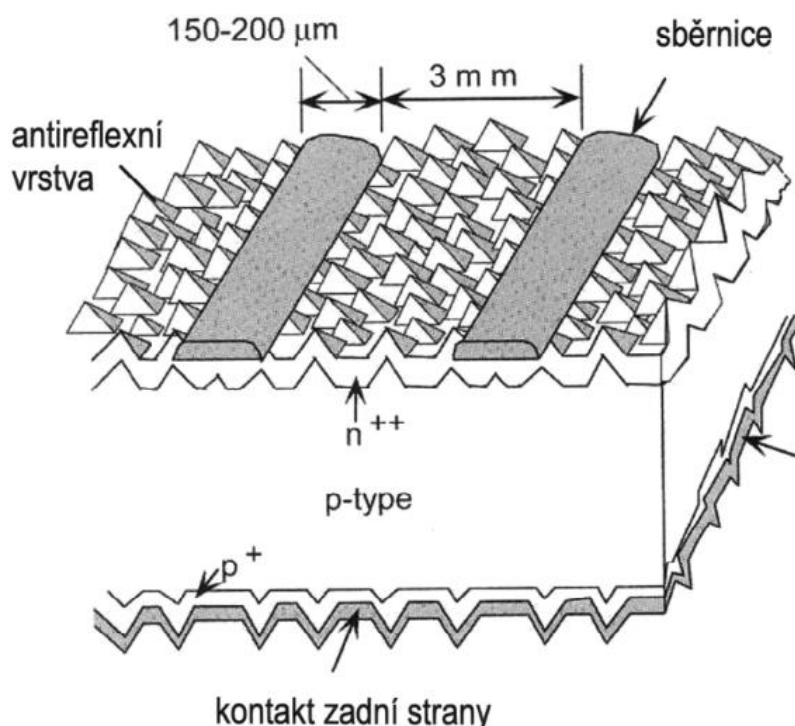
Při dopadu světelného záření na PN přechod nám vznikají páry volných elektronů a děr. Ty jsou pak vlivem vnitřního elektrického pole separovány. To má za následek vznik elektrického napětí a možnosti

tedy využít polovodič jako zdroj elektrické energie. Polovodičovou součástku, která využívá FV jevu nazýváme FV článek.

2.2.3 Konstrukce FV článku

Nejčastěji se setkáváme s FV články vyrobených z křemíků. Je to především z důvodu jeho dostupnosti. Na Zemi je jako druhý nejrozšířenější prvek ve formě křemene. Ten se pomocí vhodných technologických postupů zpracuje na křemíkové destičky.

Křemíkové mono a polykrystalické články vynikají svojí jednoduchou a levnou konstrukcí a díky jejich účinnosti, která je nad 15 %, bývá z jedním nejrozšířenějším typem FV článku. Pro dosažení vyšších účinností kolem 25 % můžeme využít FV články z jiných polovodičů jako je například GaAs. Kvůli vyšší ceně se FV články vyrobené z jiných polovodičů využívají jen kde to je nutné. Například v kosmických aplikacích. Dále se můžeme setkávat s tím, že kombinujeme FV články vyrobené z různých materiálů. Tím dosáhneme toho, že jednotlivé FV články využívají jinou oblast spektra a dosáhneme tím vyšší účinnosti. Dalším typem jsou tenkovrstvé články. Oproti klasickým křemíkovým článkům zde využíváme i jiné prvky, např. CuInSe, nebo CdTe. Tyto články mají nižší hmotnost a lepší mechanické vlastnosti. Za cenu nižší účinnosti, která se pohybuje okolo 10 %. Můžeme se s tenkovrstvými články setkat například v kalkulačkách.⁵



Obr. 2-2 - Struktura FV článku⁶

⁵ LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika : perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2005. ISBN 80-213-1335-8.

⁶ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 69. ISBN 978-80-01-04937-2.

2.2.4 Části FV systému

FV systém je složen z několika elektrických zařízení. Mezi hlavní části, které může FV systém obsahovat můžeme zařadit následující:

- FV panel
- Nosná konstrukce FV panelu
- Střídač
- Vysokonapětový transformátor
- Systém měření a ochran

2.2.4.1 FV panel

FV panel nám slouží k samotné přeměně sluneční energie na elektrickou. Je složen z FV článků jejíž princip a konstrukci jsem popsal v minulých kapitolách.

2.2.4.2 Nosná konstrukce FV panelu

Nosná konstrukce nám slouží pro mechanické upevnění solárního panelu. Máme na výběr několik různých nosných konstrukcí, které mohou být vhodné pro různé umístění FV panelu.

Jedním možným umístěním FV panelů jsou střechy. S touto instalací se setkáváme často u malých FV systémů u rodinných domů. Nosná konstrukce pro střechy se liší tím, jakou střechu máme. U sedlové střechy se využívají hliníkové profily přichycené háky ke střeše. K hliníkovým profilům je připevněn FV panel. U plochých střech se mohou využívat kromě hliníkových profilů také ocelové pozinkované profily trojúhelníkového tvaru zatížené chemickými kotvami nebo betonovými bloky. U větších FV systémů se setkáváme s tím, že máme FV panely na zemi. Nosná konstrukce je v tomto případě stejná jako u plochých střech, kromě toho, že jsou pevně připojené k zemi pomocí závrtných šroubů, pozinkovanými profily zatlačenými do země, nebo betonovými základy. Kromě pevných konstrukcí existují i pohyblivé konstrukce, které nám umožňují měnit svůj úhel buď v jedné ose, nebo ve dvou. Dosahujeme tím více vyrobené energie, ale počáteční investice jsou vyšší.⁷

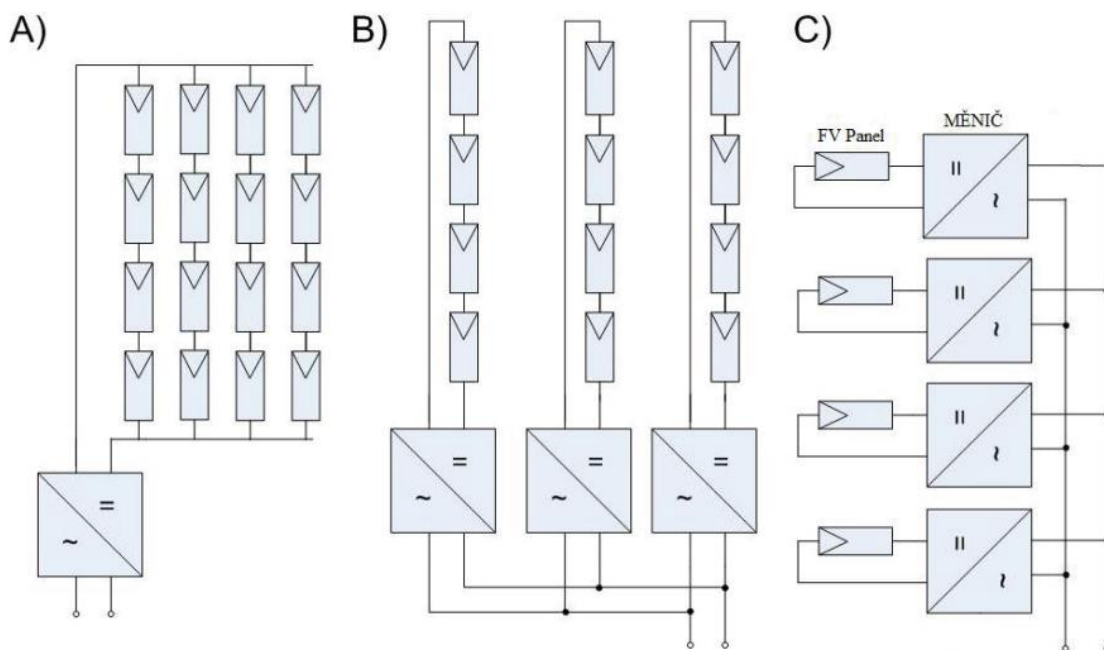
2.2.4.3 Střídač

Funkcí střídače je přeměna stejnosměrného napětí a proudu ze solárních panelů na střídavé napětí a proud. Který funguje na principu spínání vhodných kombinací spínacích prvků po vhodné dlouhou dobu. Střídač dále dělíme na různé typy dle jejich zapojení.

Modulové střídače jsou připojeny k jednomu FV modulu. Bývají do výkonu 300 W a je instalován přímo na modul. Docílíme tím snížení ztrát u stejnosměrného propojení. Lze dále rozšiřovat o další FV moduly. Řetězcové střídače jsou připojeny k několika sériově nebo paralelně propojených FV panelů. Oproti centrálnímu střídači lze systém lehčeji rozšiřovat. Centrální střídače jsou připojeny ke stovkám až

⁷ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

tisícům FV panelům. Bývají do výkonu 500 kW. Mezi jeho výhody můžeme považovat vyšší pracovní napětí a tím snížení ztrát. Nelze ale dále rozšiřovat o další moduly beze změny jmenovitého výkonu střídače.⁸



Obr. 2-3 - Zapojení střídače a FV pole
A) centrální měnič, B) řetězcové měniče, C) modulové měniče⁹

2.2.5 Dělení FV elektráren

FV elektrárny pracují v různých provozech

- Ostrovní provoz (Grid-off)
- Přímě spojené se sítí bez akumulace (Grid-On)
- Hybridní provoz

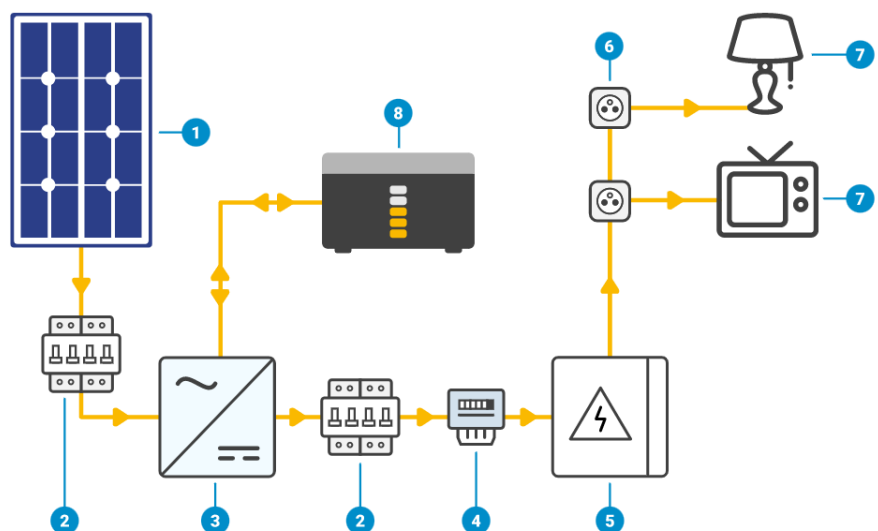
2.2.5.1 Ostrovní provoz

V Ostrovním provozu není FV elektrárna připojena na veřejnou elektrickou síť. Elektřinu, kterou solární panel vyrobí je využita pouze v objektu zařízení, které je napájené ze stejnosměrného napětí, nebo přes napěťový střídač síťového napětí a frekvence. Elektřina, která se okamžitě nespoteřebuje je uchována přes ochranný obvod v akumulátorové baterii. V tomhle provozu FV elektrárnu můžeme nalézt například v chatách, zahradního osvětlení, dopravní signalizace.¹⁰

⁸ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

⁹ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 83. ISBN 978-80-01-04937-2.

¹⁰ Také

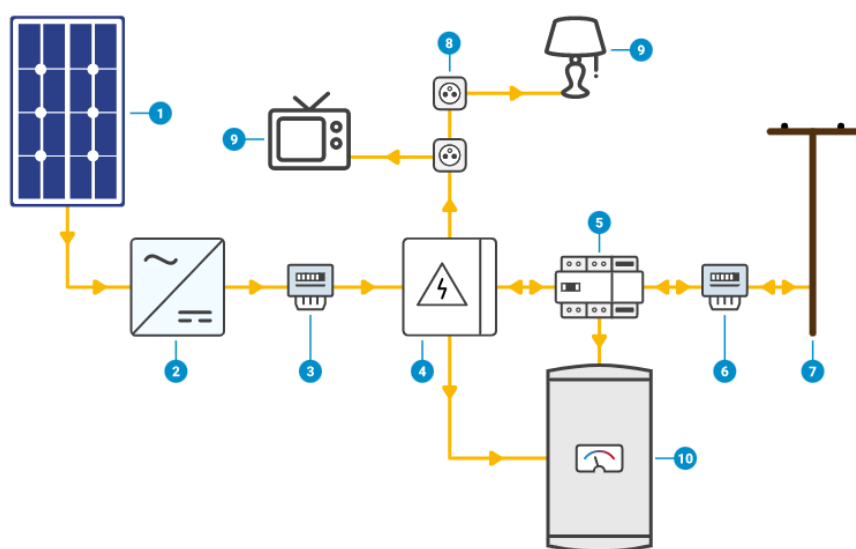


1. FV panel
2. Přepětová ochrana + jistič
3. Měnič
4. Měření výroby FVE
5. Domovní rozváděč
6. Zásuvky 230 V
7. Spotřebič 230 V
8. Lithiová baterie

Obr. 2-4 - Schéma zapojení FV elektrárny v ostrovním provozu¹¹

2.2.5.2 Přímé spojení se sítí

FV elektrárna přímo spojená se sítí může buď pracovat, že většinu elektrické energie se spotřebuje v objektu, a to co nedokážeme v objektu spotřebovat se pošle do sítě, Druhý způsob, jak tato elektrárna může fungovat je ten, že všechnu dostupnou vyrobenou elektrickou energii posílá do sítě.



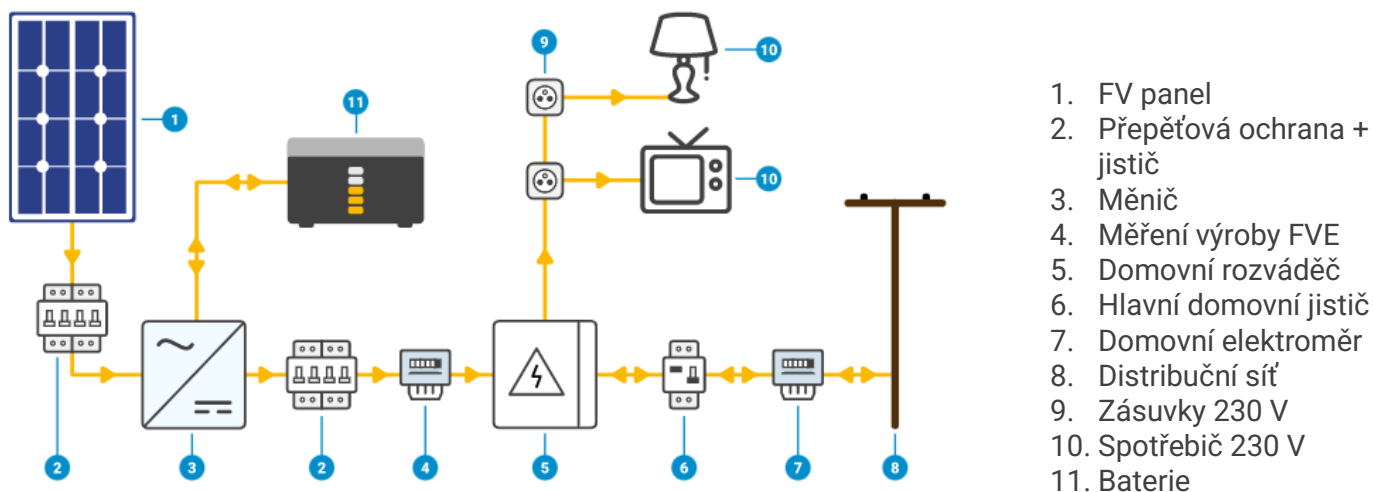
1. FV panel
2. Měnič
3. Měření výroby FVE
4. Domovní rozváděč
5. WATTrouter
6. Domovní elektroměr
7. Distribuční síť
8. Zásuvky 230 V
9. Spotřebič 230 V
10. Bojler / Akumulační nádrž

Obr. 2-5 - Schéma zapojení FV elektrárny přímo spojené se sítí¹¹

¹¹ DEKSOLAR. VŠE O FOTOVOLTAICE. DEKSOLAR [online]. Praha: DEKSOLAR [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://deksolar.cz/vse-o-fotovoltaice/>

2.2.5.3 Hybridní systém

Hybridní systém je pak kombinací obou výše zmíněných systémů. U tohoto systému je snaha pro co největší využití vyrobené energie v objektu. To je řízeno inteligentním hybridním měničem. Bývá opatřen akumulátorem pro využití energie v časech, kdy solární panely nevytvářejí dostatek elektřiny. Hybridní střídač pak v případě nedostatku energie v akumulátorech využívá elektřinu z distribuční sítě.



Obr. 2-6 - Schéma zapojení FV elektrárny v hybridním provozu¹²

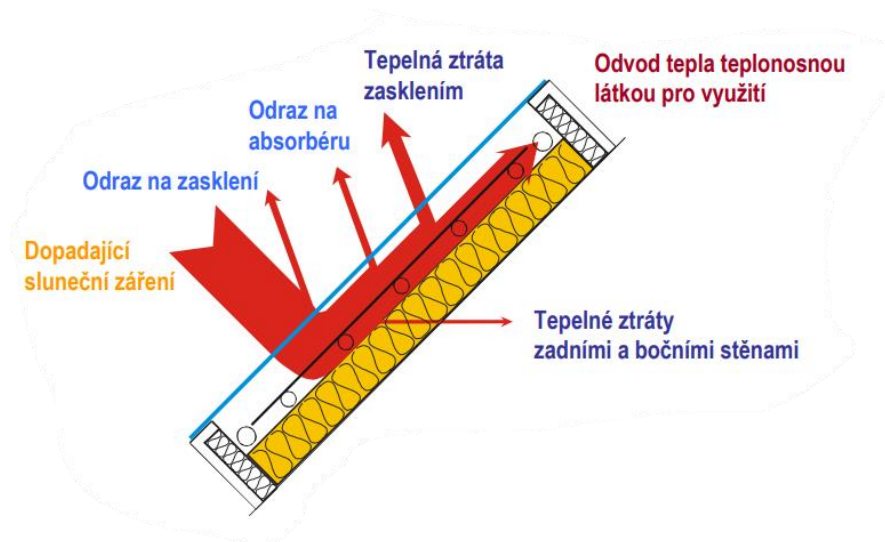
Princip solárního kolektoru

K využití slunečního záření nemáme jenom FV články, které záření přeměňují na elektřinu. Využívají se taky systémy, které absorbují sluneční záření a přemění ho na teplo.

K tomuto se využívají kolektory. Na část kolektoru, kterému říkáme absorbér dopadá sluneční záření. Díky vysoké absorbivitě povrchu se značná část pohltí a přemění na teplo. To je pak odvedeno různým médii pryč. Často se využívá vzduch, nebo voda. Kvůli tomu, že voda při nízkých teplotách mrzne. Také se používají nemrzoucí směsi.¹³

¹² DEKSOLAR. VŠE O FOTOVOLTAICE. DEKSOLAR [online]. Praha: DEKSOLAR [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://deksolar.cz/vse-o-fotovoltaice/>

¹³ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

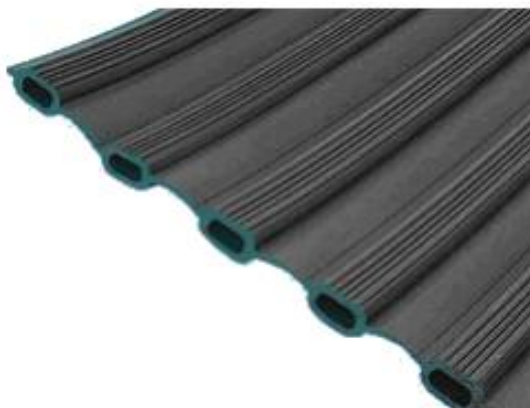


Obr. 2-7 - Princip solárního kolektoru¹⁴

2.2.6 Druhy solárních kolektorů

Solární kolektory dělíme dle jejich konstrukce. Zde uvedeme několik příkladů, s kterými se můžeme setkat.

Plochý nekrytý kolektor z důvodu nezasklení má vysoké tepelné ztráty. Hodí se jen pro aplikace, kde nám to tolik nevádí. Jako je třeba ohřev vody do bazénu.



Obr. 2-8 - Plochý nekrytý kolektor¹⁴

Plochý atmosférický kolektor je krytý. Dle povlaku absorbéru dělíme ještě na spektrálně selektivní nebo neselektivní. Selektivní kolektor má nižší tepelné ztráty sáláním. Proto se na rozdíl od neselektivního hodí pro celoroční ohřev vody. Plochý vakuový kolektor má uvnitř podtlak. Díky tomu docílíme menších tepelných ztrát. Je využíván nejen pro celoroční ohřev vody, ale i pro průmyslové aplikace.¹⁵

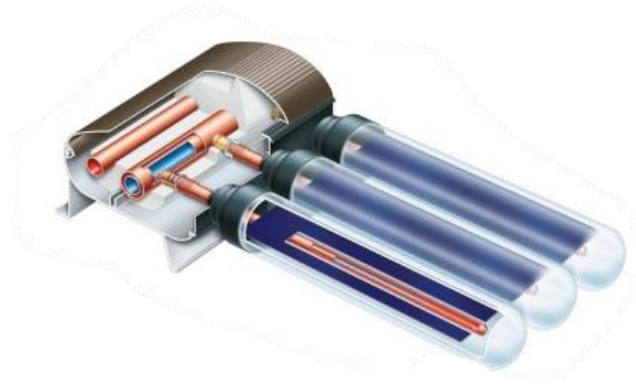
¹⁴ BENDA, Vítězslav. Přednášky z předmětu Solární systémy a elektrochemické zdroje (B1B13SSE1). ČVUT FEL v Praze, 2022. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=6700>

¹⁵ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.



Obr. 2-9 - Plochý vakuový kolektor¹⁶

Trubkový jednotěnný/dvoustěnný vakuový kolektor, díky selektivnímu absorberu a vakuové izolaci dosahuje nižších tepelných ztrát. Využívají se pro vysokoteplotní průmyslové aplikace a kombinované soustavy pro vytápění.¹⁷



Obr. 2-10 - Trubkový jednotěnný vakuový kolektor¹⁶

Soustředující kolektory využívají čočky a zrcadla k soustředění slunečního záření do absorberu.¹⁷



Obr. 2-11 - Ohřev pomocí koncentrátorového systému¹⁶

¹⁶ BENDA, Vítězslav. Přednášky z předmětu Solární systémy a elektrochemické zdroje (B1B13SSE1). ČVUT FEL v Praze, 2022. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=6700>

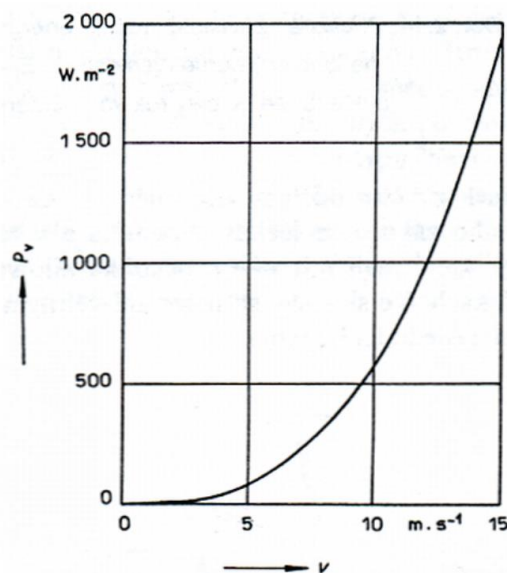
¹⁷ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

2.3 Větrné zdroje energie

2.3.1 Vznik větru

Vítr je jedna z forem sluneční energie. Vlivem sluneční energie je nerovnoměrně zahřívána Země, a tím je zahříván vzduch. Zahřátý vzduch je lehčí, a tudíž má i tendenci stoupat nahoru. Tím vznikají místa s nižším tlakem. Vlivem toho, že se někde vzduch zahřeje více než jinde tak nám vznikají místa s nižším tlakem a místa s vyšším tlakem. Díky tomu vzduch z místa s vyšším tlakem se přesouvá do místa s nižším tlakem a vznikne nám tedy vítr.

Vzniká nám tedy možnost zdroje energie, který můžeme využít k tvorbě elektrické energie. Zdroj energie, který máme všude kolem nás, nemusíme nic spalovat, vytvářet žádné plyny přispívající ke globálnímu oteplování. Jak má, ale něco výhody, tak to bude mít i nevýhody. Množství energie, které z větru získáme je proměnlivé a závislá na rychlosti větru.



Obr. 2-12 - Závislost výkonu větru protékajícího plochou 1m^2 ¹⁸

Pro převod kinetické energie větru na elektrickou energii využíváme větrnou turbínu a generátor. Větrná turbína nám slouží k přeměně kinetické energie větru na mechanickou energii a tu pak pomocí generátoru přeměníme na elektrickou energii.

2.3.2 Principy větrných turbín

Při výběru větrné turbíny zjistíme, že se dělí dle jejich principu. Dělíme je na:

- Odporové větrné turbíny
- Vztlakové větrné turbíny

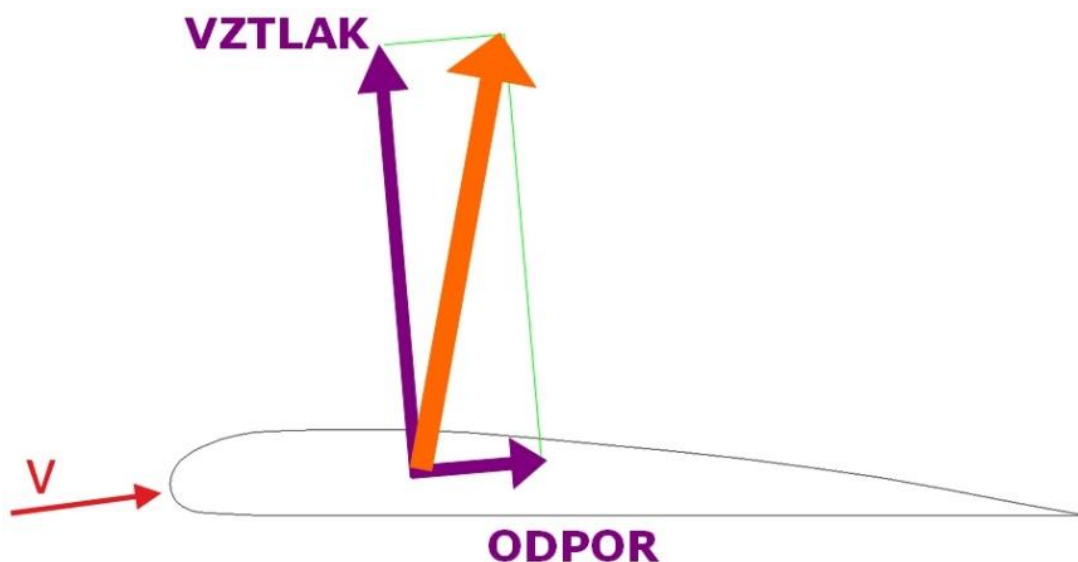
¹⁸ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 38. ISBN 978-80-01-04937-2.

2.3.2.1 Odporové větrné turbíny

Odporové větrné turbíny využívají toho, že různým tvarem lopatky nebo různým natáčením lopatek dosáhneme rozdílného odporu lopatek, a tedy i rozdílnou působící sílu. V energetice pro ně nalezneme menší využití jak vztlkové, a to z důvodu nižší účinnosti. Účinnost mají mezi 15–23 %.¹⁹

2.3.2.2 Vztlkové větrné turbíny

Vztlková větrná turbína využívá vzniku vztlkové síly konstrukcí profilu lopatek. Vítr se u lopatky rozděluje a proudí nad a pod lopatkou. Z důvodu jejího profilu, ale bude muset nad lopatkou urazit delší vzdálenost, a tedy bude proudit vyšší rychlostí. Nad lopatkou nám vzniká podtlak a pod lopatkou vzniká přetlak. Vzniká nám tedy vztlková síla. Kromě vztlkové síly nám vzniká i odporová síla, která je pro vztlkové větrné turbíny nežádoucí a ideálně bychom chtěli, aby odporová síla nevznikala.²⁰



Obr. 2-13 - Výslednice vztlkové a odporové síly²⁰

2.3.3 Příklady větrných turbín

Mezi odporové turbíny řadíme Savoniovu větrnou turbínu. Ta má jako ostatní odporové turbíny nižší účinnost, ale mezi její výhody řadíme jednoduchou konstrukci, snadnou údržbu, nezávislost na směru proudu větru a možnost použít tuto turbínu už od rychlosti větru $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Díky těmto výhodám se s ní můžeme setkat i přes její nižší účinnost doteď.¹⁹

¹⁹ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

²⁰ ČSVE. Vznik vztlaku. ČSVE - Větrné elektrárny | Větrná energie [online]. Praha: Česká společnost pro větrnou energii, c2009-2021 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://csve.cz/clanky/vznik-vztlaku/307>



Obr. 2-14 Savoniova větrná turbína²¹

U vztlkových větrných turbín se často v energetice setkáváme s jedním typem, a to horizontální větrnou turbínou. Rozlišují se tím, zda mají osu otáčení uloženou horizontálně nebo vertikálně. Vertikální odporová větrná turbína byla Savoniova. Horizontální větrná turbína vypadá jako na Obr. 2-15



Obr. 2-15 - Horizontální větrná turbína²²

Vertikální vztlkové turbíny mají sice menší účinnost oproti horizontálním vztlkovým turbínám, ale i přesto jsou využívány z důvodu jejich výhod oproti horizontálním. Díky vertikálnímu uložení osy otáčení jsou nezávislé na směru větru. Jsou tedy vhodné do míst s fluktuací směru větru. Bývají lehčí na údržbu a zabírají méně prostoru. Oproti horizontálním větrným turbínám, ale mívají menší účinnost. Jako příklad zde uvedu Darrieovu větrnou turbínu. Její vzhled si můžeme prohlédnout na Obr. 2-16. Mezi její výhody řadíme vyšší účinnost mezi vertikálními větrnými turbínami. Mívá okolo 35-38 %²³

²¹ OIMATSU, Toshihiro. Savonius wind turbine [online]. Mountain View: Oimatsu, 2006 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/oimax/115831831>

²² HILLEWAERT, Hans. Savonius wind turbine [online]. Mountain View: Hillewaert, 2008 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/bathyporeia/9995123423/>

²³ VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2021-12-27] Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typelektren/vetme-elektreny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>



Obr. 2-16 - Darrieova větrná turbína²⁴

Dále se můžeme setkat i s kombinací dvou různých větrných turbín pro spojení jejich výhod. Konkrétně se můžeme například setkat s kombinací Darrieovy a Savoniovy větrné turbíny. Savoniovu turbínu kvůli možnosti práce při nízkých rychlostech větru a Darrieovu turbínu pro její vyšší účinnost.²⁴



Obr. 2-17 - Kombinace Savoniovy a Darrieovy turbíny²⁴

2.3.4 Regulace výkonu větrných turbín

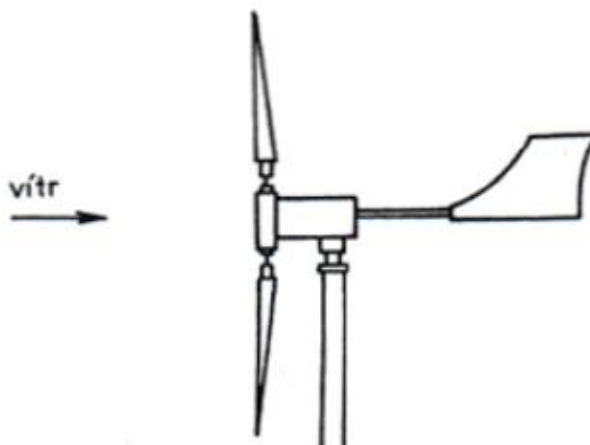
Z důvodu silného větru, a tedy možného poškození větrných turbín je třeba regulovat jejich výkon. Na to využíváme různé druhy regulace.

2.3.4.1 Malé větrné elektrárny

Pro malé větrné elektrárny se využívá regulačního kormidla, které větrnou turbínu natáčí v závislosti na rychlosti větru. Po dosažení kritické rychlosti větru, kdy by mohlo dojít k poškození větrné turbíny regulační kormidlo natočí kolmo ke směru větru.

²⁴ KOČ, Břetislav. Větrné elektrárny V. – Malé větrné elektrárny v ČR. TZB-info [online]. Praha: Topinfo, 2016 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14174-vetrne-elektrarny-v-male-vetrne-elektrarny-v-cr>

Dále se u malých větrných elektráren používá směrové kormidlo. To nám zajišťuje to, že je větrná turbína natočena rovnoběžně se směrem, kterým nám fouká vítr. Tím předejdeme ztrátám vlivem výkonu, a tedy i snížení účinnosti.²⁵



Obr. 2-18 - Větrná elektrárna se směrovým kormidlem²⁶

Pro větrné elektrárny vysokých výkonů se využívají několik různých regulací, které mají různé výhody i nevýhody. Regulace, které zde budou popsány jsou:

- Stall regulace
- Pitch regulace
- Aktivní stall regulace

2.3.4.2 Stall regulace

Stall regulace je založena na změně z laminárního na turbulentní proudění vzduchu. To způsobí snížení vztlaku, a tedy i momentu na hřídeli. Výhoda stall regulace je její jednodušší konstrukce. Oproti pitch regulaci nepotřebujeme žádný mechanismus, kterým bychom natáčeli lopatky. Při této regulaci nedokážeme turbínu samostatně rozběhnout. Při vyšších rychlostech nám klesá výkon generátoru.²⁵

2.3.4.3 Pitch regulace

U regulace pitch se měří výkon generátoru. V případě toho, že by se zvýšil nad hodnotu, při které by se mohla větrná elektrárna poškodit dojde k natočení lopatek což způsobí snížení vztlaku, odporu lopatek, a snížení momentu na hřídeli. Mezi její výhody patří to, že můžeme turbínu samostatně rozběhnout a při vyšších rychlostech větru nám oproti stall regulaci neklesá výkon. Regulace pitch není dostatečně rychlá tudíž dochází k přetěžování generátoru.²⁵

²⁵ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

²⁶ Také, s. 49

2.3.4.4 Aktivní stall regulace

Aktivní stall regulace využívá podobně jako regulace pitch natáčení lopatek. S tím rozdílem, že u této regulace se nám lopatky natáčí v opačném směru, než je u regulace pitch. Natočením lopatek dosáhneme odtržení proudu vzduchu a poklesu vztlaku. Tím se nám sníží moment na hřídeli. Díky tomu, že nemusíme natáčet turbíny o takový úhel je rychlost regulace větší než u pitch regulace.²⁷

2.4 Vodní zdroje energie

2.4.1 Hydroenergetický potenciál

Na vodních tocích stavíme vodní elektrárny (dále také „VE“), které dále využívají jejich kinetickou energii ke tvorbě elektrické energie. Jak velkou energii bychom mohli získat nám říká hydroenergetický potenciál (dále také „HEP“). Ten dělíme na:

- Primární HEP
- Sekundární HEP

Primární HEP nám udává, jakou energii bychom mohli získat z vodních toků, které vznikají při koloběhu v přírodě. Sekundární HEP je využíván u přečerpávací vodní elektrárny (dále také „PVE“). Ta nám slouží k akumulaci energie. V době, kdy máme nadbytek elektrické energie načerpáme vodu do nádrže. energii, kterou bychom pak mohli z této načerpané vody získat nazýváme sekundární HEP.²⁸

2.4.2 Princip výroby elektrické energie v VE

Elektrická energie v VE je vytvářena podobně jako u uhelných, nebo jaderných elektráren. Máme nějaké médium, které nám roztáčí turbínu, na které je dále připojen generátor. U uhelné a jaderné elektrárny je médium pára. U vodních elektráren to je voda, která nám padá z vyššího místa přes turbínu do nižšího místa.

Daný průtok je tedy využíván k výrobě elektrické energie. Výkon elektrárny je pak daný vztahem:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_c \text{ [W]}$$

(2-1)

kde:

P je výkon elektrárny [W]

g je gravitační konstanta [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

Q je průtok turbínou [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]

H je výškový rozdíl hladin – spád [m]

ρ je hustota vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

η_c je celková účinnost sestavy [-]

²⁷ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

²⁸ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

2.4.3 Druhy vodních turbín

Vodní turbína je jedna z důležitých součástí vodní elektrárny. Její činnost je využít potenciální energii vody k roztočení. Díky čemu pak vytvoříme elektrickou energii. Jedno z rozdělení můžeme brát dle toho, jak velká část potenciální energie vody se přemění v kanálech, které slouží k přívodu vody turbínám.

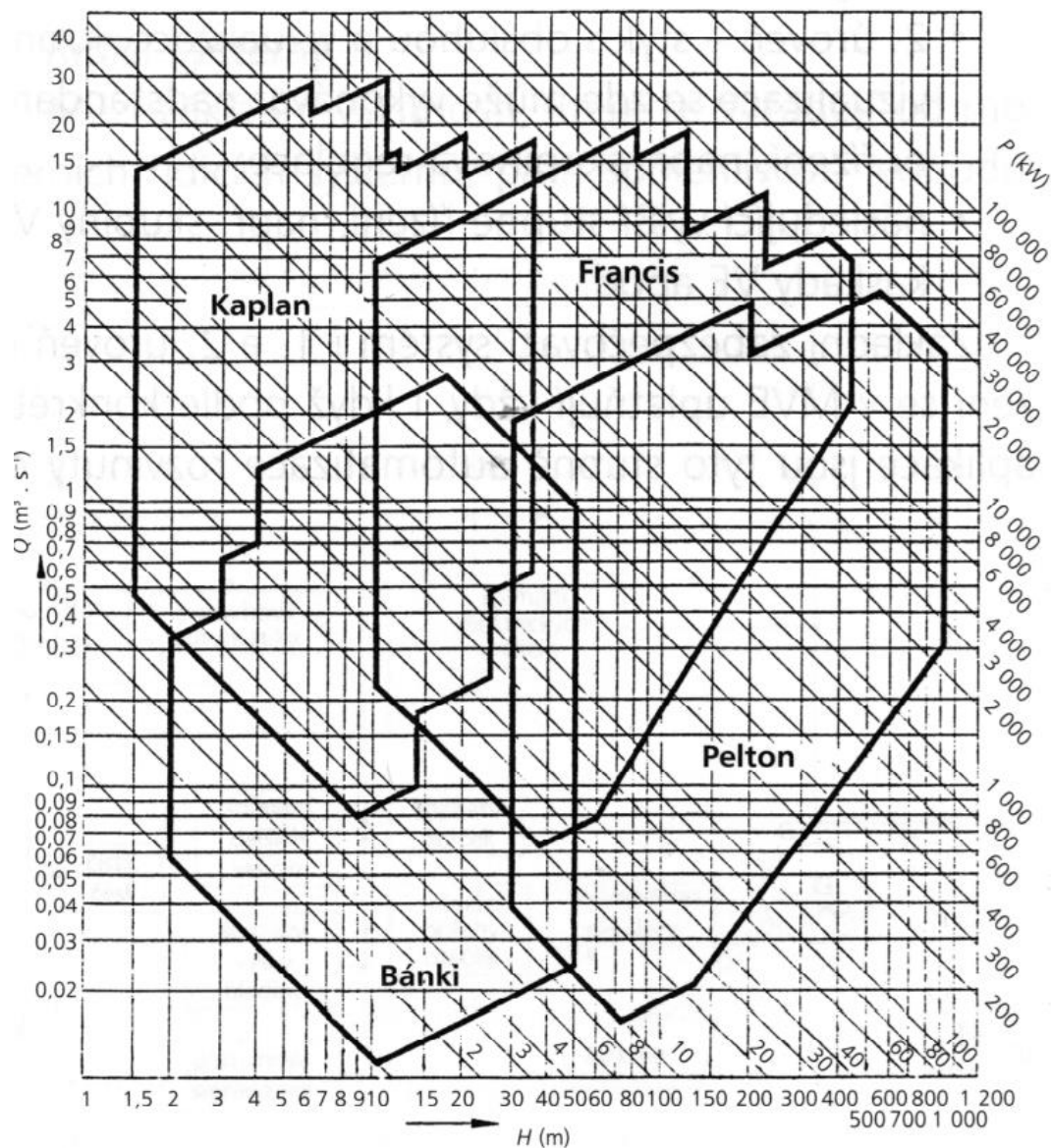
2.4.3.1 Rovnotlaké turbíny

Také nazývané jako akční turbíny. V přívodních kanálech se mění celá potenciální energie na kinetickou. Mezi rovnotlaké turbíny patří například Peltonova turbína, nebo Bánkiho turbína. Tyto turbíny se využívají pro nižší průtoky. Peltonova turbína pro vyšší spády a Bánkiho turbína pro nižší spády. Viz Obr. 2-19.²⁹

2.4.3.2 Přetlakové turbíny

Také nazývané jako reakční turbíny. V přívodních kanálech se mění jen část potenciální energie. Kvůli vysoké rychlosti vody při odtoku z oběžného kola je v ní stále do 30% energie. Využívá se proto zpětného sání. Mezi přetlakové turbíny patří například Francisova turbína, nebo Kaplanova turbína. Jsou využitelné pro vyšší průtoky, než byly rovnotlaké turbíny. Francisova turbína je využívána pro vyšší spády než Kaplanova turbína. Viz Obr. 2-19. Francisova turbína se také využívá jako reverzibilní turbína. Umožňuje pracovat jak v turbínovém, tak i v čerpadlovém režimu.²⁹

²⁹ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.



Obr. 2-19 – Graf závislosti průtoku a výkonu turbíny na výšce spádu s vyznačenými oblastmi použití Kaplanovy, Francisovy, Bánkiho a Peltonovy turbíny³⁰

2.4.4 Druhy vodních elektráren

U vodních elektráren máme vícero dělení. Jedním z nich je dle tvorby spádu.

- Podpřehradové VE
- Jezová VE
- Derivační VE
- PVE

U podpřehradové VE je spád tvořen přehradou. Tyto vodní elektrárny se využívají jako regulační. Jezové VE mají spád tvořený jezem. Bývají využívány jako průtočná elektrárna. Derivační VE mají

³⁰ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 136. ISBN 978-80-01-04937-2.

spád tvořený odvodem vody z původního koryta přes turbínu zpět do koryta. U derivačních VE rozlišujeme derivační VE s volnou hladinou nebo s tlakovým přivaděčem. Což může být například potrubí, nebo tlaková štola. Spád PVE je tvořen mezi horní a dolní nádrží. Využíváme je jako regulační elektrárnu.³¹

Další způsob dělení VE je dle diagramu zatížení elektrizační soustavy. Dělíme je na:

- VE pracující v základním pásmu diagramu zatížení elektrizační soustavy
- VE pracující ve špičkovém a pološpičkovém diagramu zatížení elektrizační soustavy

Do VE pracující v základním pásmu diagramu zatížení elektrizační soustavy řadíme průtočné VE. Tyto VE využívají současnou hodnotu průtoku.

Do VE pracující ve špičkovém a pološpičkovém diagramu zatížení elektrizační soustavy řadíme regulační VE. Tyto VE využívají potenciální energii vody jako způsob akumulace. Při levné elektřině načerpají vodu do horní nádrže. V časech, kdy je potřeba elektrická energie tak pustí vodu z horní nádrže přes turbínu do dolní nádrže.

2.5 Geotermální zdroje energie

2.5.1 Úvod

Dalším ze zdrojů obnovitelné energie je samotné teplo ze země. Teplo v zemské kůře vzniká při pohybu litosférických desek, nebo také při štěpení prvků. Jako je například uran, thorium, draslík.

Při využívání tepla ze země dělíme systémy dle teploty zdroje. Dělíme je na:

- Nízkoteplotní
- Středně teplotní
- Vysokoteplotní

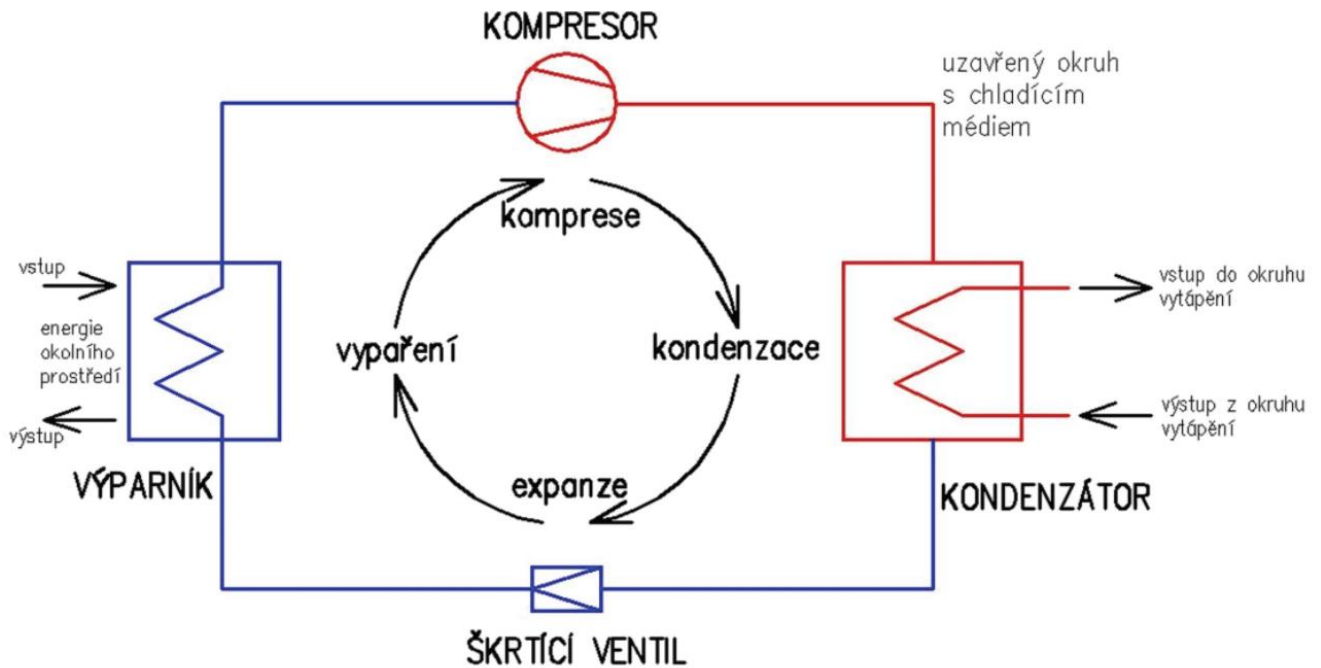
2.5.2 Využití nízkoteplotních zdrojů

Za nízkoteplotní zdroje považujeme takové zdroje, které mají teplotu do 100 °C. Využívají se jako zdroje tepla.

Nízkoteplotní zdroje tepla využívá tepelné čerpadlo. Tepelné čerpadlo pracuje se skupenskými přeměnami. Tepelné čerpadlo má dva okruhy. Uzavřený okruh, ve kterém médium přijímá teplo ze zdroje. Médium pak stlačíme pomocí kompresoru a přivedeme do kondenzátoru. Kde nám zkapalní a předá teplo do druhého okruhu. Přes škrtkovací ventil pak jde médium zpět ke zdroji, kde se celý oběh znovu

³¹ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

opakuje. Druhý okruh, který přijímá teplo v kondenzátoru nám pak jde do našeho objektu, který chceme vytopit.³²



Obr. 2-20 - Technologické schéma tepelného čerpadla³³

Dle zdroje tepla a média v druhém okruhu dělíme tepelné čerpadlo na:

- země – voda
- voda – voda
- vzduch – voda

Pro popis, jak je tepelné čerpadlo účinné používáme topný faktor COP. Ten je definován jako:

$$COP = \frac{P_{te}}{P_e} [-]$$

(2-2)

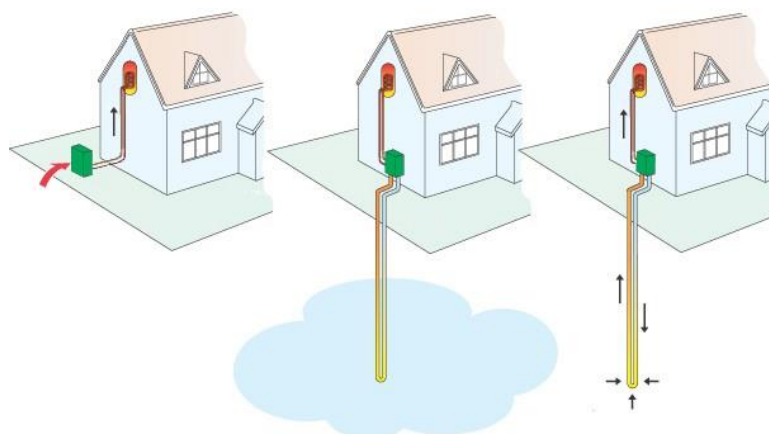
kde:

P_{te} je tepelný výkon [W]

P_e je elektrický příkon [W]

³² BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

³³ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 106. ISBN 978-80-01-04937-2.



Obr. 2-21 - (zleva) Tepelné čerpadlo vzduch – voda, voda - voda, země - voda³⁴

2.5.2.1 Tepelné čerpadlo země – voda

Tepelné čerpadlo země – voda má jako zdroj tepla ze země. To je získáno buď pomocí vrtu, nebo trubek, které jsou horizontálně pod povrchem. Mezi výhody tepelného čerpadla, které využívá vrty řadíme to, že nám jeho provoz neovlivňuje venkovní teplota. Takovýto řešení je, ale nákladnější na postavení kvůli vrtu, který něco stojí. Při využití trubek pod povrchem nemusíme dělat žádný vrt a je tedy levnější na realizaci. Rozloha pozemku nám, ale ovlivňuje dosažitelný topný výkon.³⁵

2.5.2.2 Tepelné čerpadlo voda – voda

Tepelné čerpadlo voda – voda má často jako zdroj podzemní vodu, která je získána vrtem nebo studní. Jako výhodou tohoto systému můžeme brát to, že teplo získané z podzemních vod bývá málo proměnlivé. Má vysoký topný faktor, jeho provoz nezávisí na venkovní teplotě. Jako nevýhodu můžeme považovat, že je potřeba vrt, nebo studna. Tudíž se nám zvýší náklady na realizaci a dále musíme nalézt zdroj podzemní vody.³⁵

2.5.2.3 Tepelné čerpadlo vzduch – voda

Teplo odebíráme ze vzduchu. Oproti ostatním je tento systém levnější. Topný faktor bývá, ale závislý na teplotě vzduchu, je tedy kolísavý.³⁵

2.5.3 Využití středně teplotních zdrojů

Řadíme mezi ně zdroje s teplotou od 100 °C do 150 °C. Jsou využívány jako zdroje tepla a pro výrobu elektrické energie. Při potřebě vytápění větších objektů a u jiných požadavků, kde by nám nestačili nízkoteplotní zdroje, využíváme vrty. Z jednoho takového vrtu pak čerpáme podzemní vodu, kterou vedeme do tepelného čerpadla, nebo jiného zařízení pro získání tepla a poté vrátíme ochlazenou vodu zpět pomocí druhého vrtu.³⁵

³⁴ CMC HEATING. Typy konfigurací tepelných čerpadel. CMC-heating [online]. Kučerov: CMC HEATING [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.cmc-heating.cz/poradna/tepelne-čerpadlo/typy-konfiguraci-tepelnych-čerpadel/>

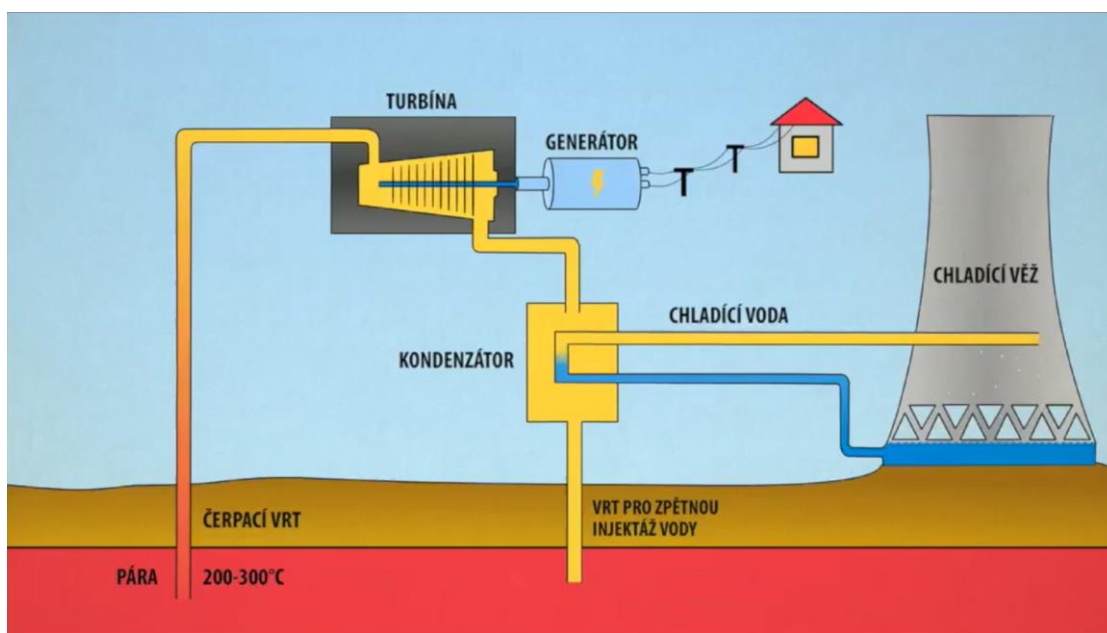
³⁵ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profí Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

2.5.4 Využití vysokoteplotních zdrojů

Řadíme zde zdroje s teplotou vyšší než 150 °C. Jsou využívány hlavně pro výrobu elektrické energie pomocí turbogenerátoru, podobně jako u ostatních elektráren, kde využíváme páru k roztáčení turbíny.

2.5.4.1 Metoda suchých par

U této metody čerpáme pomocí vrtů páru. Ta je pak využita v turbogenerátoru, kde se pomocí ní vyrobí elektrická energie. Mezi její výhody patří to, že nemusíme řešit vracení získané páry zpět do podzemí. Pro zlepšení účinnosti cyklu se ale pára vrací zpět.³⁶



Obr. 2-22 – Technologické schéma elektrárny využívající metodu suchých par³⁷

2.5.4.2 Metoda mokrých par

Pomocí vrtů získáváme podzemní vodu, která je dále přiváděna na povrch. Voda nám na povrchu expanduje a vzniká pára. Při této metodě často nezískáváme v elektrárně jen elektrickou energii, ale i teplo pomocí kogeneračních jednotek. Dosahujeme účinnosti v rozmezí 12–25 %.³⁶

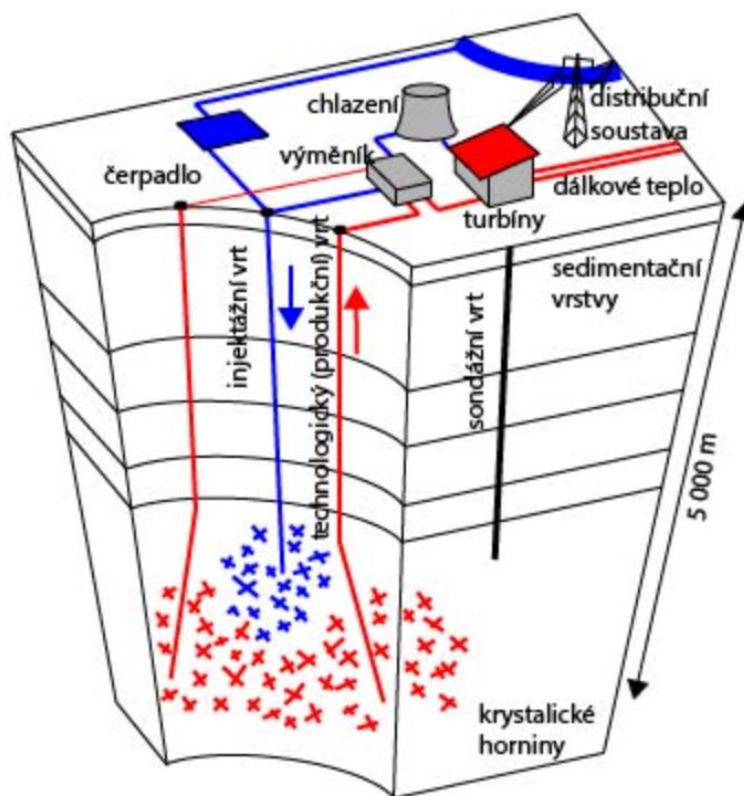
2.5.4.3 Hot dry rock

Při této metodě využíváme podzemních výměníků tepla. Hloubka vrtu bývá mezi 5–6 km. Ta nám závisí na tom, jak velkou teplotu média chceme. Do podzemních výměníků přivádíme ochlazenou vodu a odvádíme vodu o požadované teplotě zpět na povrch. Dle místa se nám pak liší poměr vrtů, pomocí kterých přivádíme a odvádíme vodu.³⁸

³⁶ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

³⁷ DŘÍMAL, Petr. Tepelná čerpadla, geotermální energie [online]. Code Creator s.r.o. 2016. [cit.25.3.2022]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/03.html>

³⁸ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.



Obr. 2-23 – Řez zemí s elektrárnou využívající metodu hot dry rock³⁹

2.6 Biomasa

2.6.1 Úvod

Biomasa neboli hmota biologického původu je další z obnovitelných zdrojů energie. V této kapitole popíšu dělení a příklady, které se využívají. Jedna z jejich výhod je menší hodnota spalování CO₂ do ovzduší.

2.6.2 Biomasa rostlinného původu

2.6.2.1 Zemědělské plodiny

Do zemědělských plodin můžeme například řadit obilniny, kukuřici, řepku olejku, cukrovou řepu a trvalé travní porosty. Obilniny jsou jednoleté nebo víceleté byliny. Kromě využití obilnin a dalších ze zemědělských plodin k výrobě potravin využíváme méně kvalitní zrna a zbytkovou slámu pro energetické účely.

³⁹ DŘÍMAL, Petr. Tepelná čerpadla, geotermální energie [online]. Code Creator s.r.o. 2016. [cit.25.3.2022]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/03.html>



Obr. 2-24 - Obilí⁴⁰

U kukuřice využíváme zrna pro energetické účely, nebo siláž (krmivo pro zemědělské zvířata) pro výrobu bioplynu. Z řepky olejky vyrábíme řepkový olej. To může být následně použito jako biopalivo.⁴¹



Obr. 2-25 - Řepka olejka⁴²

Z výroby cukru pomocí cukrové řepy vznikají různé vedlejší produkty a odpady. Ty se využívají k výrobě bioetanolu. Trvalé travní porosty jsou využívány pro výrobu bioplynu a tuhých paliv.⁴¹

2.6.2.2 Cíleně pěstované byliny

Kromě zemědělských plodin máme i byliny, které pěstujeme hlavně kvůli energetickým účelům. Byliny, které by se daly využít pro energetické účely jsou například Chrastice rákosovitá, Ozdobnice čínská, Čirok, Konopí seté, Krmný šťovík, Psineček velký, Kostřava rákosovitá. Bývají využívány jak pro spalování, tak i pro výrobu biopaliva.⁴¹

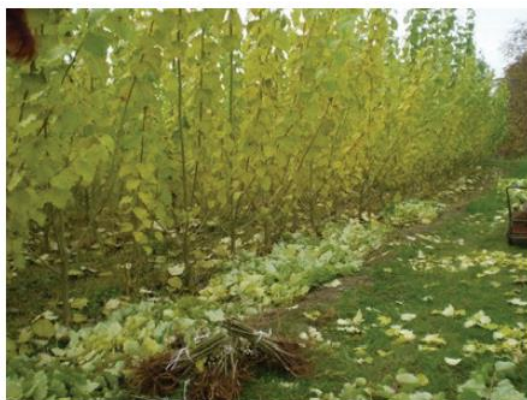
2.6.2.3 Dřeviny

Stejně jako u bylin i u dřevin máme druhy, které se pěstují cíleně proto, že mají rychlý růst a jsou vhodné pro energetické účely. Jsou to například topoly a vrby. Kromě palivového dříví sem patří i dřevní štěpka.⁴¹

⁴⁰ EWING, Keith. Wheat [online]. Mountain View.: Ewing, 2008 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/kewing/9538208117>

⁴¹ BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

⁴² MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 136. ISBN 978-80-01-04937-2.



Obr. 2-26 - Japonské topoly⁴³

2.6.3 Biomasa živočišného původu

Pro spalování, nebo výrobu biopaliva a bioplynu se používá kafilerní tuky, nebo odpady z chovu hospodářských zvířat. Do toho můžeme zařadit například hnůj, močůvka, kejda.⁴³

⁴³ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 90. ISBN 978-80-01-04937-2.

3 Záložní zdroje elektřiny

3.1 Dělení spotřebitelů při stavu nouze v elektroenergetice

Česká vyhláška číslo 80/2010 Sb. o stavu nouze v elektroenergetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu rozděluje spotřebitele do regulačních stupňů 1 až 7.

Do těchto regulačních stupni jsou spotřebitele dělení dle způsobu ovládání spotřebičů pomocí hromadného dálkového ovládání, jmenovité hodnoty napětí, ke kterému jsou spotřebitele připojeni a rezervovaného příkonu. Do prvního stupně řadíme všechny spotřebitele, u kterých se spotřebiče ovládají pomocí hromadného dálkového ovládání, nebo pomocí jiného systému pro řízení spotřeby. Do stupňů 2 až 6 řadíme spotřebitele dle toho, zda jsou připojeni k přenosové síti, k distribuční síti s napětím vyšším než 1 kV a dle rezervovaného příkonu, nebo k distribuční síti s napětím menším než 1 kV a dle hodnoty jističe před elektroměrem. Do sedmého regulačního stupně řadíme všechny spotřebitele. Do regulačního stupně 2 až 7 neřadíme spotřebitele, kteří se zabývají vybranými činnostmi. Patří mezi ně například zdravotnictví, telekomunikace, dodávka pitné vody, obrana státu, těžba v hlubinných dolech. Celý výpis činností lze najít ve vyhlášce číslo 80/2010 Sb, příloha číslo 1, odstavec II, bod 12.⁴⁴

Pokud je vyhlášen daný regulační stupeň, znamená to omezení odebíraného výkonu. Z tohoto důvodu, pokud by nás ovlivnilo dané snížení výkonu, musíme řešit dodávku energie ze záložního zdroje energie, který by tento pokles pokryl.

3.2 Vlastnosti záložního zdroje elektřiny

Tato kapitola se bude věnovat důležitým vlastnostem záložního zdroje elektřiny, které nám pomůžou při výběru vhodného záložního zdroje elektřiny pro naše konkrétní elektrické zařízení.

3.2.1 Výkon

Výkon záložního zdroje elektřiny je důležitým ukazatelem, jak moc výkonná zařízení dokážeme napájet. Při nedostatečném výkonu bychom pak měli problémy s napájením námi požadovaných elektrických zařízení. Činný výkon se udává ve wattch [W]. Zdánlivý výkon se udává ve voltampérech [VA].

⁴⁴ ČESKO. Vyhláška č. 80/2010 Sb., o stavu nouze v elektroenergetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 3. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-80>

3.2.2 Čas odezvy

Čas odezvy nám udává, jak rychle záložní zdroj elektřiny zareaguje na výpadek a přepne se napájení z hlavního zdroje na záložní. U některých záložních zdrojů elektřiny se můžeme setkat i s tím, že čas odezvy je nulový.

3.2.3 Účinnost záložního zdroje elektřiny

Záložní zdroje elektřiny stejně jako ostatní zařízení pracují s nějakou účinností. Účinnost je dána poměrem užitečného výkonu, který se využije na požadovanou věc. V tomto případě k dodání elektrické energie a příkonem, kterým to napájím. Příkon je pak snížen o ztráty. Původ ztrát závisí na daném druhu záložního zdroje elektřiny. Můžou to být jak elektrické ztráty, tak i třeba mechanické s kterými se setkáváme například u elektrocentrály.

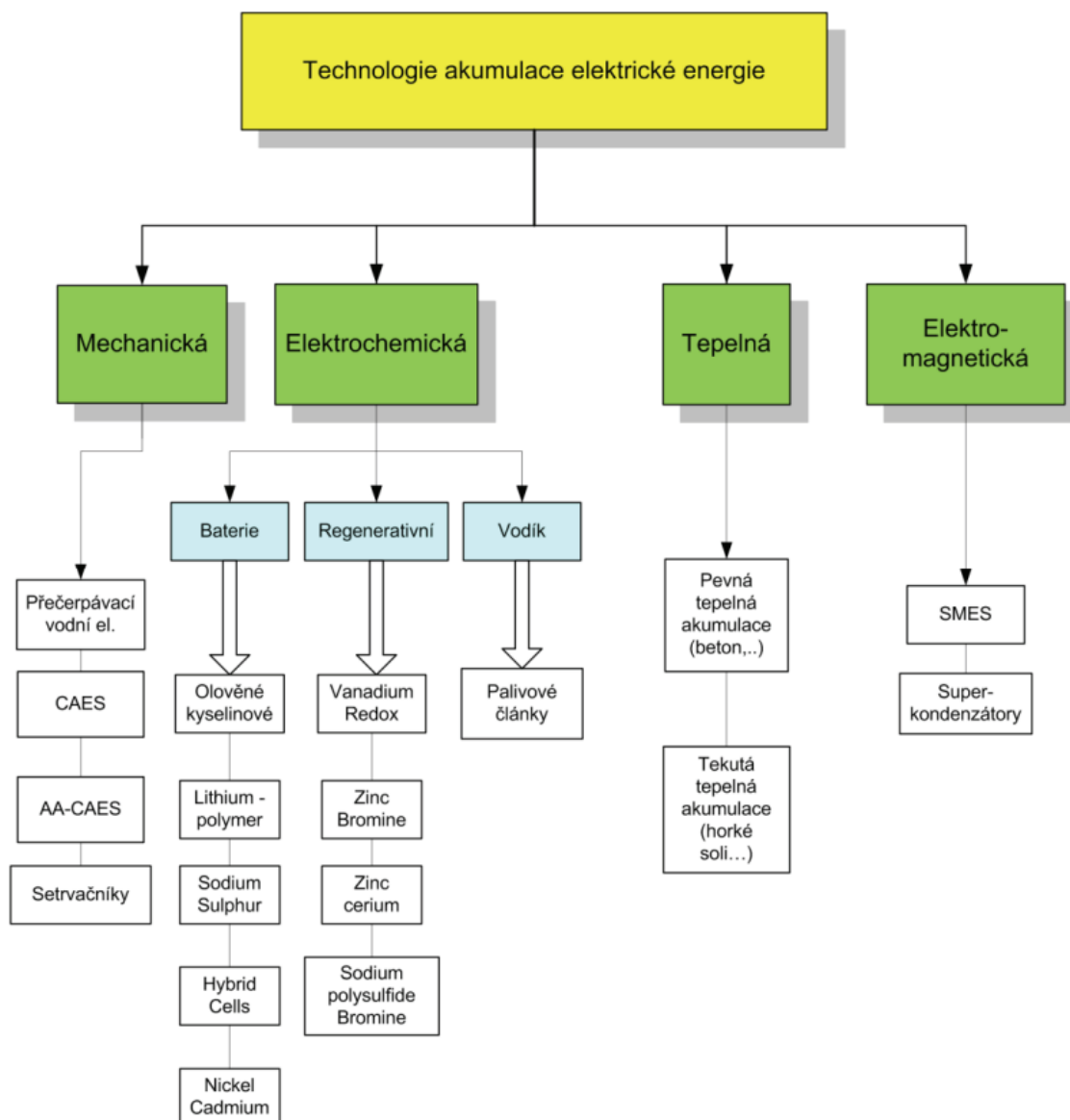
3.2.4 Doba provozu na záložním zdroji elektřiny

Další důležitá vlastnost záložního zdroje elektřiny je jeho doba provozu, po kterou ho můžeme využívat jako zdroj elektřiny. Při výběru správného typu záložního zdroje elektřiny musíme tohle brát v úvahu, jinak bychom mohli vybrat záložní zdroj, který by výkonově utáhl naše požadovaná elektrická zařízení, ale nemusel by to dokázat po námi požadovanou dobu.

3.3 Zdroje pro akumulaci elektrické energie

Jedna z možností, která se u záložních zdrojů elektřiny využívá je akumulace elektrické energie. V této části si povíme o různých zdrojů elektrické energie, které jsou na různých principech. Povíme si tu o mechanické, elektrochemické i o elektromagnetické akumulaci elektrické energie. Popíšeme si tu akumulátory a palivové články, ty nám patří pod elektrochemickou akumulaci. U mechanické akumulaci si popíšeme setrvačníky a u elektromagnetické akumulaci si popíšeme superkondenzátory. Nejsou to jedinými zdroji pro akumulaci elektrické energie. V energetice jeden ze známých zdrojů pro akumulaci energie je přečerpávací elektrárna. Další z možných zdrojů můžeme vidět na Obr. 3-1.⁴⁵

⁴⁵ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.



Obr. 3-1 - Rozdělení akumulčních soustav⁴⁶

3.3.1 Akumulátory

Akumulátory, také nazývány jako sekundární články, jsou elektrochemickými zdroji. Oproti primárním článkům umožňují opakované nabití a vybití. Máme velké množství druhů akumulátorů, které dělíme dle jejich principu. Jedni z rozšířených akumulátorů, které zde i krátce popíšu jsou olověné (Pb), nikl-kadmiový (NiCd), nikl-metal hydridový (NiMH), lithium-iontový (Li-ion).⁴⁷

⁴⁶ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s212. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁴⁷ MARKIEWICZ, Henryk a Antoni KLAJN. Improving Reliability with Standby Power Supplies [online]. Wrocław University of Technology: EUROPEAN COPPER INSTITUTE, 2003 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18505986/improving-reliability-with-standby-power-supplies>

3.3.1.1 *Pb akumulátory*

Jedna z velice rozšířených technologií. Vynikají svojí nízkou cenou. Novější typy olověných akumulátorů jsou bezúdržbové. Mohou dosahovat až 2000 cyklů. Nevýhodou u nich je jejich nízká hustota energie. Dlouhá doba nabíjení a vysoká hmotnost.⁴⁸

3.3.1.2 *NiCd akumulátory*

Mezi výhody NiCd akumulátoru můžeme považovat její odolnost, dlouhou životnost. Dokáže být rychle nabitá s nízkou zátěží pro akumulátor. Může dosahovat i 1000 cyklů. Mezi její nevýhody můžeme považovat její nižší hustotu energie oproti novějším technologiím. Má paměťový efekt a je problém s likvidací toxickým kadmium.⁴⁹

3.3.1.3 *NiMH akumulátory*

Mezi výhody NiMH akumulátorů řadíme její vyšší kapacitu oproti NiCd. Má jí vyšší až o 30–40 %. Menší paměťový efekt oproti NiCd. Může dosahovat i 500 cyklů. Mezi její nevýhody řadíme citlivost na přebíjení. Při rychlém nabíjení vytváří víc tepla oproti NiCd a také jí trápí samovybíjení.⁴⁹

3.3.1.4 *Li-ion akumulátory*

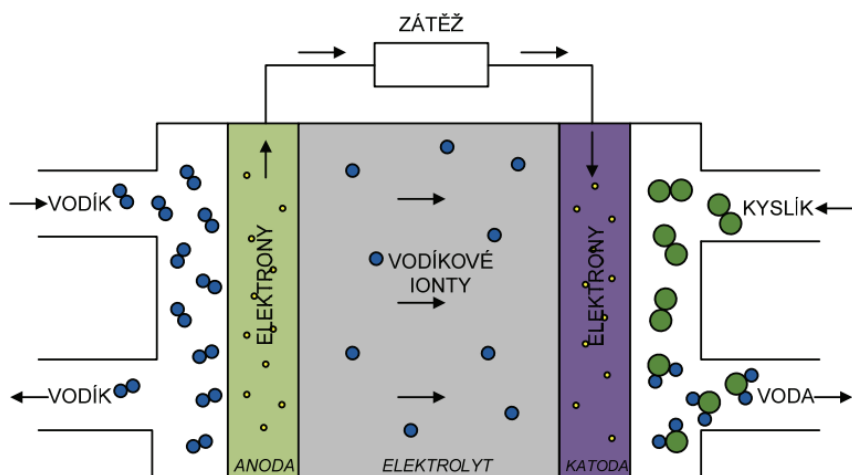
Mezi výhody Li-ion akumulátorů řadíme její vysokou kapacitu a nízký vnitřní odpor. Tedy netrpí tolik samovybíjením jako NiMH a NiCd. Mezi její nevýhody řadíme to, že je potřeba ochranný obvod, protože při vyšších teplotách degraduje.⁴⁹

3.3.2 **Palivové články**

Palivový články jsou další z elektrochemických zdrojů, které jsou využívány při záložních zdrojů elektřiny. Oproti akumulátorů zde přivádíme palivo, který se liší dle typu palivového článku. Do palivového článku přivádíme aktivní materiál. Na Obr. 3-2 máme typ palivového článku u kterého využíváme vodík (H_2) a kyslík (O_2). Vodík je přiváděn k anodě, kde chemickou reakcí vzniká iont vodíku H^+ a elektron e^- . Ionty vodíku jsou elektrolytem přiváděni ke katodě. Elektron je přiváděn ke katodě přes zátěž. V katodě poté kyslík O_2 reaguje s iontem vodíků H^+ a elektronem. Vzniká voda, která je poté odváděna.⁴⁸

⁴⁸ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁴⁹ BUCHMANN, Isidor. Battery University [online]. Richmond, BC: Cadex, c2022 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/>



Obr. 3-2 - Princip palivového článku⁵⁰

3.3.3 Setrvačníky

Setrvačníky jsou mechanickými zdroji pro akumulaci elektrické energie. Setrvačníky akumulují elektrickou energii tím, že udržují svoji otáčivou rychlost. V případě potřeby se pak využije k výrobě elektrické energie, která má proměnnou frekvenci a napětí. To je měničem změněno na požadovanou konstantní hodnotu.⁵¹

3.3.4 Superkondenzátory

Superkondenzátory jsou elektromagnetickými zdroji pro akumulaci elektrické energie. Jejich vysoké kapacity oproti klasickým kondenzátorům jako jsou svitkové, elektrolytické je volba materiálů elektrody. Využívá se zde uhlík, uhlíková vlákna, nebo oxid rutheničitý, kde se využívá jejich vyšší aktivní povrch oproti klasickým materiálům.⁵¹

Mezi výhody považujeme jejich nižší vnitřní odpor, vysoké krátkodobé dodávky výkonu, velkého množství cyklů. Nevýhodou u superkondenzátorů je nízká hustota energie a měnící se napětí v závislosti na nabití kondenzátoru.⁵⁰

3.4 Bateriové uložení

Bateriové uložení jsou elektrochemické zdroje. Jsou to jedna z využívaných záložních zdrojů energie, která se využívají v průmyslové oblasti. Nevíme je jenom v průmyslové oblasti, ale setkáváme se

⁵⁰ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 153. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁵¹ MARKIEWICZ, Henryk a Antoni KLAJN. Improving Reliability with Standby Power Supplies [online]. Wrocław University of Technology: EUROPEAN COPPER INSTITUTE, 2003 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18505986/improving-reliability-with-standby-power-supplies>

s nimi i u domácností a také jako záložní zdroje elektřiny pro obnovitelné zdroje energie jako je například solární elektrárna.

3.4.1 Složení bateriového uložště

Samotné bateriové uložště je složeno jak ze samotného zdroje elektrické energie. Tak i elektroniky. Bateriové uložště můžeme rozdělit na tyto části:

- Zdroj elektrické energie
- Elektronika pro správu baterií (dále také „BMS“ – Battery energy system)
- Měníče
- Řídící elektronika (dále také „EMS“ – Energy management system)

Zdroj elektrické energie jsou akumulátory. Typy akumulátorů, které by se v bateriovém uložště mohli objevit byly popsány v 3.3.1. BMS má za cíl zabezpečit bezpečnost akumulátorů. Měří vlastnosti akumulátorů jako je například kapacita, jak moc akumulátor zestárl. Měníče využíváme pro přeměnu stejnosměrného napětí z akumulátorů na střídavé napětí pro napájení spotřebičů a také nabíjení ze střídavého napětí. EMS má za cíl řízení celého bateriového uložště. Řídí měnič dle potřeby tak, aby bateriové uložště bylo buď nabíjeno, nebo sloužilo jako zdroj elektrické energie.⁵²

3.5 UPS

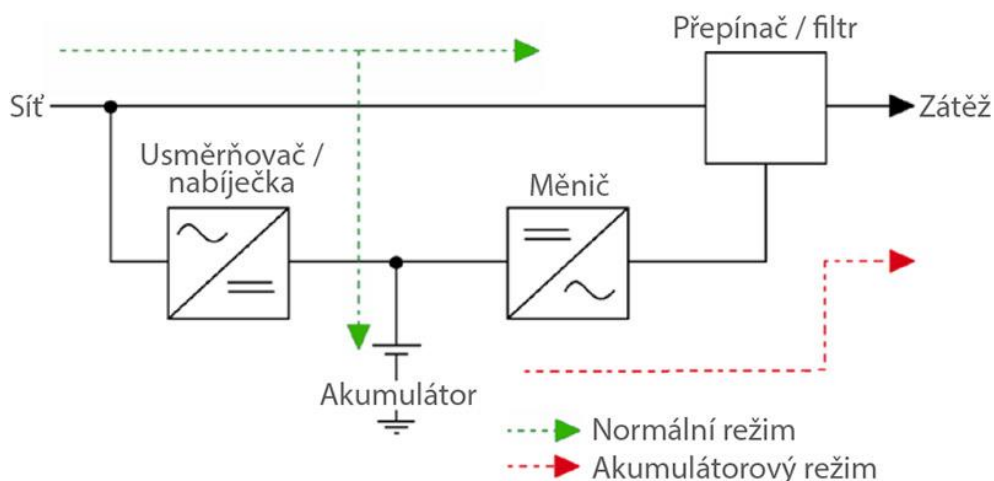
UPS je jedna z dalších záložních zdrojů elektřiny, která se využívá. Můžeme se s nimi setkat jak v průmyslové oblasti, tak i v domácnostech, kde se využívají. Oproti bateriovému uložště, který se využívají při výpadku elektřiny lze pomocí UPS chránit náš spotřebič i před změnou frekvencí v síti a dalších poruch. V této části popíšu základní typy UPS, které existují.

3.5.1 UPS typu pasivní záloha

UPS typu pasivní záloha je z těchto tří typů nejlevnější. Chrání proti výpadkům napětí, poklesu a kolísání napětí. Doba odezvy není nulová, ale bývá v řádech ms. UPS typu pasivní záloha funguje ve dvou režimech. V prvním režimu máme spotřebič přímo připojený do sítě. V případě poruchy se pak pomocí přepínače přepne na napájení přes baterii (nebo jiný typ zdroje), která byla v prvním režimu nabíjena. Tento typ se nehodí do míst s horší kvalitou elektrické sítě. Nedokáže se vypořádat s podpětím, přepětím a dalšími poruchy.⁵³

⁵² SOLOVEV, Andrey a Anna PETROVA. Efficient Energy Management and Energy Saving with a BESS (Battery Energy Storage System). Integra sources [online]. Almaty: Integra sources, 2021 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>

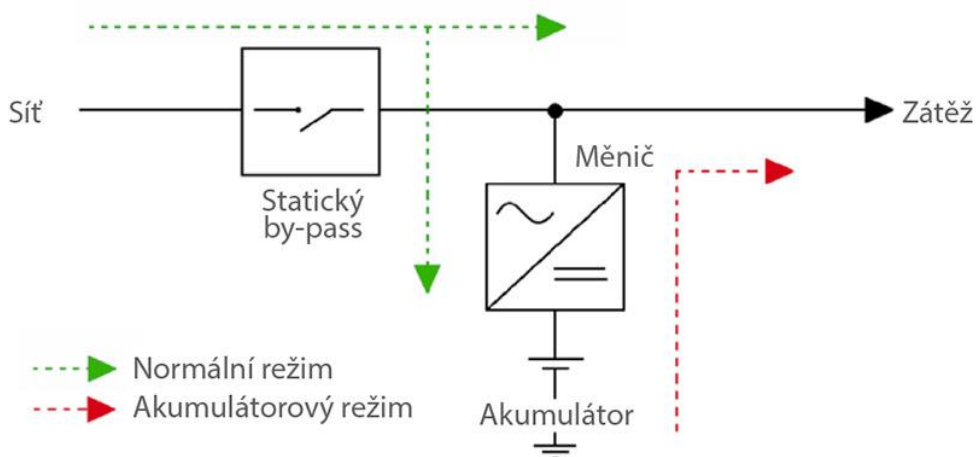
⁵³ ELEKTROPRŮMYSL. Topologie zdrojů nepřerušovaného napájení (UPS). Informace ze světa průmyslu a elektrotechniky - ElektroPrůmysl.cz [online]. Hajany: elektroprůmysl, 2019 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektricke-a-zalozni-zdroje-energie/topologie-zdroju-nepreusovaneho-napajeni-ups>



Obr. 3-3 - UPS typu pasivní záloha⁵⁴

3.5.2 UPS typu interakce se sítí

UPS typu interakce se sítí dokáže spotřebič chránit nejen vůči výpadku, poklesu a kolísání napětí, ale i vůči podpětí a přepětí. To je docíleno odbočkovým transformátorem. Při normálním provozu je spotřebič napájen ze sítě přes měnič v UPS. V případě poruchy je napájen z baterie, který byl předtím nabíjen. Může obsahovat i třetí režim, kde dokážeme překlenout UPS a napájet spotřebič přímo ze sítě v případě poruchy UPS, nebo jeho údržby. Oproti UPS typu dvojitá konverze bývá levnější, ale nedokáže v případě poruchy měnit frekvenci nezávisle na síti.⁵⁴



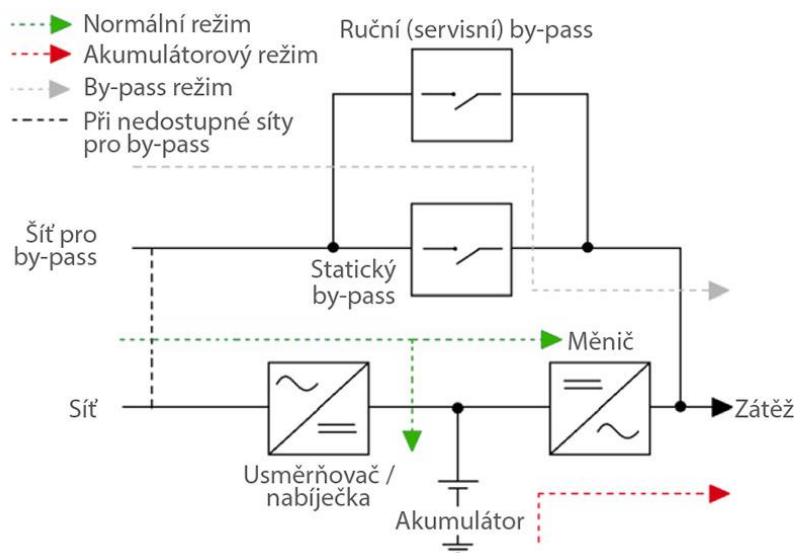
Obr. 3-4 - UPS typu interakce se sítí⁵⁴

3.5.3 UPS typu dvojitá konverze

UPS typu dvojitá konverze dokáže oproti předchozím typu i měnit frekvenci nezávisle na síti. Další výhodou oproti UPS typu pasivní záloha je i ta, že má nulovou odezvu. V normálním režimu je spotřebič

⁵⁴ ELEKTROPRŮMYSL. Topologie zdrojů nepřerušovaného napájení (UPS). Informace ze světa průmyslu a elektrotechniky - ElektroPrůmysl.cz [online]. Hajany: elektroprůmysl, 2019 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektricke-a-zalozni-zdroje-energie/topologie-zdroju-neprerusovaneho-napajeni-ups>

napájen přes usměrňovač a střídač ze sítě. Baterie je napájena ze sítě přes usměrňovač. V případě poruchy je spotřebič napájen z baterie. Podobně jako UPS typu interakce ze sítě je i u tohoto typu možné překlenout UPS v případě poruchy, nebo jeho údržby. Mezi jeho nevýhodu můžeme brát jeho menší účinnost, kvůli tomu, že v normálním režimu je spotřebič napájen přes usměrňovač a střídač.⁵⁵



Obr. 3-5 - UPS typu dvojitá konverze⁵⁵

3.6 Elektrocentrála

Elektrocentrála, také nazývaná jako motorgenerátor je zařízení, které slouží k výrobě elektrické energie za pomoci spalovacího motoru. Jedním z možných paliv do spalovacího motoru jsou například benzín, nebo nafta. Elektrocentrála nám slouží jako záložní zdroj energie v případě, že by se vyskytl výpadek v elektrické síti. Neslouží nám jenom jako záložní zdroj energie, ale také se dá použít jako zdroj elektrické energie v oblastech s nedostupností elektrické energie ze sítě.

Provoz elektrocentrály můžeme rozdělit na dvě skupiny. Obě skupiny se mezi sebou liší dobou odezvy, která se může pohybovat mezi 0 až 180 sekund. U první skupině elektrocentrála pracuje jenom při poruše. Při normálním provozu jsou zařízení napájené ze sítě. V případě poruchy se buď manuálně, nebo automaticky spustí elektrocentrála. Pomocí akumulátoru se nastartuje spalovací motor. U tohoto způsobu se doba odezvy pohybuje mezi pár sekundy až 180 sekund. Pro snížení časové odezvy se zahřívá při normálním provozu, kdy nám motor nepracuje na provozní teploty.⁵⁶

Ve druhé skupině figuruje setrvačnick, díky němu můžeme dosáhnout i nulové časové odezvy. Jedním z možným způsobem, jak tato skupina funguje je, že při normálním provozu je spotřebič napájen ze sítě

⁵⁵ ELEKTROPRŮMYSL. Topologie zdrojů nepřerušovaného napájení (UPS). Informace ze světa průmyslu a elektrotechniky - ElektroPrůmysl.cz [online]. Hajany: elektroprůmysl, 2019 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektricke-a-zalozni-zdroje-energie/topologie-zdroju-nepreusovaneho-napajeni-ups>

⁵⁶ MARKIEWICZ, Henryk a Antoni KLAJN. Improving Reliability with Standby Power Supplies [online]. Wrocław University of Technology: EUROPEAN COPPER INSTITUTE, 2003 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18505986/improving-reliability-with-standby-power-supplies>

a elektromotor pohání setrvačnick a generátor, které jsou roztáčeny na dané otáčky. V případě poruchy elektromagnetická spojka spojí setrvačnick se spalovacím motorem, který se nastartuje a pohání generátor. U tohoto způsobu dosahujeme času odezvy mezi 0,5 až 2 sekundy. U druhého způsobu není spotřebič napájen přímo ze sítě, ale přes generátor z elektrocentrály, který je poháněn elektrickým motorem ze sítě. V případě poruchy nám setrvačnick dodá přes elektromagnetickou spojku energii ke startu spalovacího motoru, který bude pohánět generátor. Dosahujeme i nulové časové odezvy.⁵⁷



Obr. 3-6 - dieselový motorgenerátor⁵⁸

⁵⁷ MARKIEWICZ, Henryk a Antoni KLAJN. Improving Reliability with Standby Power Supplies [online]. Wrocław University of Technology: EUROPEAN COPPER INSTITUTE, 2003 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18505986/improving-reliability-with-standby-power-supplies>

⁵⁸ XOCOLATL. MAN diesel stationary engine and generator, now on outdoor museum display. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Engine-generator#/media/File:NagoldAggregat.jpg>

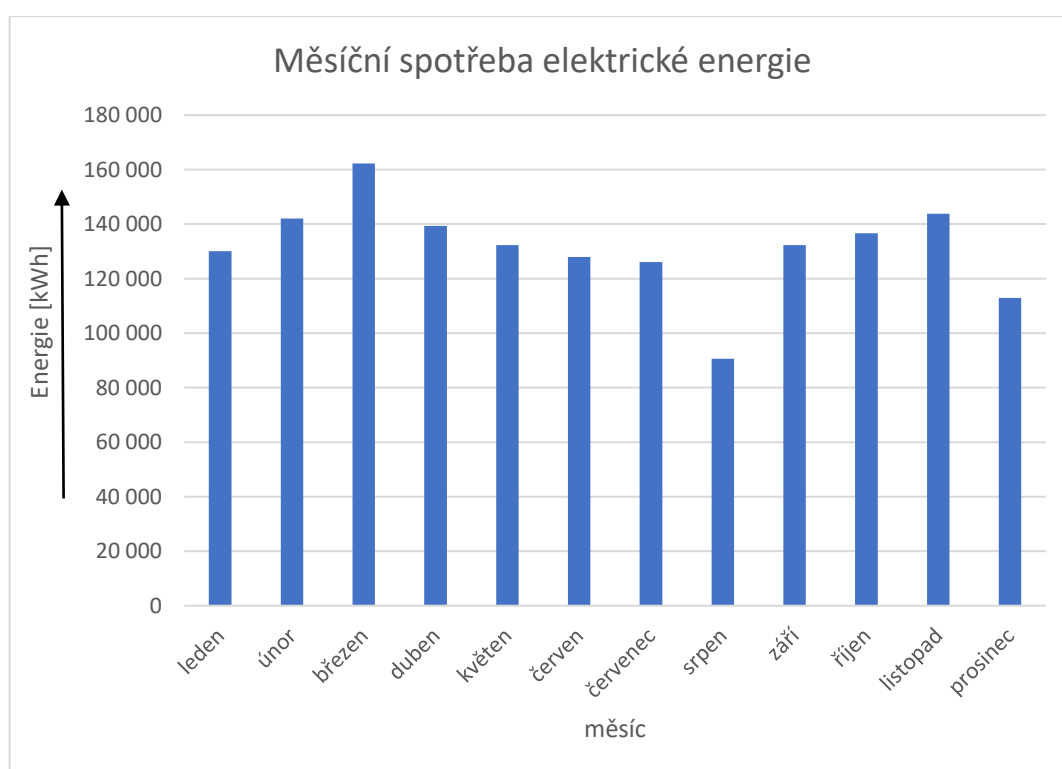
4 Návrh FV elektrárny a doporučení záložního zdroje elektřiny pro průmyslový objekt

V této části bakalářské práce se budu zabývat návrhem fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt. Bude zde popsán podnik, pro který je tento návrh určen. Umístění FV panelů, dopadající sluneční ozáření, volba instalovaného výkonu FV elektrárny, jaké FV panely a střídače byly zvoleny a jaký typ záložního zdroje elektřiny bych vybral.

4.1 Popis podniku

Návrh bude proveden pro průmyslový objekt. Podnik se zabývá kovovýrobou a jede v nepřetržitém provozu. Mezi jeho produkty patří například odpadní systémy, sudy, výklopné kontejnery, nádoby na odpad, tlakové láhve. Historie podniku se datuje až do 19. století. Momentálně má 350 zaměstnanců a přes 10 000 zákazníků ve 40 zemích po celém světě. Podnik sídlí v ústeckém kraji.

Měsíční spotřebu elektrické energie můžeme vidět na Obr. 4-1 a je dostupná v příloze v souboru „Návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt.xlsx.“ Roční spotřeba podniku je 1 576 358 kWh za rok.



Obr. 4-1 - Měsíční spotřeba elektrické energie⁵⁹

⁵⁹ Vytvořeno autorem

4.2 Umístění FV panelů

Možnému umístění FV panelů jsem se věnoval v kapitole 2.2.4.2. V té kapitole jsem zmiňoval, že možná umístění FV panelů jsou střechy a na zemi. U tohoto objektu budou FV panely instalovány na plochu střechy. FV panely budou orientovány přibližně 18° od jižního směru směrem k východu. Sklon FV panelů od horizontální osy země bude 30°. V našich končinách by ideální sklon byl 33°. Ztráty vlivem orientace FV panelů můžeme očekávat do 5 % oproti FV panelů orientované jižním směrem.⁶⁰

Zastínění FV panelů je další z věcí, která nám může snížit výkon FV elektrárny. I jen při menším částečném zastínění, z důvodu toho, že FV panel je složen z FV článků, který jsou sériově spojeny. V dané oblasti by nemělo docházet, žádnému systematickému zastínění vlivem okolních objektů, stromů atp.

FV panely budou na plochu střechy instalovány pevnou konstrukcí. Využita bude hliníková a ocelová konstrukce s trojúhelníkovým profilem. Nosnou konstrukci můžeme buď zatížit betonovými bloky anebo konstrukci ukotvit do střechy. Zde bude využito kotvení do střechy.

4.3 Sluneční ozáření

Důležitým údajem pro návrh FV elektrárny je dopadající sluneční ozáření. FV panely vyrábějí elektrickou energii z dopadajícího světla. Když za určitou dobu dopadne více slunečního ozáření, vyrobí FV elektrárna více energie.

Jeden z parametrů FV panelů je jeho výkon. Jedním z možným určeným je při referenční hodnotě slunečního ozáření 1000 W.m⁻² spektrum AM 1,5 a teplotou článku 25 °C. Proto také potřebujeme znát skutečné hodnoty dopadajícího slunečního ozáření, abychom mohli správně určit velikost vyrobené elektrické energie z FV elektrárny.

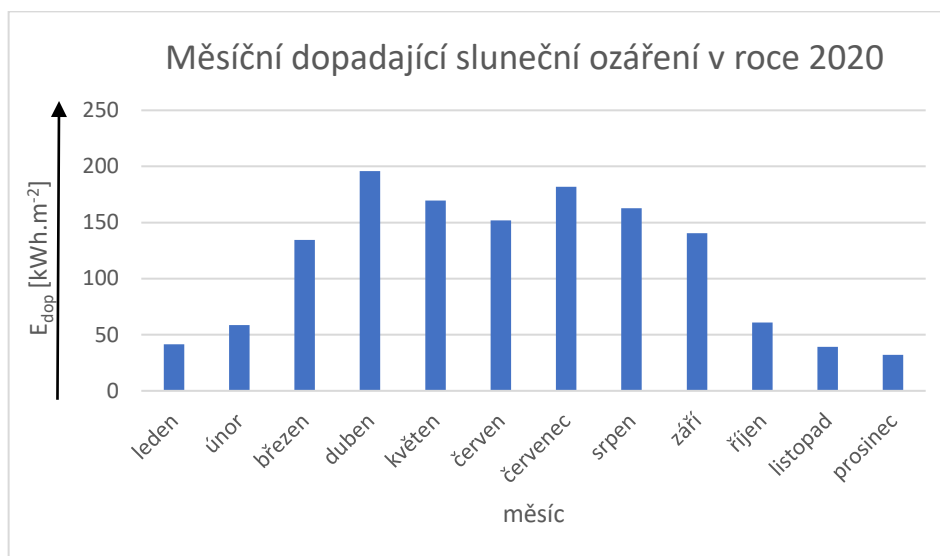
Pro můj návrh jsem pro určení dopadajícího slunečního ozáření využil nástroj PVGIS tool. Tento nástroj byl vytvořen Evropskou komisí. Tento program lze využít pro výpočet vyrobené elektrické energie FV elektrárny spojené se sítí, FV elektrárny pracující v ostrovním režimu a FV elektrárny s pohyblivou konstrukcí. Dále lze zde získat i hodinová data obsahující dopadající sluneční ozáření. Toho jsem i využil.⁶¹

Pro další počítání v této práci jsem vzal hodinová data pomocí tohoto nástroje z databáze PVGIS-SARAH2 pro rok 2020. Data byly pro FV panely pevné konstrukce, které mají sklon 30° a jsou orientovány 18° od jižního směru směrem k východu. Výstup z nástroje lze najít v příloze v souboru

⁶⁰ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁶¹ EVROPSKÁ KOMISE. PVGIS Photovoltaic Geographical Information System [online]. Brusel: Evropská komise, c1995-2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en

„Timeseries_50.426_14.262_SA2_30deg_18deg_2020_2020.xlsx.“ Z těchto dat bylo vypočteno měsíční dopadající sluneční ozáření. Můžeme ho vidět na Obr. 4-2.



Obr. 4-2 – Měsíční dopadající sluneční ozáření v roce 2020⁶²

4.4 Velikost instalovaného výkonu FV elektrárny

Jedním z prvních kroků při návrhu FV elektrárny je volba velikosti instalovaného výkonu. Tu můžeme určit více způsoby. Jedním z nich je volba instalovaného výkonu FV elektrárny dle dostupného prostoru pro instalaci. Druhá z možností je, aby vyrobená elektrická energie z FV elektrárny pokryla dané období. Tuto možnost při tomto návrhu využijí.

Nejvíce dopadajícího slunečního ozáření z dostupných dat bylo v měsíci duben. FV elektrárnu budu navrhovat na pokrytí dubnové měsíční spotřeby průmyslového objektu. V dubnu je spotřeba průmyslového objektu 139 321 kWh.

Vztah mezi vyrobenou elektrickou energií z FV elektrárny a jejím instalovaným výkonem je:

$$E_{FV} = \frac{P_{FV} \cdot E_{dop} \cdot PR}{I_{ref}} [kWh]$$

(4-1)

kde:

E_{FV} je vyrobená energie FV elektrárny [kWh]

I_{ref} je referenční sluneční ozáření [kW.m⁻²]

P_{FV} je instalovaný výkon FV elektrárny [kW]

PR je performance ratio [-]

E_{dop} je dopadající sluneční ozáření [kWh.m⁻²]

⁶² Vytvořeno autorem na základě dat z EVROPSKÁ KOMISE. PVGIS Photovoltaic Geographical Information System [online]. Brusel: Evropská komise, c1995-2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pygis-photovoltaic-geographical-information-system_en

Referenční sluneční ozáření se rovná $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Performance ratio nám uvažuje ztráty ve fotovoltaické elektrárně. Patří k nim například ztráty na kabelu, ve střídači, ztráty vlivem teploty, nízkého ozáření, úhlu dopad. Pro náš návrh bylo performance ratio odhadnuto na 0,75.

Pro výpočet výkonu FV elektrárny využijeme vztah (4-1). Z tohoto vztahu si vyjádříme instalovaný výkon FV elektrárny:

$$P_{FV} = \frac{E_{FV} \cdot I_{ref}}{I_{dop} \cdot PR} [kW]$$

(4-2)

E_{FV} se nám rovná spotřebě průmyslového objektu v dubnu, tedy 139 321 kWh, E_{dop} je rovné 195,9 kWh·m⁻². Dosazením do vzorce (4-2) nám vyjde potřebný výkon FV elektrárny pro pokrytí spotřeby v měsíci duben. Číselně nám to vyjde 948 kW. Výpočet je dostupný v příloze v souboru „Návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt.xlsx.“

4.5 Komponenty FV elektrárny

4.5.1 FV panel

FV panely jsem vybral od firmy Leapton model LP182*182-M-60-MH. Jedná se o monokrystalický FV panel. Výrobce tuto řadu FV panelů vyrábí ve výkonech od 440 W až 460 W. Mnou vybraný model má výkon 460 W. Jeho rozměry činí 1909 mm x 1134 mm x 30 mm a váží 23,5 kg. FV panel se skládá ze 120 půlčlánků o rozměrech 182 mm x 182 mm. Díky půlčlánkům můžeme dosáhnout vyššího výkonu FV panelu oproti použití klasických článků. FV panel byl dále testován, aby vydržel zatížení větru 2400 Pa a sněhu 5400 Pa. Provozní teploty FV panelu se pohybují mezi -40 °C až 85 °C. Konektor pro připojení solárního kabelu je MC4 kompatibilní.⁶³

Základní elektrické parametry jsou vidět v Tab. 4-1. Tyto parametry byly vzaty z datasheetu výrobce vybraného FV panelu.⁶³

Výkon [W]	460
U_{oc} [V]	41,8
I_{sc} [A]	13,78
U_{mp} [V]	35,2
I_{mp} [A]	13,08
η [%]	21,25

Tab. 4-1 - Základní parametry FV panelu Leapton

⁶³ LEAPTON ENERGY CO. LP182-M-60-MH 440-460W. Monocrystal_Leapton Solar [online]. Leapton Energy Co., 2021 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <http://www.leaptonpv.com/d/file/English/pvproduct/monocrystal/2021-08-03/070c45d4f99442fd601a3d784de82686.pdf>

Potřebný výkon FV elektrárny byl 948 kW. Zvolili jsme si FV panely o výkonu 460 W. Vydělením 948 kW 0,46 kW nám vyjde, že potřebujeme 2 060,89 ks námi zvolených FV panelů. 0,89 ks panelu není možné zakoupit. Proto tedy budeme volit lehce vyšší číslo a zvolil jsem 2064 ks FV panelů. To nám dává instalovaný výkon 949,4 kW.

Potřebný výkon FV elektrárny [kW]	948
Potřebný počet FV panelů [ks]	2 060,9
Zvolený počet FV panelů [ks]	2 064
Výkon FV elektrárny [kW]	949,4

Tab. 4-2 - Potřebný a zvolený výkon FV elektrárny a počet FV panelů⁶⁴

4.5.2 Střídač

Střídač byl vybrán od firmy Fronius model SYMO 20.0-3-M light. Jedná se o beztransformátorový střídač s jmenovitým výkonem 20 kW. Jeho rozměry činí 510 mm x 725 mm x 225 mm a váží 43,4 kg. Střídač disponuje 2 MPP trackery. Střídač je řízeně chlazen vzduchem. Je vhodný jak pro vnitřní, tak i pro venkovní instalace. Střídač je opatřen bezpečnostními zařízení jako je měření izolace, odpojovač a ochrany proti přepólování DC strany. Při přetížení dále posune pracovní bod a omezí výkon. Střídač je dále opatřen integrovaným záznamem dat, USB portem pro záznam dat a aktualizace střídače pomocí USB flash disku. Střídač dále obsahuje síť WLAN popřípadě Ethernet LAN pro připojení k webovým stránkám Fronius Solar.web, kde můžeme sledovat aktuální výkon, energetickou bilanci, výnosy a úspory naší FV elektrárny, kromě webové stránky lze pomocí sítě WLAN či ethernet LAN komunikovat pomocí standartu SunSpec Modbus, nebo pomocí Fronius Solar API⁶⁵

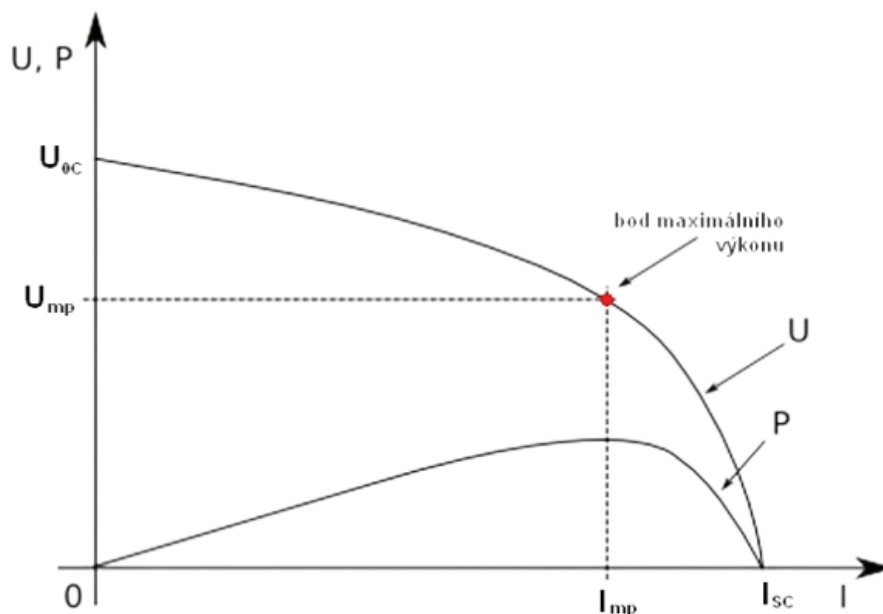
I_{DCmax1} / I_{DCmax2} [A]	51
$I_{DCmax1+2}$ [A]	51
Rozsah napětí MPP [V]	200-800
Počet přípojek DC	3+3
Špičkový P_{DCmax} [kW]	30
Jmenovitý výkon P_{AC} [kW]	20
Jmenovitý I_{AC} [A]	28,9

Tab. 4-3 - Základní parametry střídače Fronius

MPP tracker nám sleduje pracovní bod a zatěžuje FV panel tak, aby pracovní bod byl v bodě maximálního výkonu. Pokud by se pracovní bod pohyboval jinde, než je bod maximálního výkonu tak dochází k tomu, že z FV panelu neodebíráme největší výkon, který je možný. Na Obr. 4-3 lze vidět zatěžovací a výkonovou charakteristiku FV článku.

⁶⁴ Vytvořeno autorem

⁶⁵ FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Fronius Symo 20.0-3-M [online]. c2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/solarni-energie/instalacni-firmy-a-partneri/technicke-udaje/v%C5%A1techny-v%C3%BDrobky/st%C5%99%C3%ADda%C4%8D/fronius-symo/fronius-symo-20-0-3-m>



Obr. 4-3 - Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku⁶⁶

Ke každému střídači bude připojeno 48 FV panelů. Budou připojeny v kombinaci 2x16 a 1x16. K prvnímu MPP trackeru budou připojeny dvě paralelní větve s 16 FV panelů zapojených sériově. K druhému MPP trackeru bude zapojena jedna větev s 16 FV panely. K celé FV elektrárně bude potřeba 43 střídačů. Tento návrh byl získán pomocí SW výrobce. Výstup nástroje lze najít v příloze v souboru „Návrh FV elektrárny_379_PV12x16_PV21x16.pdf“⁶⁷

	MPPT 1 2x16 FV panelů	MPPT 2 1x16 FV panelů
U_{mp} [V]	560	560
U_{oc} při -40°C [V]	790,52	790,52
I_{sc} [A]	27,56	13,78
P_{mp} [kW]	14,72	7,36

Tab. 4-4 - Údaje k připojení FV panelů ke střídači⁶⁸

Pro zkontrolování správného návrhu se podíváme na výkony na DC vstupu, AC výstupu střídače a maximální napětí a proud, který by se mohl na vstupu střídače objevit. Poměr vstupního a výstupního výkonu je 1,08. To je v doporučeném rozsahu 1-1,15 pro dimenzování střídače. I_{sc} i U_{oc} FV panelu jsou nižší, než jsou maximální hodnoty střídače. Střídač je tedy vhodný použít.

⁶⁶ MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 38. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁶⁷ FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Solar configurator 4.0 [online]. c2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/Quick>

⁶⁸ Vytvořeno autorem na základě dat z FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Solar configurator 4.0 [online]. c2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/Quick>

4.5.3 Kabely a ochrany

Další částí, kterou musíme při návrhu FV elektrárny řešit jsou jaké ochrany využijeme a také jaký průřez kabelu využijeme. Pro výpočet průřezu kabelu můžeme využít Ohmův zákon a vzorec pro výpočet elektrického odporu daného materiálu. Při využití daných vzorců lze průřez vodiče vyjádřit jako:

$$S = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l \cdot I}{\Delta U} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4-3)$$

kde:

ρ je měrný elektrický odpor [$\Omega \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^2$]

l je délka vodiče [m]

I je protékající elektrický proud vodičem [A]

U je úbytek napětí na vodiči [V]

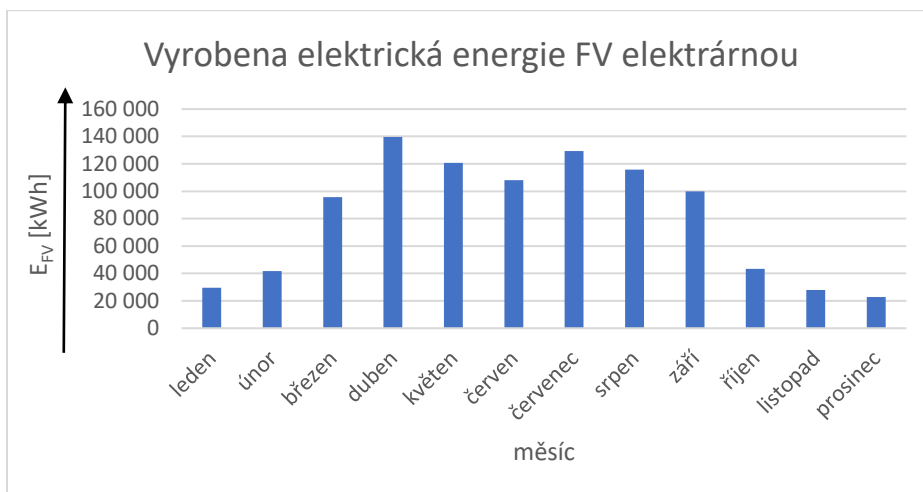
K výpočtu průřezu vodiče pro propojení FV panelů se střídačem využijeme materiál měď. Její měrný elektrický odpor je $0,0178 \Omega \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^2$. Délka vodiče byla odhadnuta na 50 m. Protékající elektrický proud byl určen jako podíl jmenovitého výkonu větve a jmenovité napětí větve. Bude počítáno s 1% úbytkem napětí na vodiči. Po dosazení do rovnice (4-3) nám vyjde průřez vodiče $4,18 \text{ mm}^2$. Pro propojení FV panelů se střídačem bude využit solární kabel s průřezem vodiče 6 mm^2 .

Pro propojení střídavé strany od střídače a dál bude využit kabel CYKY-J 5x10. Průřez kabelu byl zvolen pomocí normy ČSN 33 2000-5-52 ed, 2, *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení – Elektrická vedení*.

Dále kromě kabelů tak musíme i řešit různé typy ochrany, které se budou vyskytovat jak na stejnosměrné straně mezi FV panely a střídačem tak i na střídavé straně za střídačem. Mezi ochrany nalezneme svodiče přepětí na obou stranách FV elektrárny. Jističe i pojistky pro ochranu proti zkratu. Z důvodu malého rozdílu zkratového proudu u FV panelů oproti jmenovitých proudů se u FV elektráren s menším počtem větví můžeme setkat s tím, že je vynechána. Dále musíme u střídavé strany FV elektrárny zajistit, aby nám napětí nekleslo ani nevzrostlo nad dané meze. To samé musíme zajistit u frekvence.

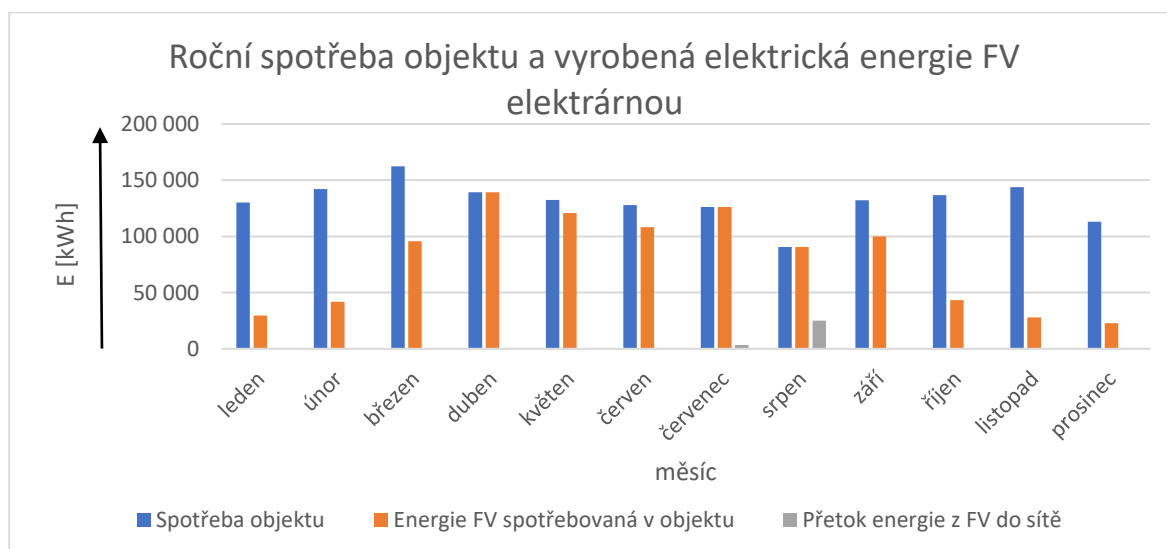
4.6 Elektrická energie vyrobená FV elektrárnou

Pro výpočet elektrické energie vyrobenou z FV elektrárny lze použít rovnici (4-1). Referenční hodnota se rovná $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Performance ratio bylo odhadnuto na 0,75. Instalovaný výkon FV elektrárny je $949,4 \text{ kW}$. Způsob získání hodnot slunečního záření byl popsán v kapitole 4.3. Vyrobenou elektrickou energii FV elektrárny můžeme vidět na Obr. 4-4 a výpočet je dostupný v příloze v souboru „Návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt.xlsx.“



Obr. 4-4 - Vyrobena elektrická energie FV elektrárnou⁶⁹

Podnik jede v neustálém provozu. Z toho tedy můžeme předpokládat, že energii, kterou může podnik spotřebovat, tak spotřebuje v objektu. K přetoku elektrické energie do sítě dojde, když FV elektrárna vyrobí více elektrické energie, než je spotřeba objektu v daném měsíci.



Obr. 4-5 - Spotřeba objektu a vyrobená elektrická energie z FV elektrárny⁷⁰

Na Obr. 4-5 lze vidět roční spotřebu objektu a vyrobenou elektrickou energii FV elektrárny. K celému pokrytí spotřeby dochází v objektu v měsících duben, červenec a srpen. V těchto měsících bude tedy i docházet k přetokům elektrické energie do sítě.

Vyrobena elektrická energie z FV elektrárny [kWh]	974 850
Elektrická energie z FV elektrárny spotřebovaná v objektu [kWh]	946 120
přetok elektrické energie z FV elektrárny do sítě [kWh]	28 730

Tab. 4-5 – Roční vyrobená elektrická energie z FV elektrárny⁷¹

⁶⁹ Vytvořeno autorem

⁷⁰ Vytvořeno autorem

⁷¹ Vytvořeno autorem

4.7 Volba záložního zdroje elektřiny

Kromě samotného návrhu FV elektrárny, zde budu řešit, jaký záložní zdroj elektřiny bych zvolil. Bude zde řešen jen jaký typ záložního zdroje elektřiny bych volil a doporučení na konkrétního výrobce a řadu záložního zdroje.

V kapitole 3 jsem řešil různé druhy záložních zdrojů elektřiny. Byly v ní popsány bateriové uložení, UPS a elektrocentrály. Pro podnik popsáný v kapitole 4.1 bych volil elektrocentrálu. Mezi jeho výhody oproti bateriovým uložení vidím v tom, že doba, po kterou nám dokáže poskytovat elektřinu závisí na množství palivu, které mám uschované. Pokud by tedy došlo k výpadku a bylo by potřeba po delší dobu poskytovat elektřinu, stačí nám mít nakoupené palivo. Oproti tomu bateriové uložení musíme dimenzovat na dobu, po kterou chceme, aby dokázali poskytovat elektřinu a před výpadkem elektřiny tu energii v nich uložit.

Elektrocentrálu bych volil od výrobce CAT přes českou společnost Zeppelin CZ s.r.o, která je výhradním prodejcem zařízení od výrobce CAT na našem území. Elektrocentrály prodávají v rozsahu 9,5 kVA až 4 000 kVA. Elektrocentrála je poháněna čtyřdobým, vodou chlazeným dieselovým motorem. Pro výkony od 9,5 kVA až 900 kVA je dále elektrocentrála opatřena palivovou nádrží nejčastěji na 8 hodin provozu při jmenovitém výkonu. Vyšší výkonu už palivovou nádrž neobsahují.⁷²

V případě zájmu o elektrocentrálu bude výkon elektrocentrály volen tak, aby byl vyšší, než je příkon všech zařízení, které bychom chtěli danou elektrocentrálou napájet.

⁷² ZEPPELIN CZ. Konstrukční katalog [online]. 2019 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://zeppelin.cz/cs/downloads/ES-konstrukcni-katalog-2019.pdf>

5 Technicko-ekonomické zhodnocení FV elektrárny

V této kapitole zhodnotím vytvořený návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt o instalovaném výkonu 949,4 kW. Prvně zde uvedu odhad počáteční investice a nákladů. Dále zde vypočtu příjmy a úspory díky FV elektrárně. Návrh bude zhodnocen pomocí kritéria čisté současné hodnoty (dále také „NPV“) a vnitřního výnosového procenta (dále také „IRR“). Ceny v této kapitole jsou bez DPH.

5.1 Počáteční investice, náklady, příjmy a úspory FV elektrárny

5.1.1 Odhad počáteční investice

Počáteční investice se bude skládat ze 4 položek. První z položek budou samotné solární panely. U solárních panelů byla odhadnuta jednotková cena na 4 400 Kč. Druhá z položek je střídač. U střídače byla cena odhadnuta na 56 000 Kč. Montáž a další materiál jako je nosná konstrukce, kabely a zbývající věci pro instalaci FV elektrárny bylo odhadnuto na 10 000 000 Kč. Po dokončení instalace FV elektrárny musíme ještě provést revizi. Ta byla odhadnuta na částku 5 000 Kč.

Název položky	Jednotková cena [Kč]	Počet ks [ks]	Cena celkem [ks]
FV panely LP182*182-M-60-MH	4 400	2 064	9 081 600
Střídač SYMO 20.0-3-M light	56 000	43	2 408 000
Montáž a další materiál	10 000 000	1	10 000 000
Revize FV elektrárny	5 000	1	5 000
Celkem [Kč]			21 489 600

Tab. 5-1 - Odhad počáteční investice⁷³

5.1.2 Odhad nákladů FV elektrárny

Do nákladů FV elektrárny budu uvažovat její údržbu během jejího provozu. V ní jsou zahrnuty náklady typu odstranění zastínění spadlých listů, sněhu, čištění FV panelů. Tato položka byla odhadnuta na 50 000 Kč za rok. Dále každý druhý rok musíme provést revizi FV elektrárny. Ta byla odhadnuta stejně jako v počátečních investicích na 5 000 Kč. Jako poslední položku zde uvažuji výměnu střídačů. Jelikož střídače nemají stejně dlouhou životnost jako FV panely. Tak budeme muset provést v 15. roce provozu jejich výměnu za 2 458 000 Kč. Ta byla odhadnuta jako odhad ceny střídačů + odhad ceny montáže.

Název položky	Cena [Kč]	Opakování nákladu
Údržba FV elektrárny	50 000	ročně
Revize FV elektrárny	5 000	Každý druhý rok
Výměna střídačů	2 458 000	V 15. roce provozu

Tab. 5-2 - Odhad nákladů FV elektrárny⁷⁴

⁷³ Vytvořeno autorem

⁷⁴ Vytvořeno autorem

5.1.3 Příjem a úspory FV elektrárny

Úspory díky FV elektrárny máme díky elektrické energii, kterou spotřebujeme z FV elektrárny místo toho, abychom kupovali elektřinu od dodavatele. Příjem FV elektrárny se skládá z prodeje elektrické energie při přetoku do sítě.

Cena nákupu elektrické energie od dodavatele činí 3,62 Kč.kWh⁻¹ bez DPH. Cena výkupu elektrické energie byla odhadnuta na 1 Kč.kWh⁻¹ bez DPH. Vzhledem k velikosti FV elektrárny, je ale možné, že po domluvě s firmou, která bude vykupovat vyrobenou elektrickou energii z FV elektrárny bude cena za výkup stanovena vyšší než tento odhad.

$$\check{C}_{Evyužitá} = E_{využitá} * \check{C}_{nákupElektřiny} \text{ [Kč]}$$

(5-1)

kde:

$\check{C}_{Evyužitá}$ je částka, kterou ušetříme využitím elektrické energie z FV elektrárny [Kč]

$E_{využitá}$ je elektrická energie z FV elektrárny, kterou využijeme v objektu [kWh]

$\check{C}_{nákupElektřiny}$ je částka, za kterou nakupujeme elektrickou energii od dodavatele [Kč.kWh⁻¹]

$E_{využitá}$ byla stanovena jako součet využití energie FV elektrárny v objektu za celý rok. Číselně nám hodnota vyšla 946 120 kWh. $\check{C}_{nákupElektřiny}$ je 3,62 Kč.kWh⁻¹. Ročně ušetříme 3 424 955 Kč.

$$\check{C}_{E\text{přetok}} = E_{\text{přetok}} * \check{C}_{\text{přetokElektřiny}} \text{ [Kč]}$$

(5-2)

kde:

$\check{C}_{E\text{přetok}}$ je částka, kterou vyděláme prodejem elektrické energie z FV elektrárny [Kč]

$E_{\text{přetok}}$ je přetok elektrické energie z FV elektrárny do sítě [kWh]

$\check{C}_{\text{přetokElektřiny}}$ je částka, za kterou firma vykupuje elektrickou energii od nás [Kč.kWh⁻¹]

$E_{\text{přetok}}$ byla stanovena jako součet přetoků energie z FV elektrárny do sítě za celý rok. Číselně nám hodnota vyšla 28 730 kWh. $\check{C}_{nákupElektřiny}$ je 1 Kč.kWh⁻¹. Ročně vyděláme prodejem elektrické energie 28 730 Kč.

Výpočet příjmu a úspor z FV elektrárny lze najít v příloze v souboru „Návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt.xlsx“

Úspora za nákup el. energie [Kč]	3 424 955
Příjem za přetok el. energie do sítě [Kč]	28 730

Tab. 5-3 – Roční úspora a příjem z FV elektrárny⁷⁵

⁷⁵ Vytvořeno autorem

5.2 NPV kritérium

NPV je jedna z kritérií díky které můžeme zhodnotit investice, zda jsou výdělečné, nebo prodělečné a nevyplatí se tedy do nich investovat. NPV je metoda u které sečteme diskontované hotovostní toky během doby životnosti investice. Vzorec pro výpočet NPV je:

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t * (1 + r)^{-t} \text{ [Kč]}$$

(5-3)

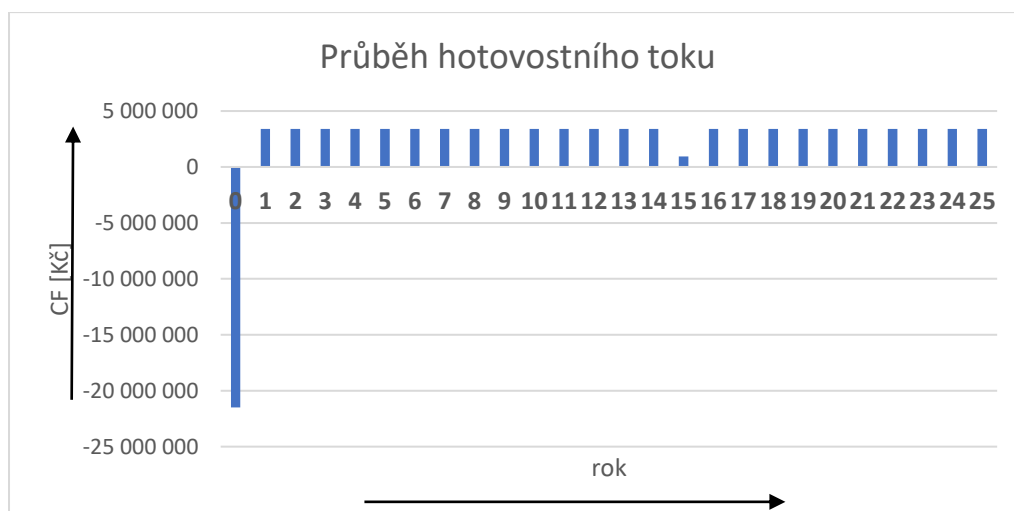
kde:

CF_t je hotovostní tok v čase t [Kč]

r je diskontní sazba [%]

T je doba životnosti investice [roky]

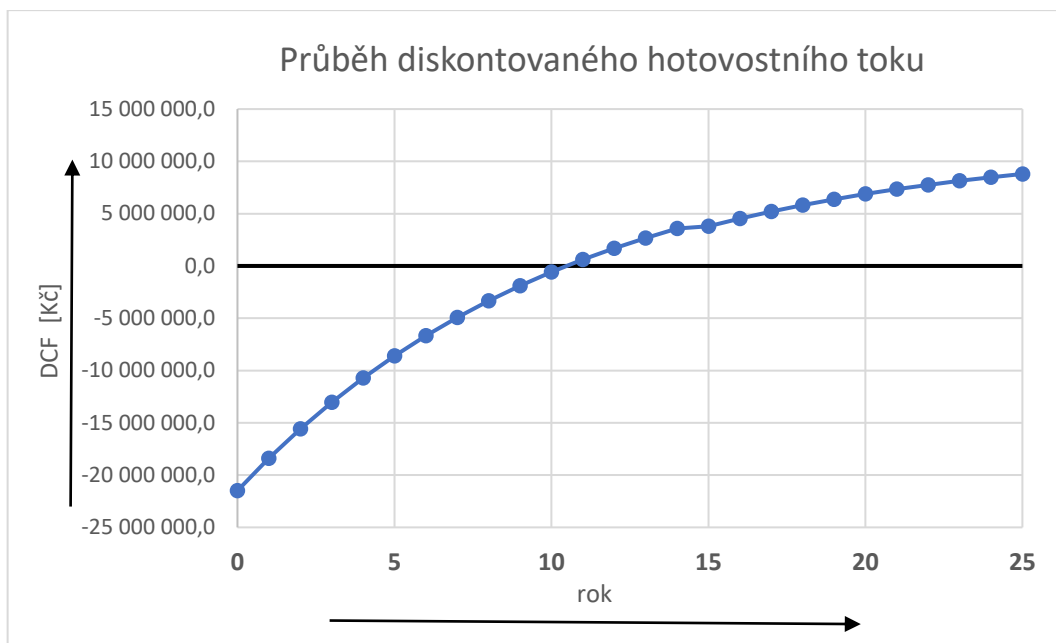
Doba životnosti investice byla stanovena na 25 let dle doby životnosti FV panelů. Diskontní sazba byla stanovena na 10 %. Hotovostní tok v 0. roce se skládá z počáteční investice. Složky počáteční investice byly popsány v kapitole 5.1.1. V dalších letech se hotovostní tok skládá z nákladů, úspor a příjmů. Náklady byly popsány v kapitole 5.1.2. Údržba se koná ročně, revize každým druhým rokem a výměna střídačů v 15 roku provozu FV elektrárny. Úspory a příjem byly popsány v kapitole 5.1.3. Na Obr. 5-1 můžeme vidět průběh hotovostního toku.



Obr. 5-1 - Průběh hotovostního toku⁷⁶

Využitím vzorce (5-3) dostáváme hodnotu NPV, která pro náš návrh fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt činí 8 795 970 Kč. Na Obr. 5-2 můžeme vidět průběh diskontovaného hotovostního toku, kde lze vidět, že investice se nám zaplatí mezi 10. a 11. rokem.

⁷⁶ Vytvořeno autorem



Obr. 5-2 - Průběh diskontovaného hotovostního toku⁷⁷

Výpočet NPV lze najít v příloze v souboru „Návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt.xlsx.“

5.3 IRR kritérium

Další z kritérií, které můžeme využít pro zhodnocení investice je IRR. U tohoto kritéria zjišťujeme pro jakou diskontní sazbu se nám NPV rovná 0. Pomocí vzorce (5-3) lze tedy zapsat pro IRR kritérium

$$\sum_{t=0}^T CF_t * (1 + IRR)^{-t} = 0$$

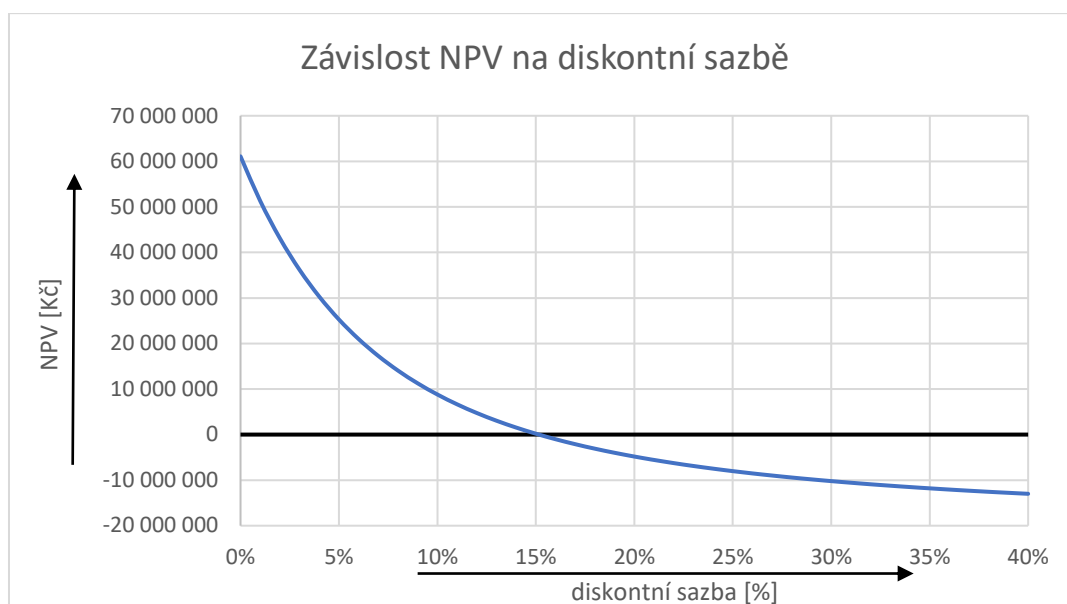
(5-4)

S využitím vzorce (5-4) vypočteme hodnotu IRR. CF_t byly popsány v kapitole 5.2. Zde budou využity stejné hodnoty. IRR nám vychází 15,15 %.

Vzorec (5-4) není jediná možnost jak hodnotu IRR zjistit. Jeden z dalších způsobů jak IRR zjistit je nakreslením grafu závislosti NPV na diskontní sazbě. V bodě průsečíků závislosti NPV na diskontní sazbě s osou x se nachází hodnota IRR. Graf závislosti NPV na diskontní sazbě lze najít na Obr. 5-3 a IRR hodnota nám souhlasí s vypočtenou hodnotou pomocí vzorce (5-4).

Výpočet IRR pomocí vzorce (5-4) lze najít v příloze v souboru „Návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt.xlsx“

⁷⁷ Vytvořeno autorem



Obr. 5-3 - Závislost NPV na diskontní sazbě⁷⁸

5.4 Závěrečné zhodnocení a doporučení

NPV [Kč]	8 795 970
IRR [%]	15,15

Tab. 5-4 - Vypočtené NPV a IRR návrhu FV elektrárny⁷⁹

V této části zhodnotím návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt. Pro zhodnocení jsme použili NPV a IRR kritérium. NPV kritérium nám vyšlo 8 795 970 Kč a IRR kritérium 15,15 % což je o 5,15 % víc, než jsem stanovil diskontní sazbu. Projekt je ziskový a investor by neměl na projektu FV elektrárny trpět. Teorie nám říká, že bychom do projektu měli jít. Svět, ale není ideální, a i když návrh je ziskový a něco nám i vydělá tak oproti domácnosti, kde bych za takováto čísla byl rád tak v průmyslové oblasti může být diskontní sazba 10 % málo. Závisí nám tedy hlavně na konkrétním podniku či investoru, který do toho bude dávat peníze, jestli náhodou i tyto čísla pro něj nejsou málo a nemá jiný projekt do kterého by mohl vrazit peníze a vydělat si ještě více. Dále při rozhodování, zda tento projekt uskutečnit je cena nákupu elektřiny. Pro zhodnocení projektu byla použita cena nákupu elektřiny 3,62 Kč.kWh⁻¹. V dnešní nejisté době, kdy se cena elektřiny na burze zdražuje si nemůžeme být jistí, že cenu 3,62 Kč.kWh⁻¹ budeme mít i v budoucnu. Při zdražení ceny nákupu elektřiny, bychom více ušetřili, a tudíž FV elektrárna by se více vyplatila.

⁷⁸ Vytvořeno autorem

⁷⁹ Vytvořeno autorem

6 Závěr

V této bakalářské práci se čtenář může dozvědět jaké druhy obnovitelných zdrojů energie máme a také krátké povídání o vybraných druzích obnovitelných zdrojů energie. Dále se zde čtenář může dozvědět o záložních zdrojů elektřiny, kde se dozví různé zařízení, která se využívají jako záložní zdroj elektřiny. V praktické části bakalářské práce se čtenář dozví o návrhu FV elektrárny a způsobu, jak můžeme FV elektrárny a jiné investice zhodnotit pomocí NPV a IRR kritéria. Bakalářská práce tedy obsahuje všechny body ze zadání.

V praktické části lze nalézt popis umístění FV panelu, výpočet potřebného instalovaného výkonu FV elektrárny pro pokrytí dubnové měsíční spotřeby objektu. Dále je zde popsán vybraný FV panel, střídač a v jak velkých větvích budou FV panely ke střídači připojeny. Ke konci návrhu je výpočet vyrobené elektrické energie FV elektrárnou. Kromě návrhu FV elektrárny byl i popsán záložní zdroj elektřiny, který by mohl být zvolen. Dále práce obsahuje v příloze autorem vytvořený excel soubor, ve kterém byly provedeny výpočty při návrhu a zhodnocení FV elektrárny.

Návrh FV elektrárny byl pro průmyslový objekt s roční spotřebou 1 576 358 kWh. FV elektrárna byla navrhována tak, aby pokryla dubnovou měsíční spotřebu. Instalovaný výkon FV elektrárny byl zvolen 949,4 kW. Roční výroba FV elektrárny je 974 850 kWh, z toho se spotřebuje 946 120 kWh v objektu a 28 730 kWh odečte do sítě. Pro zhodnocení FV elektrárny bylo využito NPV a IRR kritérium. Diskontní sazba byla zvolena 10 %. NPV kritérium nám vyšlo 8 795 970 Kč a IRR kritérium 15,15 %. Projekt je vhodné realizovat.

Tato bakalářská práce dala autorovi znalosti ohledně návrhu FV elektrárny a možnosti, jak daný projekt zhodnocovat. Autor dále získal teoretické znalosti ohledně druhů obnovitelných zdrojů energie a záložních zdrojů elektřiny.

7 SEZNAM LITERATURY

7.1 Knižní zdroje

- [1] BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [2] KOREL, Jan. PROJEKTOVÁNÍ A MĚŘENÍ PŘÍDAVNÉHO UZEMNĚNÍ VEDENÍ VVN A ZVN. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, katedra elektroenergetiky. Vedoucí práce Vít Klein.
- [3] ČSN 33 2000-5-52 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení – Elektrická vedení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [4] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika : perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
- [5] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [6] IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.

7.2 Internetové zdroje

- [7] BENDA, Vítězslav. *Přednášky z předmětu Solární systémy a elektrochemické zdroje (B1B13SSE1)*. ČVUT FEL v Praze, 2022. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=6700>
- [8] BUCHMANN, Isidor. Battery University [online]. Richmond, BC: Cadex, c2022 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/>

- [9] CMC HEATING. Typy konfigurací tepelných čerpadel. CMC-heating [online]. Kučerov: CMC HEATING [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.cmc-heating.cz/poradna/tepelne-cerpadlo/typy-konfiguraci-tepelnych-cerpadel/>
- [10] ČESKO. Vyhláška č. 80/2010 Sb., o stavu nouze v elektroenergetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 3. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-80>
- [11] ČESKO. Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 5. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [12] ČSVE. Vznik vztlaku. ČSVE - Větrné elektrárny | Větrná energie [online]. Praha: Česká společnost pro větrnou energii, c2009-2021 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://csve.cz/cz/clanky/vznik-vztlaku/307>
- [13] DEKSOLAR. VŠE O FOTOVOLTAICE. DEKSOLAR [online]. Praha: DEKSOLAR [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://deksolar.cz/vse-o-fotovoltaice/>
- [14] DŘÍMAL, Petr. Tepelná čerpadla, geotermální energie [online]. Code Creator s.r.o. 2016. [cit.25.3.2022]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/03.html>
- [15] EON. Co je to hybridní solární elektrárna?. E.ON [online]. České Budějovice: EON [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/co-je-to-hybridni-solarni-elektrarna/>
- [16] EVROPSKÁ KOMISE. PVGIS Photovoltaic Geographical Information System [online]. Brusel: Evropská komise, c1995-2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en
- [17] EVROPSKÁ KOMISE. Realizace Zelené dohody pro Evropu. Evropská komise [online]. Brusel: Evropská komise, c1995-2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs

- [18] EWING, Keith. Wheat [online]. Mountain View: Ewing, 2008 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/kewing/9538208117>
- [19] FRAUNHOFER ISE. Pie Chart Electricity Generation. Energy-charts [online]. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2020 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: https://energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=en&c=DE&interval=year&year=2010,
- [20] FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Fronius Symo 20.0-3-M [online]. c2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/solarni-energie/instalacni-firmy-a-partneri/technicke-udaje/v%C5%A1echny-v%C3%BDrobky/st%C5%99%C3%ADda%C4%8D/fronius-symo/fronius-symo-20-0-3-m>
- [21] FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Solar configurator 4.0 [online]. c2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/Quick>
- [22] HILLEWAERT, Hans. Savonius wind turbine [online]. Mountain View: Hillewaert, 2008 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/bathyporeia/9995123423/>
- [23] KOČ, Břetislav. Větrné elektrárny V. – Malé větrné elektrárny v ČR. TZB-info [online]. Praha: Topinfo, 2016 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14174-vetrne-elektrarny-v-male-vetrne-elektrarny-v-cr>
- [24] LEAPTON ENERGY CO. LP182-M-60-MH 440-460W. Monocrystal_Leapton Solar [online]. Leapton Energy Co., 2021 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <http://www.leaptonpv.com/d/file/English/pvproduct/monocrystal/2021-08-03/070c45d4f99442fd601a3d784de82686.pdf>
- [25] MARKIEWICZ, Henryk a Antoni KLAJN. Improving Reliability with Standby Power Supplies [online]. Wrocław University of Technology: EUROPEAN COPPER INSTITUTE, 2003 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18505986/improving-reliability-with-standby-power-supplies>
- [26] OIMATSU, Toshihiro. Savonius wind turbine [online]. Mountain View: Oimatsu, 2006 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/oimax/115831831>

- [27] SOLOVEV, Andrey a Anna PETROVA. Efficient Energy Management and Energy Saving with a BESS (Battery Energy Storage System). Integra sources [online]. Almaty: Integra sources, 2021 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>
- [28] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2021-12-27] Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [29] XOCOLATL. MAN diesel stationary engine and generator, now on outdoor museum display. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Engine-generator#/media/File:NagoldAggregat.jpg>
- [30] ZEPPELIN CZ. Konstrukční katalog [online]. 2019 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://zeppelin.cz/cs/downloads/ES-konstrukcni-katalog-2019.pdf>

8 Seznam příloh

Přílohy jsou odevzdány v elektronické podobě

Příloha 1 – Výstup z nástroje PVGIS tool – Sluneční ozáření v roce 2020 –

„Timeseries_50.426_14.262_SA2_30deg_18deg_2020_2020.xlsx“

Příloha 2 – Výstup z nástroje SOLAR.CONFIGURATOR 4.0 – Informace o větvi FV elektrárny –

„Návrh FV elektrárny_379_PV12x16_PV21x16.pdf“

Příloha 3 – Excel soubor s výpočty k návrhu FV elektrárny –

„Návrh FV elektrárny pro průmyslový objekt.xlsx“