ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Obnovitelné zdroje energie a návrh fotovoltaického systému

Radek Haba

2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Haba** Jméno: **Radek** Osobní číslo: **507343**

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:

Obnovitelné zdroje energie a návrh fotovoltaického systému

Název bakalářské práce anglicky:

Renewable energy sources and photovoltaic system design

Pokyny pro vypracování:

1) Charakterizujte druhy obnovitelných zdrojů energie.
2) Navrhněte fotovoltaickou elektrárnu pro průmyslový objekt.
3) Zpracujte návrh záložního zdroje elektřiny pro průmyslový objekt.
4) Proveďte technicko – ekonomické zhodnocení návrhu.
5) Vyhodnoťte výsledky provedených výpočtů a zpracujte závěrečná doporučení.

Seznam doporučené literatury:

BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-808-6726-489.
IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.
LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav. Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE a možnosti jejich uplatnění v České republice. Online. ČEZ, A. S. ČEZ. 2007. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/obnovitelne_zdoje_energie_a_moznosti_jejich_vyuziti_pro_cr.pdf. [cit. 2023-12-30].

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Radim Kolařík Constellium Extrusions Děčín s.r.o.

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

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **21.09.2025**

Ing. Radim Kolařík podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D. 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

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

ÚDAJE O AUTOROVI PRÁCE

Jméno: Radek

Příjmení: Haba

e-mail: habarade@fel.cvut.cz

Studijní etapa: bakalářská

Obor studia: Elektrotechnika, energetika a management (EEM)

Specializace: Aplikovaná elektrotechnika (technické zaměření)

Forma studia: prezenční

Ročník: 3.

Semestr: 6. (letní)

Akademický rok: 2023/2024

Vedoucí práce: Ing. Radim Kolařík

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

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 22. 5. 2024

Radek Haba

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mě ve všem podporuje a snaží se utvářet co nejvhodnější podmínky pro mé studium. V další řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Kolaříkovi a konzultantovi bakalářské práce Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za jejich čas a cenné připomínky k mé bakalářské práci. V poslední řadě bych chtěl poděkovat ochotným lidem, kteří si udělali čas a poskytli mi informace důležité pro vypracování bakalářské práce.

ABSTRAKT

V rešeršní části bakalářské práce jsou charakterizovány jednotlivé obnovitelné zdroje. Dále tato část obsahuje úvod do problematiky fotovoltaických elektráren a do druhů záložních zdrojů. Také se bakalářská práce zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny a záložního zdroje pro průmyslový objekt. V poslední části je technicko – ekonomické zhodnocení jednotlivých návrhů.

Klíčová slova: OZE, obnovitelné zdroje energie, FVE, fotovoltaická elektrárna, záložní zdroj elektrické energie, elektrocentrála

ABSTRACT

In the research part of the bachelor thesis individual renewable energy sources are characterized. Furthermore, this part contains an introduction to the issue of photovoltaic power plants and types of backup sources. The bachelor's thesis also deals with the design of a photovoltaic power plant and a backup source for an industrial facility. In the end, the individual designs are technically and economically evaluated.

Keywords: RES, renewable energy sources, PV power plant, backup power source, engine–generator

OBSAH

1 Úvod - 1 -

2 Obnovitelné zdroje energie - 3 -

2.1 Definice obnovitelných zdrojů energie - 3 -

2.2 Slunce - 3 -

2.2.1 Sluneční záření - 3 -

2.2.2 Využití slunečního záření - 5 -

2.3 Vítr - 6 -

2.3.1 Energie větru - 7 -

2.3.2 Využití větru - 8 -

2.4 Voda - 9 -

2.4.1 Potenciální energie vody - 10 -

2.4.2 Energie mořské vody - 12 -

2.5 Biomasa - 14 -

2.5.1 Druhy biomasy - 14 -

2.5.2 Využití biomasy - 15 -

2.6 Geotermální energie - 15 -

2.6.1 Využití geotermální energie - 16 -

3 Fotovoltaická elektrárna pro průmyslový objekt - 19 -

3.1 Fotovoltaické články - 19 -

3.1.1 Náhradní schéma fotovoltaických článku - 20 -

3.1.2 Voltampérová charakteristika fotovoltaických článku - 21 -

3.1.3 Využití křemíku při výrobě fotovoltaických článků - 23 -

3.1.4 Konstrukce běžných fotovoltaických panelů - 23 -

3.2 Umístění fotovoltaické elektrárny - 25 -

3.2.1 Zeměpisná poloha výstavby fotovoltaické elektrárny - 25 -

3.2.2 Závislost na ročním období - 25 -

3.2.3 Natočení a sklon fotovoltaických panelů - 26 -

3.2.4 Zamezení zastínění fotovoltaických článků - 27 -

3.3 Zapojení fotovoltaických systémů ..... - 28 -
3.3.1 Autonomní systémy (off-grid) ..... - 28 -
3.3.2 Systémy bez akumulace připojený k síti (on-grid) ..... - 29 -
3.3.3 Hybridní systémy ..... - 30 -
3.4 Jednotlivé komponenty fotovoltaické elektrárny ..... - 30 -
3.4.1 Fotovoltaické panely ..... - 31 -
3.4.2 Bateriový systém ..... - 32 -
3.4.3 Střídač ..... - 33 -
3.4.4 Nosné konstrukce ..... - 34 -
3.5 Návrh fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt ..... - 37 -
3.5.1 Průmyslový objekt ..... - 37 -
3.5.2 Software ..... - 38 -
3.5.3 Výběr fotovoltaického modulu ..... - 38 -
3.5.4 Dispozice fotovoltaických modulů na střeše průmyslového objektu ..... - 39 -
3.5.5 Výběr měniče ..... - 41 -
3.5.6 Zapojení fotovoltaických modulů ..... - 42 -
3.5.7 Dimenzování vodičů ..... - 42 -
3.5.8 Zapojení fotovoltaického systému ..... - 44 -
3.5.9 Výpočet ročních přínosů fotovoltaické instalace ..... - 45 -
3.5.10 Vyrobená elektrická energie ..... - 46 -
4 Záložní zdroj elektřiny pro průmyslový objekt ..... - 49 -
4.1 Stupně důležitosti spotřeby ..... - 49 -
4.1.1 1. stupeň důležitosti spotřeby ..... - 49 -
4.1.2 2. stupeň důležitosti spotřeby ..... - 49 -
4.1.3 3. stupeň důležitosti spotřeby ..... - 49 -
4.2 Rozdělení záložních zdrojů ..... - 49 -
4.2.1 Statické zdroje ..... - 50 -
4.2.2 Rotační zdroje ..... - 51 -
4.2.3 Chemické zdroje ..... - 53 -

4.3 Návrh záložního zdroje pro průmyslový objekt ..... - 54 -
4.3.1 Průmyslový objekt ..... - 54 -
4.3.2 Výběr elektrocentrály ..... - 54 -
4.3.3 Návrh kabelu pro připojení elektrocentrály ..... - 55 -
4.3.4 Připojení do rozvodny ..... - 56 -
4.3.5 Spolupráce záložního zdroje a fotovoltaické elektrárny ..... - 56 -
5 Zhodnocení návrhů fotovoltaické elektrárny a záložního zdroje ..... - 57 -
5.1 Ekonomická kritéria ..... - 57 -
5.1.1 Čistá současná hodnota ..... - 57 -
5.1.2 Vnitřní výnosové procento ..... - 58 -
5.1.3 Reálná doba návratnosti ..... - 58 -
5.2 Zhodnocení návrhu fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt ..... - 59 -
5.2.1 Kritéria ekonomické efektivnosti fotovoltaické elektrárny ..... - 60 -
5.3 Zhodnocení návrhu záložního zdroje pro průmyslový objekt ..... - 62 -
5.4 Zhodnocení celkové investice ..... - 63 -
5.4.1 Kritéria ekonomické efektivnosti obou návrhů ..... - 64 -
6 Závěr ..... - 67 -
7 Zdroje ..... - 69 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Stavba Slunce [40] - 3 -
Obr. 2-2 Fotovoltaická elektrárna Ralsko Ra 1 [42] - 5 -
Obr. 2-3 Různé typy koncentrátorů slunečního záření [43] - 6 -
Obr. 2-4 Solární komín [44] - 6 -
Obr. 2-5 Princip vzniku větru [2] - 7 -
Obr. 2-6 Princip funkce vztlakového rotoru [2] - 9 -
Obr. 2-7 Savoniův větrný motor [2] - 9 -
Obr. 2-8 Kaplanova turbína [46] - 10 -
Obr. 2-9 Souvislost uspořádání těles Země, Slunce a Měsíce a slapových jevů [2] - 12 -
Obr. 2-10 Přílivová elektrárna [5] - 13 -
Obr. 2-11 Princip elektrárny využívající vlnění [5] - 13 -
Obr. 2-12 Projekt elektrárny využívají mořské vlny [5] - 14 -
Obr. 2-13 Proces fermentace [7] - 15 -
Obr. 2-14 Metoda využití suchých par [2] - 16 -
Obr. 2-15 Metoda HDR [2] - 17 -
Obr. 3-1 Princip přímé přeměny energie slunečního záření na elektrickou s využitím fotoelektrického jevu [2] - 20 -
Obr. 3-2 Náhradní schéma fotovoltaického článku [2] - 20 -
Obr. 3-3 Řez fotovoltaickým panelem [11] - 24 -
Obr. 3-4 Struktura fotovoltaického článku [2] - 24 -
Obr. 3-5 Dlouhodobý průměr globálního horizontálního záření v letech 1944 až 2018 [12] - 25 -
Obr. 3-6 Vzdálenost mezi fotovoltaickými panely [47] - 27 -
Obr. 3-7 Zastínění panelů [48] - 28 -
Obr. 3-8 Fotovoltaické pole [49] - 28 -
Obr. 3-9 Autonomní systém (off-grid) [vlastní tvorba] - 29 -
Obr. 3-10 Systém bez akumulace připojený k síti (on-grid) [vlastní tvorba] - 30 -
Obr. 3-11 Hybridní systém [vlastní tvorba] - 30 -
Obr. 3-12 Zapojení komponentů fotovoltaické elektrárny [2] - 30 -
Obr. 3-13 Zapojení měničů [2] - 34 -
Obr. 3-14 Konstrukce pro sedlové střechy [50] - 35 -
Obr. 3-15 Konstrukce pro ploché střechy [51] - 36 -
Obr. 3-16 Polohovatelný systém [52] - 36 -
Obr. 4-1 Záložní zdroj DUPS[32] - 52 -
Obr. 4-2 Princip palivového článku [53] - 53 -

SEZNAM GRAFŮ

Graf 2-1 Spektrum záření [41] ..... - 4 -
Graf 2-2 Rozsah využití nejpoužívanějších turbín [45]..... - 10 -
Graf 3-1 Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku[2] ..... - 21 -
Graf 3-2 Využitelné spektrum záření pro články Si [2] ..... - 23 -
Graf 3-3 Závislost přímého a difuzního záření na ročním období [13]..... - 26 -
Graf 3-4 výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu [14]..... - 27 -
Graf 3-5 Denní diagram spotřeby elektrické energie [vlastní tvorba]..... - 37 -
Graf 3-6 Roční diagram spotřeby elektrické energie [vlastní tvorba] ..... - 38 -
Graf 3-7 Roční výroba elektrické energie [vlastní tvorba]..... - 46 -
Graf 3-8 Roční spotřeba elektrické energie [vlastní tvorba] ..... - 46 -
Graf 5-1 Tok peněz v daném roce (FVE) [vlastní tvorba] ..... - 61 -
Graf 5-2 Čistá současná hodnota pro danou dobu hodnocení (FVE) [vlastní tvorba]..... - 61 -
Graf 5-3 Vnitřní výnosové procento pro danou dobu hodnocení (FVE) [vlastní tvorba] ..... - 62 -
Graf 5-4 Tok peněz v daném roce (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba] ..... - 65 -
Graf 5-5 Čistá současná hodnota pro danou dobu hodnocení (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba] ..... - 65 -
Graf 5-6 Vnitřní výnosové procento pro danou dobu hodnocení (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba] ..... - 66 -

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Vlastnosti monokrystalických modulů [15]..... - 31 -
Tab. 3-2 Vlastnosti polykrystalických modulů [15]..... - 31 -
Tab. 3-3 Vlastnosti tenkovrstvých modulů [15]..... - 32 -
Tab. 3-4 Parametry vybraného modulu [20] ..... - 39 -
Tab. 3-5 Měnič SE100K [22]..... - 41 -
Tab. 3-6 Optimizér S1200 [23] ..... - 42 -
Tab. 3-7 Činitel výkonnosti fotovoltaického systému [28] ..... - 45 -
Tab. 4-1 Vliv teploty na kapacitu akumulátoru [30] ..... - 51 -
Tab. 4-2 Parametry pro výběr záložního zdroje [vlastní tvorba]..... - 54 -
Tab. 4-3 Parametry vybraného záložního zdroje [Cat DE1400 GC]..... - 55 -
Tab. 5-1 Náklady na výstavbu FVE [20][54][55][37][56][57] ..... - 59 -
Tab. 5-2 Náklady na údržbu FVE [37][38] ..... - 59 -
Tab. 5-3 Roční úspory za nákup elektrické energie [39][vlastní tvorba] ..... - 60 -
Tab. 5-4 CFt, NPV a IRR v jednotlivých letech hodnocení (FVE) [vlastní tvorba] ..... - 60 -

Tab. 5-5 Počáteční náklady na záložní zdroj [Cat DE1400 GC][Shel-energo]..... - 62 -
Tab. 5-6 Celková škoda při výpadku bez záložního zdroje [Vlastní tvorba] ..... - 63 -
Tab. 5-7 Celkové náklady na výstavbu obou investic [vlastní tvorba] ..... - 63 -
Tab. 5-8 Náklady na údržbu obou investic a úspora elektrické energie [vlastní tvorba] ..... - 64 -
Tab. 5-9 CFt, NPV a IRR v jednotlivých letech hodnocení (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba] ..... - 64 -

SEZNAM ZKRATEK

ČR	–	Česká republika
FF	–	Fill factor (faktor plnění)
FV	–	Fotovoltaický
FVE	–	Fotovoltaická elektrárna
HDR	–	Hot dry rock
IRR	–	Internal rate of return (Vnitřní výnosové procento)
MPP	–	Maximum power point (bod maximálního výkonu)
NPV	–	Net present value (čistá současná hodnota)
UPS	–	Uninterruptible power supply (nepřerušitelný zdroj energie)

1 ÚVOD

Aktuálním trendem současnosti je důraz na ochranu životního prostředí. Nejen v průmyslovém odvětví, ale i v každodenním životě, sledujeme trendy zaměřující se na omezení emisí. Právě proto jsem se ve své práci zaměřil na variantu, která skýtá možnost omezení provozu elektráren spalujících fosilní paliva a může být tak vhodnou proekologickou volbou. Část výkonu je možné nahradit obnovitelnými zdroji, které mají minimální nebo i nulové emisní dopady na životní prostředí. Těmito zdroji míním slunce, vítr, vodu, biomasu a geotermální energie.

V širším kontextu se zabývám využitím fotovoltaické elektrárny na střeše průmyslového objektu. Jak jsem již výše zmínil, je to možnost nejen proekologická, ale skýtá i variantu finanční úspory. Fotovoltaické elektrárny vyrábějí elektrickou energii ze slunečního záření a díky tomu je lze využít všude tam, kam sluneční paprsky dopadají. Nevýhodou však může být jejich malá produkce z důvodu nevhodného počasí, či nulová produkce v noci.

V některých případech je vhodné vybudovat záložní zdroj energie pro daný spotřebič nebo objekt. Jedná se především o spotřebiče a objekty, kdy by přerušení dodávky energie mohlo znamenat újmu na zdraví, ztrátu na majetku či ušlý zisk. Vhodnou variantou záložního zdroje mohou být elektrocentrály, palivové články a UPS s bateriovým uložištěm. Ve své práci jsem si jako záložní zdroj zvolil elektrocentrálu.

2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

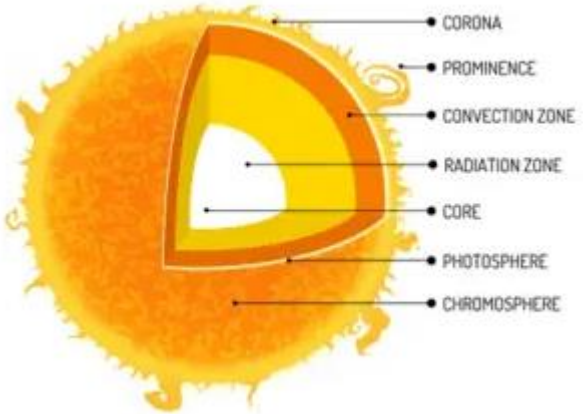
2.1 Definice obnovitelných zdrojů energie

Mezi obnovitelné zdroje řadíme Slunce, vítr, vodu, biomasu a geotermální energii. Tyto zdroje energie se jsou schopné obnovovat v lidském časovém měřítku. Nehrozí u nich, že by byly vyčerpány. Výjimkou je Slunce, které jednou vyhoří. To však může nastat až za několik miliard let, a proto se mezi ně také řadí. Výše zmíněné zdroje vykazují nízkou anebo dokonce nulovou uhlíkovou stopu.

Podle § 7 odst. 2, zákona č. 17/1992 Sb. *Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka. Neobnovitelné přírodní zdroje spotřebováváním zanikají.* [1]

2.2 Slunce

Slunce je centrální hvězdou naší sluneční soustavy a zároveň zdrojem primárního záření, které umožňuje život na Zemi. Nachází se ve středu soustavy a tvoří více než 99 % hmoty celé sluneční soustavy.



Obr. 2-1 Stavba Slunce [40]

Slunce je koule žhavého plazmatu, která má na povrchu teplotu asi 5 800 K. V jádře se mění vodík na helium, během vteřiny se takto přemění 600 milionů tun vodíku, z čehož se 4 miliony tun přemění na energii. Slunce má díky tomu výkon $4 \cdot 10^{26}$ W. [2]

Díky své hmotnosti a teplotě povrchu se Slunce řadí mezi žluté trpaslíky.

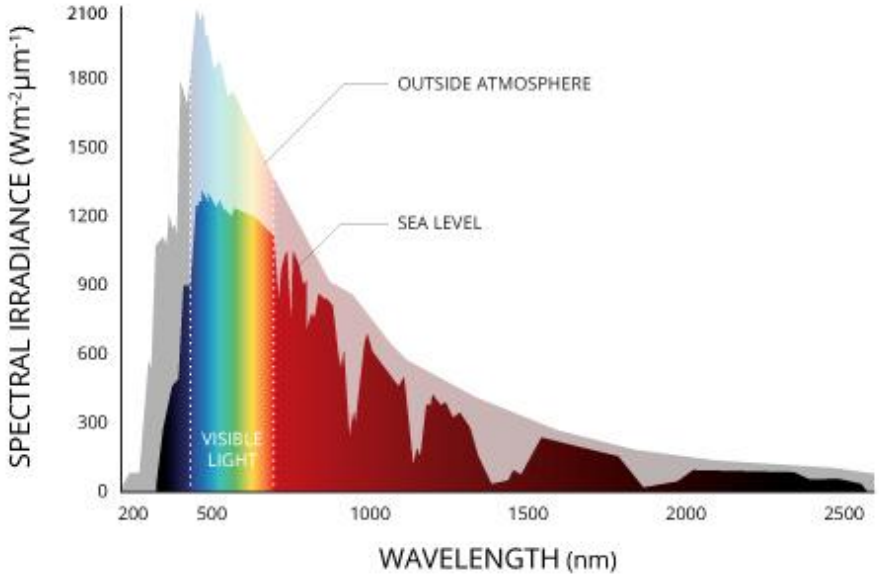
2.2.1 Sluneční záření

Díky obrovské vzdálenosti mezi Sluncem a Zemí, která je přibližně 150 milionů kilometrů, na zemský povrch dopadá pouze malý zlomek energie, kterou slunce vyzáří. Celkem tak na Zemi

dopadá záření o výkonu $1{,}8 \cdot 10^{17}$ W. Výkon záření dopadajícího na jeden metr čtverečný, který je kolmý na sluneční paprsky, ve střední vzdálenosti mezi Sluncem a Zemí měřený mimo zemskou atmosféru je 1 360 W. Pro toto je zaveden pojem sluneční neboli solární konstanta, která tedy je 1 360 $W \cdot m^{-2}$. [2]

Na zemský povrch však dopadne záření s menší intenzitou, než udává sluneční konstanta. To je způsobeno atmosférou a jejím znečištěním. V atmosféře se nacházejí částečky, které část záření mohou absorbovat případně odrážet. Toto při výpočtech respektujeme součinitelem znečištění. [2]

Sluneční záření obsahuje široké spektrum vlnových délek elektromagnetického záření od gama záření, rentgenového záření, ultrafialového záření, viditelného záření, infračerveného záření, mikrovln a radiových vln. Některé vlnové délky jsou pohlcovány atmosférou Země. Příkladem je velká část ultrafialového záření, která je pohlcena ozonovou vrstvou, což má za následek to, že na zemský povrch dopadá spektrum odlišné od spektra vyzářeného Sluncem. [2][3]



Graf 2-1 Spektrum záření [41]

V grafu můžeme vidět rozdíl mezi spektrem slunečního záření dopadajícího na atmosféru a spektrem záření, které dopadne na plochy v úrovni moře. Je tedy patrné že atmosféra absorbuje znatelnou část energie, která na ni dopadá.

Také v grafu č. 2-1 můžeme vidět pohlcení krátkých vlnových délek ultrafialového záření ozonovou vrstvou. Také je zde znatelný rozdíl při dalších vlnových délkách, což je způsobeno složením atmosféry. Každá z jejich složek, jako jsou vodní páry, dusík, kyslík, ozon a oxid uhličitý, pohlcuje určité vlnové délky. [3]

2.2.2 Využití slunečního záření

Právě díky Slunci a vzdálenosti od něj je na naší planetě život. Sluneční záření je základním zdrojem světla a tepla na Zemi. Spousta přírodních jevů by bez něj neprobíhala. Příkladem těchto jevů může být fotosyntéza, vítr nebo koloběh vody.

Lidstvo se snaží o další využití energie přicházející od Slunce. Vyvíjí a buduje zařízení, která tuto energii využívají pro výrobu elektrické energie, ohřev ale i pro pěstování rostlin uvnitř skleníků.

Dále se zaměříme na aplikace, které můžeme využít pro výrobu elektrické energie.

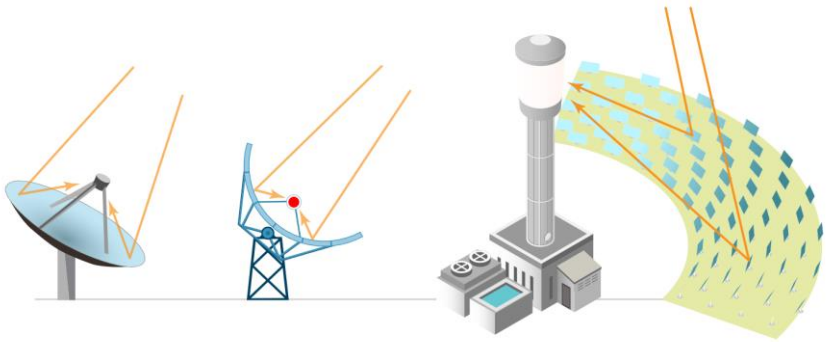
2.2.2.1 Fotovoltaické články

Fotovoltaické (dále také FV) články mají nejširší rozsah výkonového využití. Můžeme je najít třeba v kalkulačce, ale také mohou být využity pro výstavbu elektrárny, která má výkon až několik GW.

Obr. 2-2 Fotovoltaická elektrárna Ralsko Ra 1 [42]

2.2.2.2 Koncentrace slunečního záření

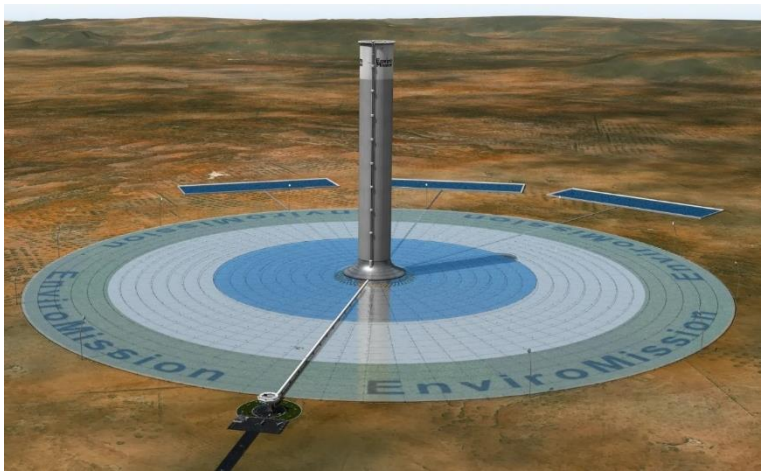
Tyto systémy využívají zrcadla, díky kterým koncentrují záření do určitého místa. Mohou tak ohřívat užitkovou vodu, vytápět budovy, vyrábět páru pro parní elektrárnu, být zdrojem tepla pro Stirlingův motor.



Obr. 2-3 Různé typy koncentrátorů slunečního záření [43]

2.2.2.3 Solární komín

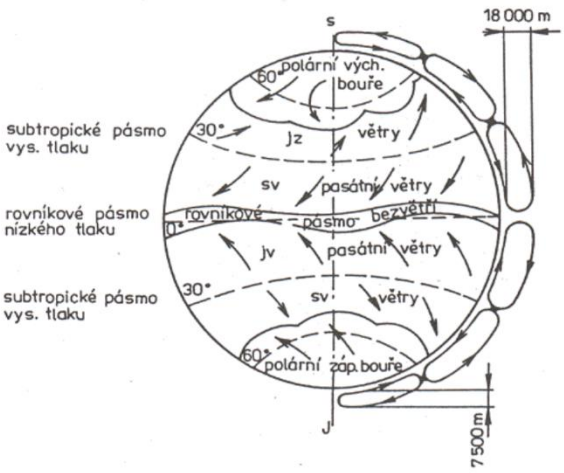
Tento typ elektrárny využívá stoupání teplého vzduchu. Na zemi jsou postaveny skleníky, díky kterým se vzduch ohřívá. Uprostřed skleníků se nachází komín, a v něm je umístěna turbína. Ta je roztáčena prouděním teplého vzduchu vzhůru komínem.



Obr. 2-4 Solární komín [44]

2.3 Vítr

Vítr je proudění vzduchu z oblasti s vyšším tlakem do oblasti s tlakem nižším a vyrovnává tento tlakový rozdíl. Tento rozdíl je způsoben nerovnoměrným ohřátím povrchu Země, a tedy i přilehlé vrstvy vzduchu. Ohřátý vzduch stoupá a vytváří oblast s nižším tlakem, zatímco studený vzduch proudí do této oblasti. Větrné systémy se také formují v důsledku rotace Země, což dává vzniknout globálním větrným pásům. [2]



Obr. 2-5 Princip vzniku větru [2]

2.3.1 Energie větru

Rychlost větru je nejdůležitějším faktorem velikosti větrné energie, tedy i energie kterou můžeme využít. Rychlost větru není ovlivněna pouze oblastmi s tlakovou níží a výší, ale také charakterem krajiny. Například les nebo zastavěná oblast vítr zpomaluje více než louka. [2]

Energii větru, tedy pohybující se hmoty vzduchu, můžeme vyjádřit pomocí následující rovnice:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ [J]} \tag{2.1}$$

kde E [J] - energie,
m [kg] - hmotnost vzduchu,
v [m · s^{-1}] - rychlost vzduchu.

Hmotnost m můžeme vyjádřit rovnicí:

$$m = \rho \cdot A \cdot s \text{ [kg]} \tag{2.2}$$

kde m [kg] - hmotnost vzduchu,
ρ [kg · m^{-3}] - hustota vzduchu,
A [m^2] - plocha, kterou vzduch protéká,
s [m] - dráha, kterou vzduch urazí.

Pomocí těchto vztahů můžeme vyjádřit rovnici pro výkon větru, který protéká jednotkovou plochou:

$$P = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho \cdot A \cdot s \cdot v^2}{A \cdot t} \text{ [W]} \tag{2.3}$$

kde P [W] - výkon větru,
E [J] - energie,
A [m^2] - plocha, kterou vzduch protéká,

t [s] - čas,

ρ [kg · m^{-3}] - hustota vzduchu,

s [m] - dráha kterou vzduch urazí,

v [m · s^{-1}] - rychlost vzduchu.

S využitím vztahu:

$$\frac{s}{t} = v \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \tag{2.4}$$

Kde t [s] - čas,

s [m] - dráha kterou vzduch urazí,

v [m · s^{-1}] - rychlost vzduchu.

Dostaneme výslednou rovnici:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]} \tag{2.5}$$

kde P [W · m^{-2}] - měrný výkon větru,

ρ [kg · m^{-3}] - hustota vzduchu,

v [m · s^{-1}] - rychlost vzduchu.

Z té vyplývá, že výkon větru tekoucí jednotkovou plochou je přímo úměrný hustotě vzduchu a třetí mocnině rychlosti proudění vzduchu.

2.3.2 Využití větru

Větrnou energii lidstvo využívá už po staletí. Tato energie byla využívána pro pohon mlýnů, čerpadel nebo katrů. V historii lze najít využití větrné energie i v lodní dopravě. V současnosti je trendem výstavba větrných elektráren a jejich využití v energetice.

2.3.2.1 Větrné elektrárny se vztlakovými motory

Tyto elektrárny pracují na vztlakovém principu, který vychází z rovnice kontinuity:

$$v_1 \cdot A_1 = v \cdot A = v_2 \cdot A_2 \text{ [m}^3 \cdot s^{-1}\text{]} \tag{2.6}$$

kde v_1 [m · s^{-1}] - rychlost větru před turbínou,

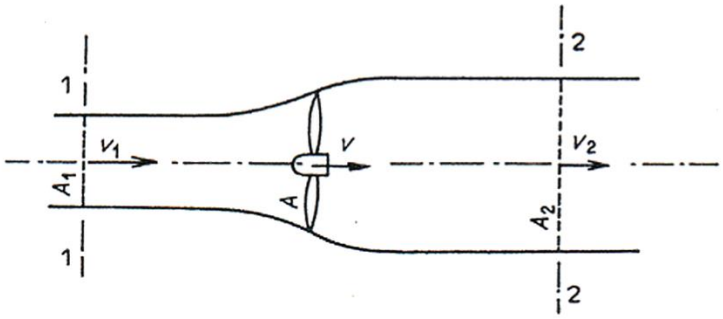
A_1 [m^2] - plocha před turbínou, kterou vzduch protéká,

v [m · s^{-1}] - rychlost vzduchu v úrovni turbíny,

A [m^2] - plocha turbíny,

v_2 [m · s^{-1}] - rychlost větru za turbínou,

A_2 [m^2] - plocha za turbínou, kterou vzduch protéká.

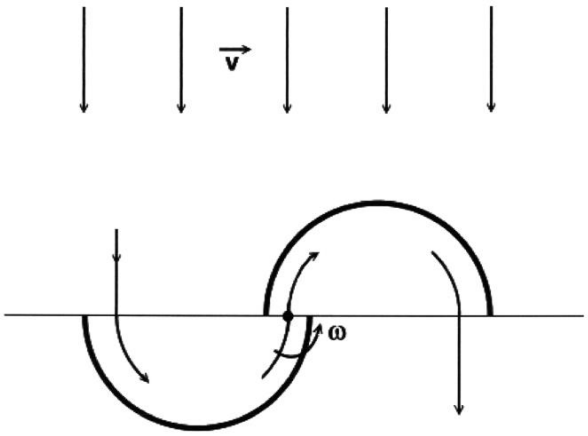


Obr. 2-6 Princip funkce vztlakového rotoru [2]

Turbína zpomaluje proud vzduchu, který protéká její pracovní plochou a tím odebírá větru část jeho energie. [2]

2.3.2.2 Větrné elektrárny s odporovými motory

Jejich princip vychází z aerodynamického odporu. Plocha, která je nastavena vůči větru mu klade odpor a ten na ní působí silou, která s turbínou pohybuje. [2]



Obr. 2-7 Savoniův větrný motor [2]

Tyto motory se dnes moc nevyužívají, protože pracují s menší účinností než motory vztlakové. [2]

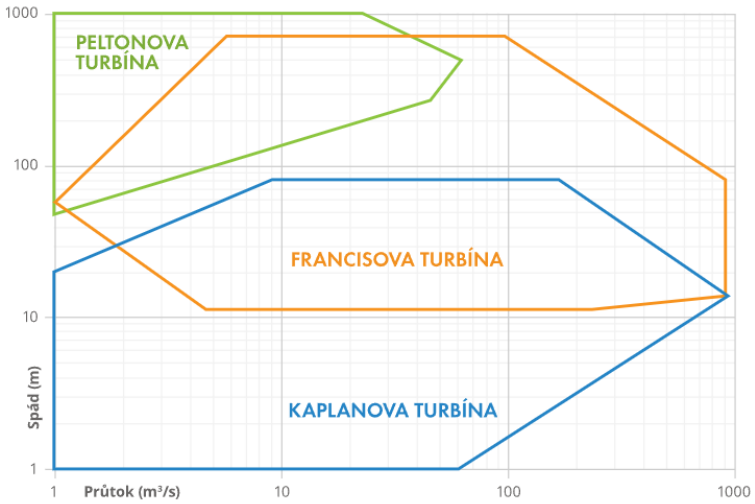
2.4 Voda

Voda je obnovitelný zdroj, jehož potenciál pro výrobu elektrické energie na našem území využíváme již z velké části. S tím jsou spojeny výhody jako zásoba vody nebo ochrana před povodněmi, ale i nevýhody spojené s narušením migrace živočichů nebo zaplavením oblastí při výstavbě vodních děl. Vodu taktéž využíváme pro ukládání elektrické energie s poměrně vysokou účinností.

2.4.1 Potenciální energie vody

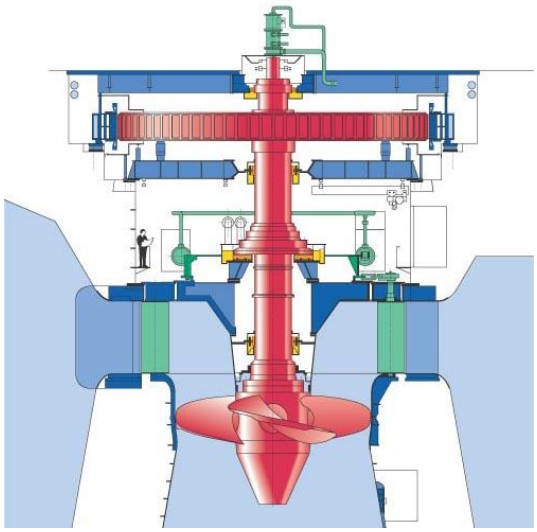
Potenciální energie vody má původ ve slunečním záření, díky kterému se voda odpařuje z vodních ploch, vytváří oblaky a deště ve vyšších nadmořských výškách. Tato energie je spojená s gravitačním polem Země.

Voda předává svou energii pomocí lopatek vodních turbín na hřídel jako energii mechanickou. Při využívání energie vody řešíme dva hlavní aspekty, těmi jsou spád a průtok. Dle nich vybíráme vhodnou vodní turbínu. [2]



Graf 2-2 Rozsah využití nejpoužívanějších turbín [45]

V našich podmínkách jsou nejčastější Kaplanovy turbíny s nastavitelnými lopatkami. Ty jsou vhodné pro malé spády a velký průtok vody. [4]



Obr. 2-8 Kaplanova turbína [46]

Při výpočtu energie vody vycházíme z Bernoulliho rovnice:

$$E_H = gH + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \ [\mathrm{J \cdot kg^{-1}}] \tag{2.7}$$

kde E_H [J · kg^{-1}] - poměrná energie vody,
g [m · s^{-2}] - tíhové zrychlení,
H [m] - výška nad srovnávací rovinou,
p [Pa] - tlak,
ρ [kg · m^{-3}] - hustota vody,
v [m · s^{-1}] - rychlost.

Podle ní má energie tři složky, potenciální, tlakovou a kinetickou. [2]

Z ní je odvozena rovnice pro hydroenergetický potenciál mezi body 1–2 vodní trajektorie:

$$E_{1-2} = g(H_1 - H_2) + \frac{p_1 - p_2}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \ [\mathrm{J \cdot kg^{-1}}] \tag{2.8}$$

kde E_{1-2} [J · kg^{-1}] - poměrná energie vody mezi body 1 a 2,
g [m · s^{-2}] - tíhové zrychlení,
H_1 [m] - výška hladiny 1,
H_2 [m] - výška hladiny 2,
p_1 [Pa] - tlak v bodě 1,
p_2 [Pa] - tlak v bodě 2,
ρ [kg · m^{-3}] - hustota vody,
v_1 [m · s^{-1}] - rychlost v bodě 1,
v_2 [m · s^{-1}] - rychlost v bodě 2.

Pro výpočet výkonu a zvolení vhodné turbíny je zásadní potenciální složka. Proto daný vztah zjednodušíme:

$$E_{1-2} = g(H_1 - H_2) = gH \ [\mathrm{J \cdot kg^{-1}}] \tag{2.9}$$

kde E_{1-2} [J · kg^{-1}] - poměrná energie vody mezi body 1 a 2,
g [m · s^{-2}] - tíhové zrychlení,
H_1 [m] - výška hladiny 1,
H_2 [m] - výška hladiny 2,
H [m] - rozdíl výšek hladin.

Rovnici pro výpočet výkonu pak můžeme napsat jako:

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot E_{1-2} \cdot \eta_t \ [\mathrm{W}] \tag{2.10}$$

kde P_t [W] - Výkon turbíny,

ρ [kg · m^{-3}] - hustota vody,

Q [m^3 · s^{-1}] - průtok,

E_{1-2} [J · kg^{-1}] - poměrná energie vody mezi body 1 a 2,

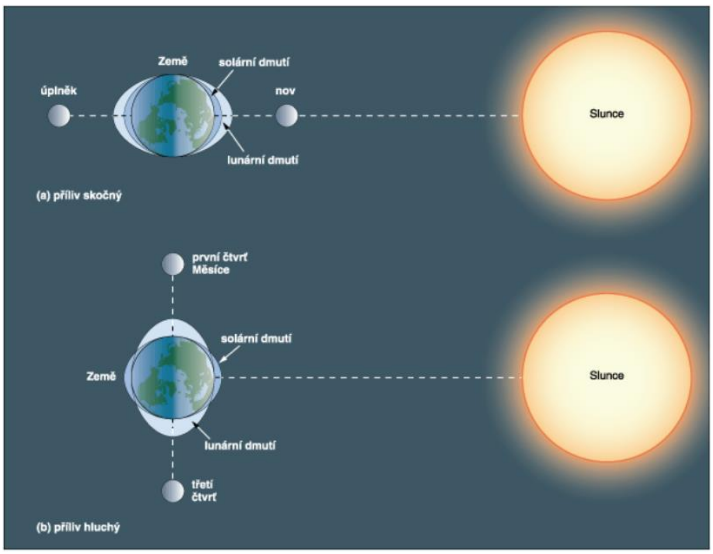
η_t[-] - celková účinnost vodní turbíny.

2.4.2 Energie mořské vody

V mořích a oceánech se také ukrývá velké množství obnovitelné energie. Tuto energii můžeme rozdělit na slapovou energii, energii mořských proudů a energii mořských vln.

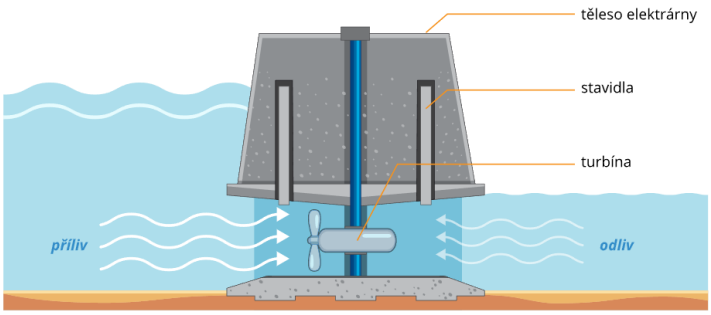
2.4.2.1 Slapová energie

Tato energie je spojena s gravitačními poli Měsíce, Slunce a ostatních planet ve Sluneční soustavě. Gravitační pole měsíce má na slapový jev největší vliv. Měsíc a Země obíhají spolu kolem Slunce a tvoří tak soustavu. Kvůli poměru hmotností mezi Měsícem a Zemí, je těžiště soustavy uvnitř zemského tělesa. Při oběhu Země kolem tohoto těžiště vzniká odstředivá síla a pouze v jejím středu je rovna přitažlivé síle Měsíce. Tyto síly působí opačným směrem. Proto na straně, která je blíže k Měsíci, je síla jeho gravitačního pole větší. Naopak na odvrácené straně Země je menší. Tento rozdíl sil způsobuje příliv a odliv. [2]



Obr. 2-9 Souvislost uspořádání těles Země, Slunce a Měsíce a slapových jevů [2]

Tuto energii můžeme využívat v takzvaných slapových nebo také přílivových elektrárnách. Ty pracují na principu zachycení vody při přílivu do přehradní nádrže a následném vypouštění vody přes turbínu při odlivu. [4]



Obr. 2-10 Přílivová elektrárna [5]

2.4.2.2 Energie mořských proudů

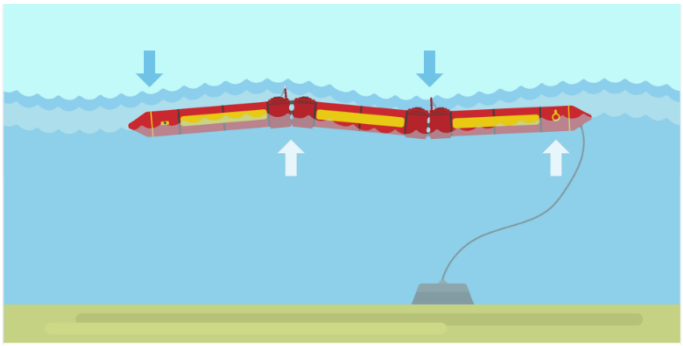
Mořské proudy mohou připomínat vítr. Jejich vznik je způsoben nerovnoměrným ohříváním mořské hladiny. Ke vzniku některých proudů přispívá i rozdílná salinita, hustota vody, topografie mořského dna a rotace Země. Přestože jsou mořské proudy pomalejší než vítr, tak nesou více energie. Důvodem je vyšší hustota vody oproti vzduchu. Navíc jsou stálejší a nemění směr. [2][4]

Elektrárny, které využívají mořské proudy pro výrobu elektřiny připomínají jak principem, tak vzhledem větrné elektrárny.

2.4.2.3 Energie mořských vln

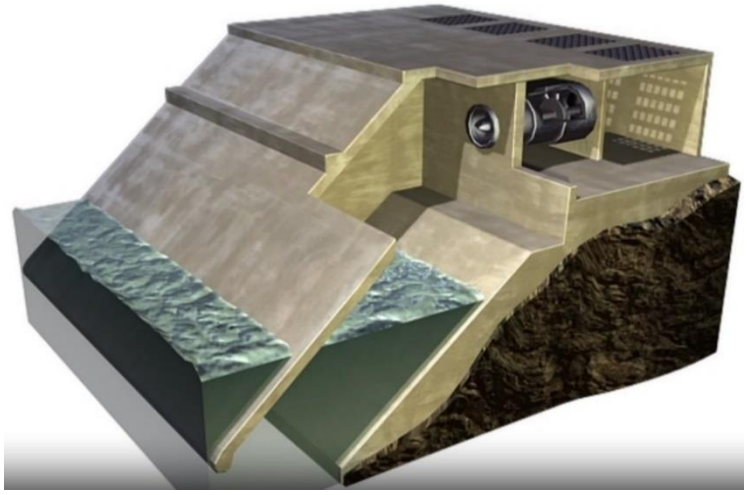
Vznik mořských vln je zapříčiněn větrem a může být ovlivněn mořskými proudy. V ojedinělých případech je vznik vln zapříčiněn zemětřesením nebo sesuvem půdy.[2]

Této energie se využívá pomocí zařízení, které se skládají z několika plováků ukotvených ke dnu a houpajících se na vlnách. Díky vlnění hladiny se vůči sobě pohybují. Tento pohyb se hydraulicky převádí na motor poháněj ící elektrický generátor. [5]



Obr. 2-11 Princip elektrárny využívající vlnění [5]

Další zařízení využívá mořskou hladinu stejně jako využívá spalovací motor píst. Při zvyšující se hladině následkem vlny je z uzavřené komory vytlačován vzduch skrze turbínu. Při následném poklesu hladiny je do komory vzduch zase skrze turbínu nasáván. [5]



Obr. 2-12 Projekt elektrárny využívají mořské vlny [5]

2.5 Biomasa

Biomasa má biologický původ nefosilního charakteru. Získává se pěstováním rostlin případně využitím vedlejších produktů z chovu dobytka. Je to vlastně energie Slunce přeměněná pomocí rostlin skrze fotosyntézu, na energii chemickou, která je pak v nich následně uložena. [2][6]

Biomasu můžeme využít pro výrobu biopaliv. Ta mohou být tuhá, kapalná a plynná. Takto zpracovaná biopaliva můžeme využít v klasických elektrárnách nebo kombinovaných výrobnách elektrické energie a tepla. [7]

Emisní faktor spalování biomasy není nulový, ale při jejím pěstování do ní bylo CO_2 ukládáno. Proto bereme biomasu jako zdroj, který má malý negativní vliv na životní prostředí. [6]

Biomasa produkovaná přímo pro energetické využití je přímým konkurentem pro její jiné využití. Je tedy nutné rozšiřovat plochy, na kterých je pěstována nebo pěstovat rostliny s vyšší intenzitou růstu. Možné je také zpracovat zbytky, které se již nedají jinak využít. Příkladem může být štěpkování větví nebo využití nezpracovaných zbytků potravin.

2.5.1 Druhy biomasy

Biomasu můžeme rozdělit do několika skupin:

- fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy (dřeviny, traviny, obiloviny a jiné),
- fytomasa olejnatých plodin (řepka olejná, slunečnice a jiné),
- fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru (brambory, kukuřice, řepa a jiné),
- organické odpady živočišného původu (kejda, mrva a jiné),
- směsi různých organických odpadů.

Podle technického hlediska biomasu můžeme rozdělit na biomasu, která je záměrně pěstovaná pro energetické využití a na biomasu odpadní. [8]

2.5.1.1 Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům

V tomto případě se cíleně pěstují takzvané energetické plodiny. Následně se využívá energie, která je v nich uložena. Mezi energetické plodiny řadíme dřeviny, traviny, obiloviny, olejniny a škrobnato-cukernaté rostliny. [8]

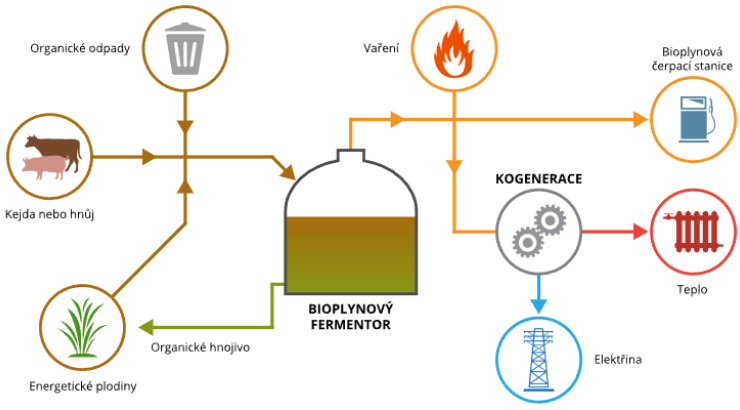
2.5.1.2 Odpadní biomasa

Elektrická energie vzniká jako vedlejší produkt jiného zpracování biomasy. Pro energetické využití se používají pouze zbytky, které nedokážeme už jinak zpracovat. Mezi odpadní biomasu řadíme rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby, odpady z živočišné výroby, odpady z lesního hospodářství, organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob a komunální organické odpady. [8]

2.5.2 Využití biomasy

V upravených kotlech tepelných elektráren se některé druhy biomasy přímo spalují. Některé se upravují tak, aby byly skladnější a usnadnila se manipulace s nimi. Takto zušlechtěná paliva mohou mít formu štěpky, pelet nebo briket. [6]

Biomasu také můžeme zpracovat pomocí bioplynových stanic. V nich pomocí řízeného procesu fermentace biomasu přeměníme na bioplyn, který může být využit podobně jako zemní plyn. Ve vyhnívacích reaktorech, pomocí anaerobních fermentačních procesů bez přístupu vzduchu, vznikají organická hnojiva a bioplyn. [7]



Obr. 2-13 Proces fermentace [7]

2.6 Geotermální energie

Geotermální energie je tepelná energie Země, která se dostává na povrch v podobě vulkanické činnosti, horké vody a páry nebo vývěrů horkých plynů. Část energie, která se uvolňuje ze země, pochází již ze vzniku planety. Větší část energie pochází z jaderných procesů a z pohybů litosférických desek. [2]

Potenciál této energie dosahuje až $5 \cdot 10^{20}$ J·rok^{-1}. Ale protože je povrch Země veliký, tak je průměrný výkon pouze 57 mW·m^{-2}. V některých oblastech je tato hodnota mnohonásobně vyšší, až 300 W·m^{-2}, proto se tyto oblasti vyznačují zvýšenou sopečnou činností. [2]

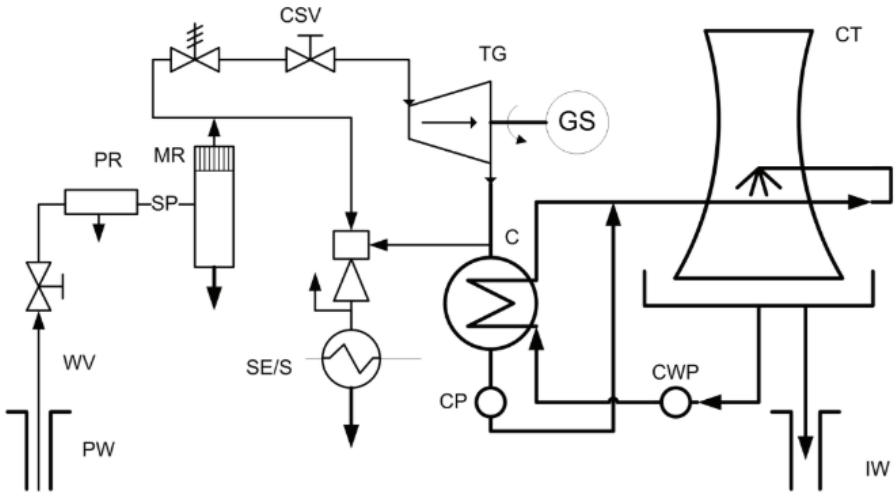
2.6.1 Využití geotermální energie

Zpočátku se geotermální energie užívala pouze pro lázeňské účely. Později se využívala pro vytápění. V 20. století se tato energie začala využívat pro energetické využití. [9]

Životní prostředí je geotermálními elektrárnami ovlivňováno pouze v malé míře. Pokud ale pracují v otevřeném cyklu, hrozí, že se do ovzduší dostanou škodlivé látky. Některé elektrárny mohou zapříčinit sedání podloží nebo i zvýšenou seismickou aktivitu. [9]

2.6.1.1 Metoda suchých par

Ze země je získávána přehřátá pára pomocí vrtů. Tato pára je vedena do turbíny a po odevzdání své energie kondenzována. Problémem jsou nekondenzovatelné plyny, které snižují výkon turbíny. Proto se separují buď před injektorem do turbíny nebo až za turbínou. [2]



Obr. 2-14 Metoda využití suchých par [2]

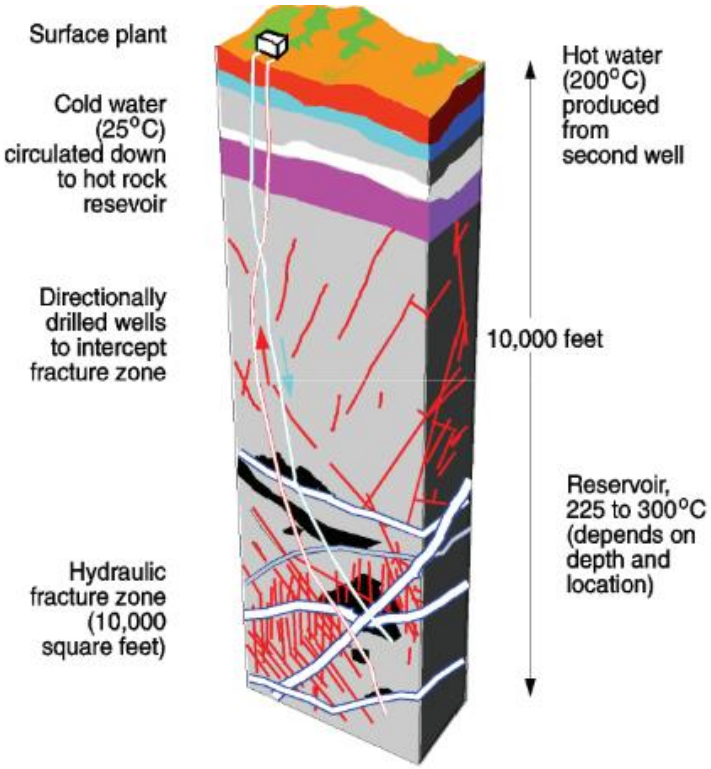
Tato metoda nemá již velkého využití, protože lokality vhodné pro výstavbu nových velkých zařízení jsou již zastavěné nebo vyčerpané. [2]

2.6.1.2 Metoda mokrých par

Tato metoda je obdobnou k metodě předchozí, ale vrtem místo páry proudí voda, která má minimálně 160 °C. Když se tato voda dostane na povrch, v separátoru díky nižšímu tlaku expanduje a část se mění v páru, která je využita v turbíně elektrárny. Část přivedené vody, která se nezmění v páru, je čerpána zpět do geotermálního rezervoáru společně se zkondenzovanou párou. [2]

2.6.1.3 Hot dry rock

Pro metodu hot dry rock neboli HDR je základem předpoklad, že je v dané lokalitě hornina dostatečně silná a nepropustná, jejíž teplota roste s hloubkou. [2]



Obr. 2-15 Metoda HDR [2]

Hloubka vrtu je 5 až 6 km. V této hloubce hornina dosahuje teplot 180 až 220 °C a tlaků až 165 MPa. Voda proudící takovými vrty narušuje horninu. Vznikají pukliny v nichž se vlivem tlaku a teploty mění voda na páru. Ta proudí na povrch, kde je využita pro výrobu elektrické energie. [2]

3 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA PRO PRŮMYSLOVÝ OBJEKT

Fotovoltaická elektrárna (déle také FVE) je zařízení, které přeměňuje energii slunečního záření na energii elektrickou. FVE využívá pro přeměnu fotovoltaické články, na jejichž výstupu je stejnosměrný proud. Ten je úměrný intenzitě záření dopadajícího na ně.

Nespornou výhodou FVE je výroba bezemisní elektrické energie. Jejich nevýhodou je naopak podmínění slunečním zářením.

3.1 Fotovoltaické články

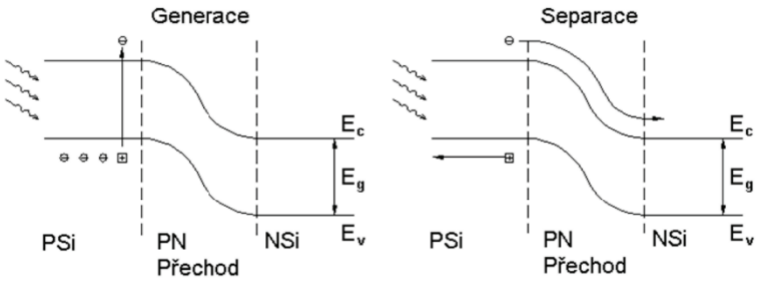
Funkce FV článků je založena na fotoelektrickém jevu. Jevu, při kterém látka uvolňuje elektrony po absorbování elektromagnetického záření. Absorpce je interakce mezi částicemi hmoty a fotony světla, kdy mohou nastat následující tři typy interakcí:

- Interakce mezi částicí a mřížkou
  - využití nízkoenergetických fotonů
- Interakce mezi částicí a volnými elektrony
  - dochází pouze k ohřevu hmoty
- Interakce mezi částicí a vázanými elektrony
  - vznik volných nosičů náboje
  - může se stát, že se elektron uvolní z vazby [2]

Interakce mezi částicí a vázaným elektronem je pro funkci FV článku zásadní. V látce se uvolní elektron a vzniká pár elektron a díra. Látkou musí být polovodič, protože při použití kovu by došlo ihned k rekombinaci a vzniklý náboj by nebyl odveden z FV článku. Při využití polovodiče jsou elektrony a díry odděleny vnitřním elektrickým polem PN přechodu. [2]

Nejjednodušší FV článek tvořený jedním PN přechodem si můžeme představit jako velkoplošnou diodu. Pro výrobu elektrické energie pomocí solárního článku je zásadní splnění následujících podmínek:

- foton musí být absorbován,
- elektron musí být fotonem excitován do vyššího vodivostního pásu,
- separace vzniklého páru elektron – díra,
- odvedení rozdělených nábojů ke spotřebiči. [2]



Obr. 3-1 Princip přímé přeměny energie slunečního záření na elektrickou s využitím fotoelektrického jevu [2]

kde PSi - polovodičový křemík typu P,

NSi - polovodičový křemík typu N,

E_c [J] - energie vodivostního pásu,

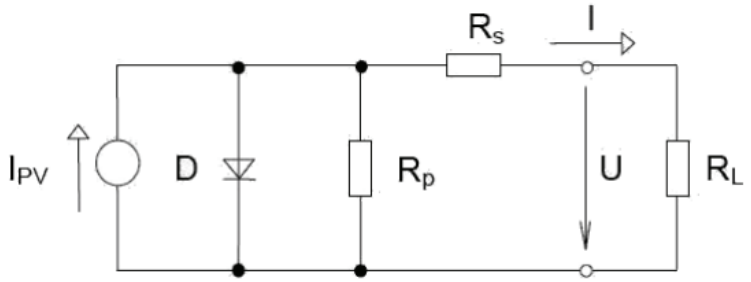
E_v [J] - energie valenčního pásu,

E_g [J] - energie zakázaného pásu.

Nosiče jsou generovány v ozářené oblasti PN přechodu. Následně difundují směrem k PN přechodu. Proudovou hustotu J_{PV} tvoří nosiče zachycené oblastí prostorového náboje. Nosiče náboje, které se vygenerují jinde než v PN přechodu, musí difundovat k oblasti se silným elektrickým polem. Může se tedy stát, že dojde k rekombinaci dříve, než se dostanou do oblasti PN přechodu. V tomto případě se neuplatní do výsledného napětí na FV článku. [2]

3.1.1 Náhradní schéma fotovoltaických článku

FV článek můžeme popsat náhradním obvodem, který je na obrázku 3-2. V ozářené oblasti přechodu PN je generován proud o proudové hustotě J_{PV}. Oblast typu N je polarizována záporně, zatímco oblast typu P je polarizována kladně. Díky tomu je PN přechod propustně polarizován a diodou D teče část vygenerovaného proudu. [2]



Obr. 3-2 Náhradní schéma fotovoltaického článku [2]

kde R_p [Ω] - svodový odpor respektující technické nedokonalosti PN přechodu,

R_s [Ω] - odpor materiálu a proudových sběrnic,

R_L [Ω] - odpor připojené zátěže,

D - dioda respektující rekombinaci,

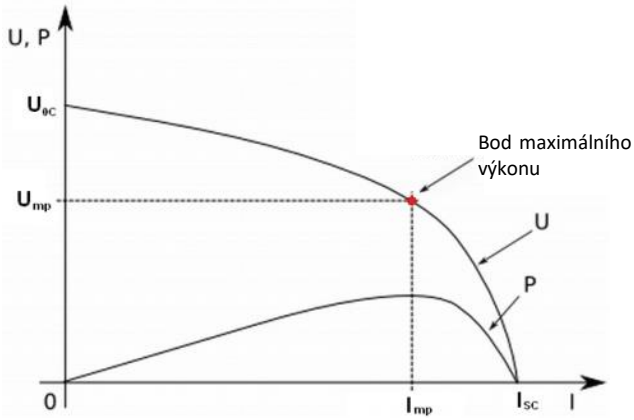
U [V] - napětí na zátěži,

I [A] - proud tekoucí zátěží,

I_{PV} [A] - celkový vygenerovaný proud.

3.1.2 Voltampérová charakteristika fotovoltaických článku

V grafu 3-1 je voltampérová charakteristika FV článku. [2]



Graf 3-1 Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku[2]

kde P - výkonová charakteristika FV článku,

U - zatěžovací charakteristika FV článku,

U_{0C} [V] - napětí článku naprázdno,

I_{SC} [A] - proud článku nakrátko,

U_{mp} [V] - napětí článku při maximálním výkonu,

I_{mp} [A] - proud článku při maximálním výkonu.

V grafu č. 3-1 je také závislost výkonu FV článku na proudu. Dodávaný výkon je závislý na ozáření článku, jeho teplotě a na světelném spektru. Protože dodávaný výkon není konstantní s měnícím se proudem, hledáme takový pracovní bod, aby byl výkon maximální a FV článek byl tedy plně využitý. [2]

Výkon FV článku vypočítáme pomocí rovnice:

$$P = U \cdot I \text{ [W]} \tag{3.1}$$

kde P [W] - výkon FV článku,

U [V] - napětí na výstupu FV článku,

I [A] - proud tekoucí do zátěže.

Pracovní bod s maximálním výkonem (bod maximálního výkonu) je při proudu I_{mp} a napětí U_{mp}, výkon v tomto bodě vypočítáme pomocí rovnice:

$$P_{mp} = U_{mp} \cdot I_{mp} \text{ [W]} \tag{3.2}$$

kde P_{mp} [W] - maximální výkon FV článku,

U_{mp} [V] - napětí na výstupu FV článku při maximálním výkonu,

I_{mp} [A] - proud tekoucí do zátěže při maximálním výkonu.

Činitel plnění Fill Factor (déle také *FF*) a účinnost FV článku η jsou také velmi důležité pro charakterizování vlastností jednotlivých článků. Tyto hodnoty odpovídají rovnicím [2]:

$$FF = \frac{P_{mp}}{U_{0C} \cdot I_{SC}} = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{0C} \cdot I_{SC}} \; [-] \tag{3.3}$$

kde FF $[-]$ - činitel plnění,

P_{mp} [W] - maximální výkon FV článku,

U_{0C} [V] - napětí článku naprázdno,

I_{SC} [A] - proud článku nakrátko,

U_{mp} [V] - napětí na výstupu FV článku při maximálním výkonu,

I_{mp} [A] - proud tekoucí do zátěže při maximálním výkonu.

$$\eta = \frac{P_{mp}}{P_{in}} = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \; [-] \tag{3.4}$$

kde η $[-]$ - účinnost,

P_{mp} [W] - maximální výkon FV článku,

P_{in} [W] - výkon slunečního záření, které dopadne na FV článek,

U_{mp} [V] - napětí na výstupu FV článku při maximálním výkonu,

I_{mp} [A] - proud tekoucí do zátěže při maximálním výkonu.

Všechny tyto vlastnosti FV článku se určují za standardních testovacích podmínek:

- teplota FV článku je ϑ = 25 °C,
- intenzita slunečního záření dopadajícího na článek je I = 1 000 W·m^{-2},
- sluneční záření dopadá na článek kolmo,
- vzduchová hmota AM = 1,5,
- spektrum dopadajícího záření odpovídá spektru slunečního záření dopadajícího na Zemi v zeměpisné šířce 35 °N. [2] [10]

Voltampérovou charakteristiku znatelně ovlivňuje hlavně teplota článku a intenzita dopadajícího záření na něj.

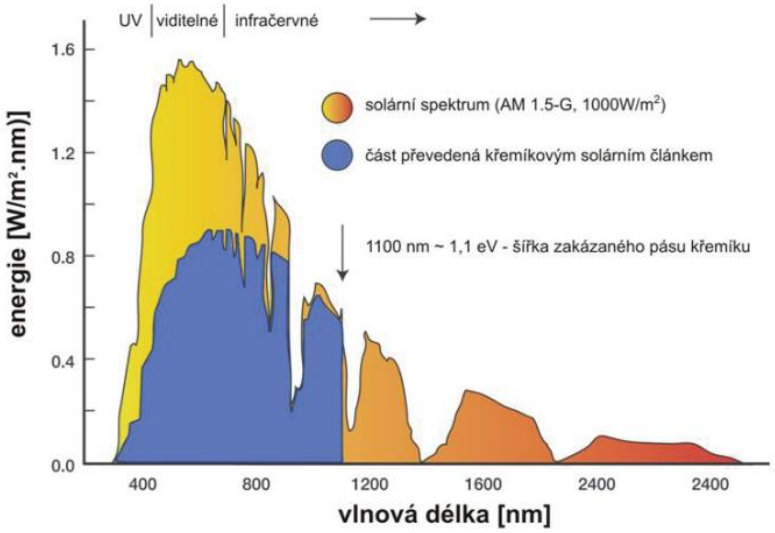
Kvůli vyšší teplotě FV článků, která může v horkých a bezvětrných dnech dosáhnout až 80 °C, dochází ke zmenšení energetické mezery polovodiče, protože se zvýší difúzní hodnota minoritních nosičů náboje. To vede k zanedbatelnému zvýšení fotoproudu. Ale k nezanedbatelnému snížení napětí naprázdno U_{0C}. To negativně ovlivní dodávaný výkon FV článkem. Při zvýšení teploty

o 1 °C fotovoltaického článku z krystalického křemíku dojde k poklesu napětí naprázdno U_{0C} přibližně o 0,4 % a účinnost se sníží přibližně o 0,5 %. [2]

Výkon FV článku se samozřejmě zvyšuje s větší intenzitou dopadajícího světla. Mění se ale účinnost článku v závislosti na velikosti odporů R_S a R_p. Když je sériový odpor R_S malý, dochází k růstu účinnosti. Až při velké intenzitě záření dosáhne účinnost maxima a následně začíná klesat. Při velkém odporu R_S účinnost FV článku klesá s rostoucí intenzitou dopadajícího světla. [2]

3.1.3 Využití křemíku při výrobě fotovoltaických článků

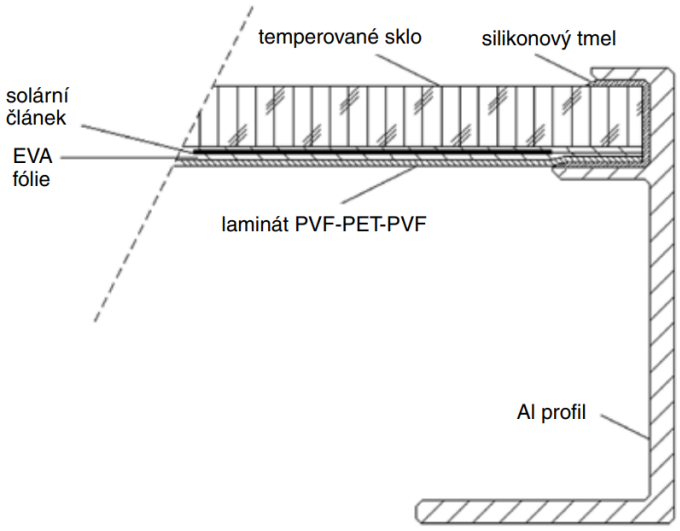
Nejrozšířenější jsou FV panely, jejichž články jsou vyrobené z křemíku. Tyto panely jsou dobrým kompromisem mezi cenou a účinností přeměny energie dopadajícího záření na energii elektrickou. Díky jeho velkému obsahu v zemské kůře je poměrně dostupný. Navíc je hojně využíván v mikroelektronice. Z toho důvodu je nejpoužívanějším a nejprozkoumanějším polovodičem. Kvůli šířce zakázaného pásma křemíku dochází ve FV článcích k vysoké účinnosti přeměny energie dopadajícího záření na energii elektrickou. [2]



Graf 3-2 Využitelné spektrum záření pro články Si [2]

3.1.4 Konstrukce běžných fotovoltaických panelů

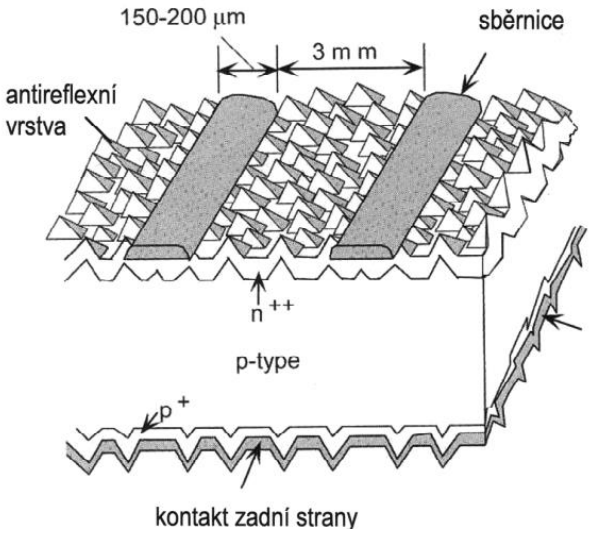
Fotovoltaické články jsou v jednotlivých panelech zapojeny sérioparalelně tak, aby na výstupu bylo požadované napětí a výkon. Samotné FV články by měly malou životnost, proto musí být chráněny před povětrnostními podmínkami a zároveň na ně musí dopadat co největší intenzita světla. Proto jsou články překryty EVA fólií. Na straně, na kterou dopadá sluneční záření je temperované sklo. Na opačné straně je laminátová kompozice PVF-PEP-PVF. Všechny tyto vrstvy jsou utěsněny v hliníkovém rámu. [2]



Obr. 3-3 Řez fotovoltaickým panelem [11]

3.1.4.1 Konstrukce FV článků

Fotovoltaický článek je vyroben z jedné destičky křemíku. V difúzních pecích se v destičce vytváří PN přechod příměsí akceptorů nebo donorů do materiálu. Následně je destička opatřena antireflexní úpravou povrchu. Aby přední kontakt stínil co nejméně a světlo dopadalo na co největší plochu polovodiče, bývá ve tvaru mřížky nebo hřebínku. Zadní kontakt nebrání dopadu světla na článek, proto bývá celoplošný. Standardně se kontakty nanášejí sítotiskem nebo vakuovými technologiemi. Pro speciální systémy se mohou kontakty zapustit do polovodiče. [11]



Obr. 3-4 Struktura fotovoltaického článku [2]

K minimalizaci odrazu dopadajícího světla slouží antireflexní vrstva, díky níž se dopadající fotony neodrazí a vniknou do článku. Tato vrstva je z nevodivého oxidu křemíku (SiO_2). V místě kontaktu je tato vrstva proleptána, aby neznemožňovala průchod elektrického proudu. Na straně dopadu světla jsou vyleptané malé jehlany. Díky jejich tvaru fotony snadno vniknou. Dalším benefitem tohoto tvaru je, že pokud foton projde bez toho, aby vytvořil fotovoltaickou přeměnu

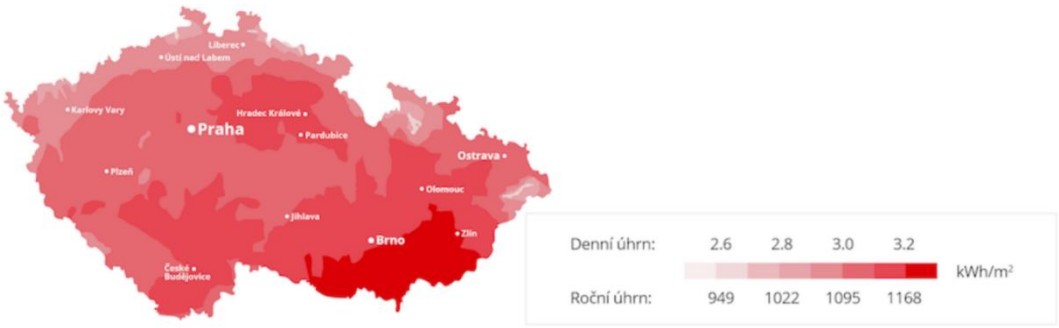
a došlo k jeho odrazu od zadního celoplošného kontaktu, nemůže proniknout ven. Foton se tedy odrazí a PN přechodem projde znovu. Tím se zvýší pravděpodobnost fotovoltaické proměny. [11]

3.2 Umístění fotovoltaické elektrárny

Umístění fotovoltaických panelů hraje klíčovou roli ve výkonu vyrobeného pomocí FVE. Při volbě ideálního umístění jednotlivých modulů musíme zvažovat hned několik faktorů.

3.2.1 Zeměpisná poloha výstavby fotovoltaické elektrárny

Přímé sluneční paprsky můžeme v podmínkách České republiky (dále také ČR) využívat až 1 700 hodin ročně. Největší množství sluneční energie je obvykle zachyceno na jihu ČR, zejména v oblastech jako je jižní Morava. Sezónní variace jsou také významné. V letních měsících je vyšší intenzita slunečního záření než v zimních. [12]



Obr. 3-5 Dlouhodobý průměr globálního horizontálního záření v letech 1944 až 2018 [12]

Na každý čtverečný metr v ČR dopadne průměrně za rok 1 000 kWh. Nejvíce energie pak dopadne na jižní Moravu naopak nejméně na severní Čechy. [12]

Protože s rostoucími teplotami klesá účinnost FV článků, nemusí být v tropech lepší podmínky pro výstavbu FVE než v ČR. Velké horko může mít také negativní dopad na životnost modulů.[12]

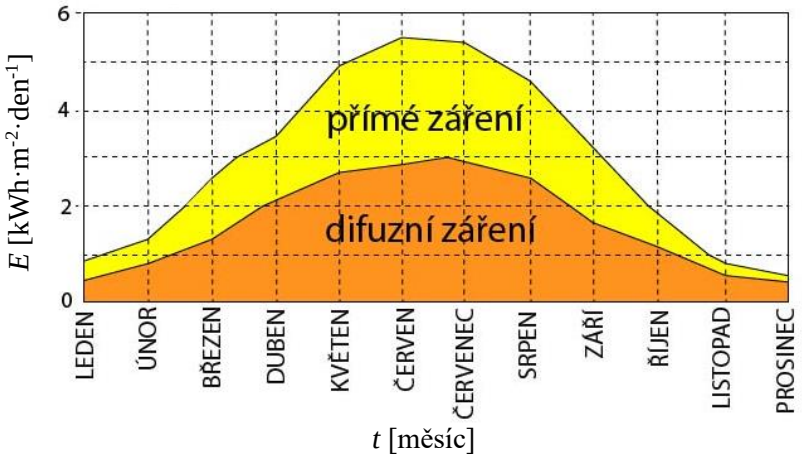
Díky těmto slunečním podmínkám je Česká republika vhodným místem pro investice do solární energie.

3.2.2 Závislost na ročním období

Dopadající záření je také závislé na ročním období. V zimních měsících je průměrná intenzita slunečního světla podstatně nižší než v měsících letních. To je způsobeno tím, že v zimě jsou kratší dny a Slunce je níže na obloze. [13]

Navíc se s ročními obdobími mění i poměr mezi přímým a difuzním zářením. Kdy přímé záření dopadá přímo na Zemi, aniž by byl změněn jeho směr. Naopak difuzní záření vzniká rozptylem

toho přímého v atmosféře a na povrch přichází ze všech směrů. Problémem tohoto rozdělení záření je, že polykrystalické fotovoltaické články s difuzním zářením neumí moc pracovat. [13]



Graf 3-3 Závislost přímého a difuzního záření na ročním období [13]

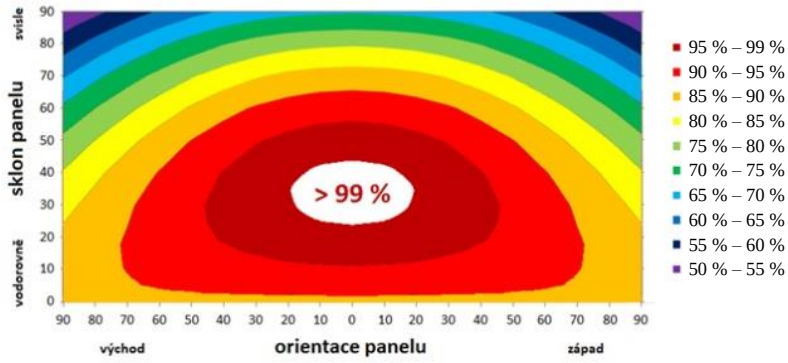
V létě, jak vidíme z grafu, je tedy celkový výkon dopadajícího záření nejvyšší, ale také poměr mezi přímým a difuzním je nejvýhodnější za celý rok pro výrobu elektrické energie.

3.2.3 Natočení a sklon fotovoltaických panelů

V ČR je optimální sklon fotovoltaické elektrárny obvykle kolem 30° až 35°, přičemž ideální orientací je směr k jihu. Moduly jsou tedy montovány tak, aby bylo dosaženo kompromisu mezi zimním obdobím, kdy je slunce nízko nad horizontem a obdobím letním, kdy je naopak nad horizontem vysoko.

Při změně orientace panelů do 20° ať už k západu nebo východu, je snížení vyrobené energie do 5 %. Ale při větším natočení panelů na západ nebo východ poklesne vyrobená energie až o dalších 20 %. [2]

U změny sklonu panelů je to podobné. Při změně sklonu o 25° se sníží vyrobená energie maximálně o 10 %. Ale když jsou moduly namontovány se sklonem 90°, tedy například na zeď, jejich výkon se sníží až o 30 %. [2]



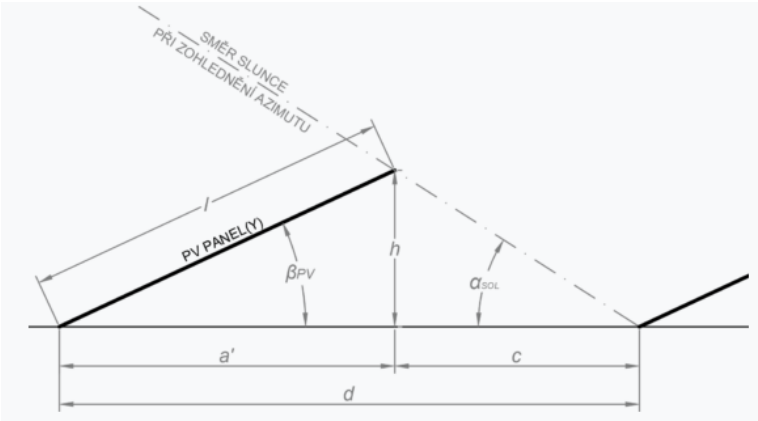
Graf 3-4 výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu [14]

Za určitých podmínek se může ideální natočení panelů změnit, například když dochází k zastínění mezi jednotlivými panely. V tomto případě se vyplatí snížit sklon panelů, aby se vzájemné stínění omezilo. [14]

3.2.4 Zamezení zastínění fotovoltaických článků

Panely by neměly být umístěny tak, aby byly zastíněny stromy, budovami nebo jinými objekty. Již zastínění malé části fotovoltaické elektrárny může mít za následek znatelné snížení jejího výkonu.

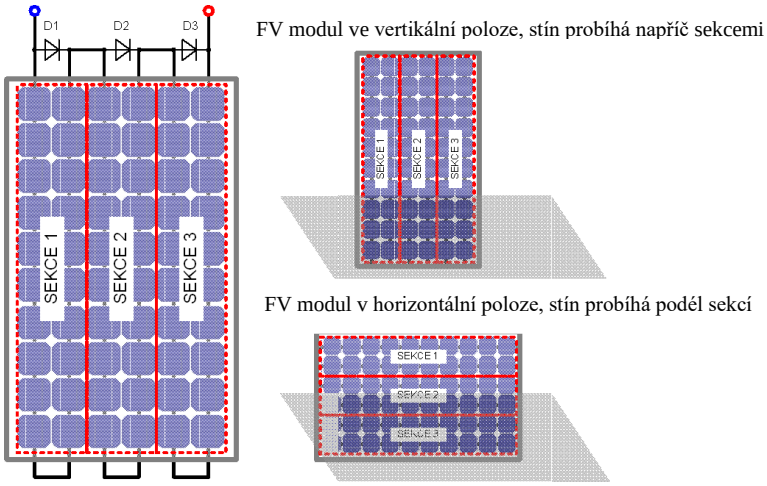
Dalším důležitým aspektem při návrhu FVE je zamezení vzájemného zastínění mezi panely. K tomu může docházet hlavně při výstavbě fotovoltaické elektrárny na ploché střeše nebo volném prostranství. Při návrhu se zohledňuje většinou nejhorší možný případ, tedy zimní období, kdy je slunce nejníže. V zimě sluneční záření dopadá na zemský povrch přibližně pod úhlem 17°. [2]



Obr. 3-6 Vzdálenost mezi fotovoltaickými panely [47]

Zastínění může být způsobeno také náhodně, což může být způsobeno znečištěním modulu. To projektant nedokáže ovlivnit při projektování fotovoltaické elektrárny. Ale dokážeme takto způsobené ztráty omezit pravidelným čištěním.

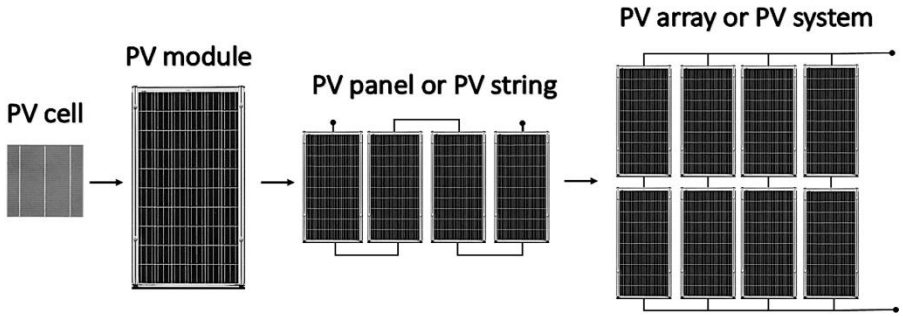
Některé fotovoltaické moduly bývají vybaveny překlenovacími diodami. Když je nevyhnutelné i částečné zastínění některého z modulů, například okolní výstavbou, je vhodné, aby byl panel natočen tak, aby jeho výkon byl vlivem stínu minimálně postihnut.



Obr. 3-7 Zastínění panelů [48]

3.3 Zapojení fotovoltaických systémů

Stejně jako FV články se i solární panely zapojují do sérioparalelních kombinací. Pro požadované napětí se určitý počet modulů zapojí sériově neboli do stringu. Pro zvýšení dodávaného výkonu se pak jednotlivé stringy propojují paralelně.



Obr. 3-8 Fotovoltaické pole [49]

Fotovoltaické systémy můžeme rozdělit do 3 kategorií:

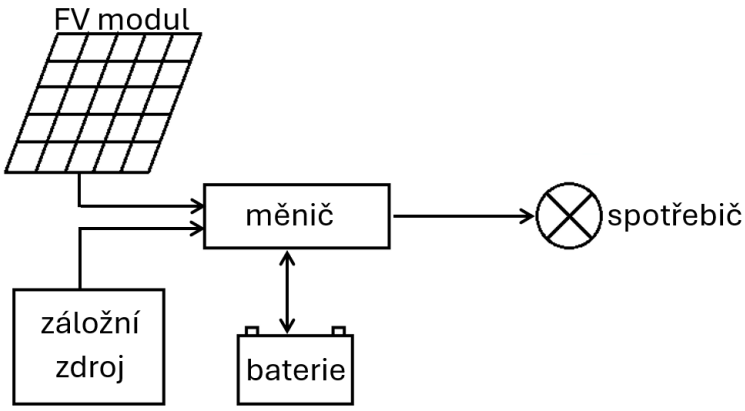
- autonomní systémy (off-grid),
- systémy bez akumulace přímo připojené na síť (on-grid),
- hybridní systémy, ty jsou kombinací těch výše zmíněných.

3.3.1 Autonomní systémy (off-grid)

Tyto systémy jsou navrženy tak, aby spotřebič byl nezávislý na jiné dodávce energie. Využívá se tedy pro aplikace bez připojení na síť. Příkladem využití mohou být dopravní značení, zahradní

osvětlení, meteorologické stanice, ale třeba i zdroj elektrické energie pro chaty nebo obytné karavany. [2]

Základem systému s akumulací jsou FV panely, akumulátor a regulátor. Akumulátor slouží pro uložení energie a dodává energii spotřebiči přesto, že je tma nebo špatné počasí. Akumulátor musí být chráněn před přebitím, ale i před přílišným vybitím, k tomu slouží regulátor. Výstupní napětí takového systému bývá stejnosměrné s velikostí 12, 24 nebo 48 V. Proto v systému může být navíc střídač, který mění dané napětí na napětí střídavé s 230 V. Systém také může být doplněn dalším zdrojem elektrické energie jako je větrná turbína nebo spalovací agregát. Tyto zdroje jsou střídavé, a proto se s nimi v systému nachází ještě usměrňovač. [2]



Obr. 3-9 Autonomní systém (off-grid) [vlastní tvorba]

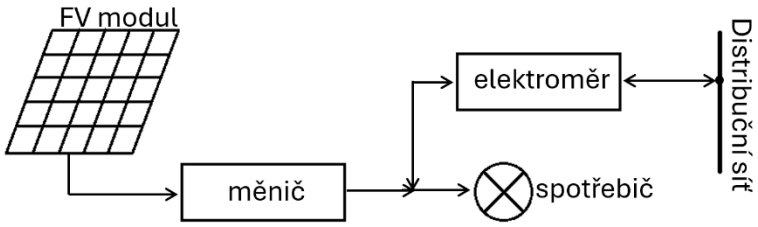
Existují i systémy bez akumulace. Zde je výstup solárních panelů připojen přímo na spotřebič. Takto může být v létě ohřívána voda v bojleru nebo s využitím střídače napájeno čerpadlo k bazénu.

3.3.2 Systémy bez akumulace připojený k síti (on-grid)

Zde jsou dvě možnosti zapojení:

- zapojení systému pro dodávku do sítě,
- zapojení systému pro vlastní spotřebu.

V obou případech se systém skládá ze stejných částí, a to z FV panelů, měniče, elektroměrů a ochran. V prvním případě veškerá vyrobená elektrická energie je rovnou dodána do distribuční sítě. V druhém případě je vyrobená elektrická energie využívána primárně pro vlastní spotřebu, tedy je prodána pouze část elektrické energie, která není využita spotřebitelem. Nespornou výhodou obou možností je, že je veškerá vyrobená elektrická energie plně využita. [2]

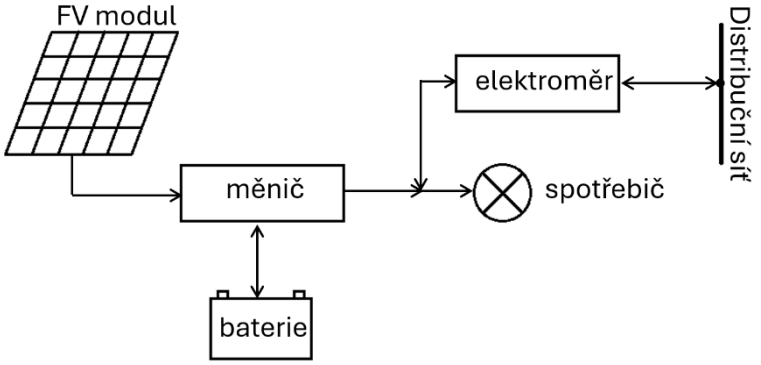


Obr. 3-10 Systém bez akumulace připojený k síti (on-grid) [vlastní tvorba]

3.3.3 Hybridní systémy

Hybridní systémy jsou kombinací systémů off-grid a on-grid. Tedy kombinují akumulaci energie s prodáváním přebytků elektrické energie.

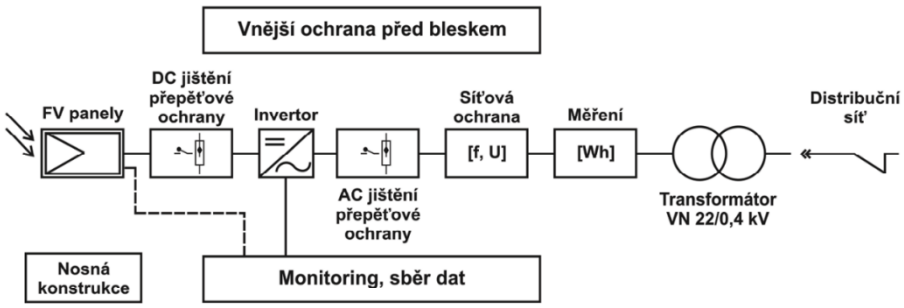
Pro tyto systémy je primární vlastní spotřeba a akumulace energie v různých formách. Například akumulace elektrické energie v akumulátorech, nebo ohřátí vody v bojleru. [2]



Obr. 3-11 Hybridní systém [vlastní tvorba]

3.4 Jednotlivé komponenty fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny jsou tvořeny několika komponenty, které jsou nezbytné pro její správnou a bezpečnou funkci. Patří mezi ně nosná konstrukce fotovoltaických modulů, vnější ochrana před bleskem, FV moduly, stejnosměrné jištění, přepěťové ochrany, střídač, jištění na střídavé straně, měřicí přístroje a monitorovací zařízení. Navíc může být doplněna ještě o akumulátor a Maximum Power Point (dále také MPP) regulátor.



Obr. 3-12 Zapojení komponentů fotovoltaické elektrárny [2]

3.4.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické moduly můžeme rozdělit do několika skupin na monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé neboli amorfní solární panely. Dané typy se od sebe liší výrobním procesem, cenou ale i důležitými vlastnostmi článku.

3.4.1.1 Monokrystalické moduly

Pořizovací náklady na tyto panely jsou obecně nejvyšší. Monokrystalické články jsou vyrobeny ze syntetického monokrystalu křemíku, jehož zhotovení je nákladný a složitý proces. [15]

Tyto moduly mají největší účinnost, která může přesahovat 20 %. Díky tomu ze stejné plochy generují větší množství energie. Tomu přispívá i jejich lepší teplotní koeficient, a tedy i menší ztráty způsobené vysokou teplotou modulu. [15]

Monokrystalické moduly	
Výhody	Nevýhody
Efektivita	Pořizovací náklady
Dlouhá životnost	Křehkost
Odolnost vůči vysokým teplotám	Citlivost na zastínění
Vysoký výkon panelu	

Tab. 3-1 Vlastnosti monokrystalických modulů [15]

Tyto moduly jsou vhodné pro aplikace, kde je omezený prostor výstavby. Pro určité investory je také výhodou delší životnost, přestože jsou počáteční náklady vyšší. Jsou konstruovány tak, aby mohly spolehlivě pracovat v náročných klimatických podmínkách. [15]

3.4.1.2 Polykrystalické moduly

Náklady nutné na pořízení polykrystalických modulů jsou nižší než u těch monokrystalických. To je způsobeno tím, že pro výrobu článku stačí úlomky krystalu křemíku. Na výrobu polykrystalických článků se využije i křemík, který je při tažení monokrystalu přebytečný. [15]

Polykrystalické moduly	
Výhody	Nevýhody
Pořizovací náklady	Nižší účinnost
Rychlejší návratnost investice	Kratší životnost
Méně odpadu při výrobě	Větší potřebná plocha
	Citlivost na vysoké teploty

Tab. 3-2 Vlastnosti polykrystalických modulů [15]

Polykrystalické moduly mají nižší výkon než ty monokrystalické, protože mají menší účinnost. Ta bývá v rozmezí 15 až 17 %. [15]

Tyto moduly jsou vhodné pro ty, kteří mají omezený rozpočet na výstavbu FVE. Díky nižším počátečním nákladům může být rychlejší návratnost investice. Bohužel mají nižší životnost. [15]

3.4.1.3 Tenkovrstvé/amorfní moduly

Jejich cena se odvíjí od použitého typu článku. Například moduly typu DcTe jsou nejlevnější na trhu, moduly CIGS jsou znatelně dražší. [15]

Účinnost těchto modulů je závislá na tom, jaký typ článku je použit. Přesto je v každém případě nižší než v předchozích případech. Účinnost těchto modulů se pohybuje kolem 11 %. [15]

Tenkovrstvé moduly	
Výhody	Nevýhody
Lehké a flexibilní	Nízká účinnost
Snadná instalace	Nízký výkon
Lepší účinnost při slabém osvětlení	Kratší životnost
Nižší cena za watt	
Minimální vliv na životní prostředí	

Tab. 3-3 Vlastnosti tenkovrstvých modulů [15]

Tyto moduly jsou vhodné pro rozsáhlé střechy velkých průmyslových budov, protože jsou lehké a zároveň je na střeše dostatečná plocha pro instalaci požadovaného výkonu. Díky jejich flexibilitě je můžeme také použít zakřivené. [15]

3.4.2 Bateriový systém

Baterie slouží k zefektivnění využití vyrobené energie fotovoltaickými panely. Jsou výhodné, když se nepřekrývá naše spotřeba energie s její výrobou. Takovým případem může být domácnost, kde přes den jsou všichni v práci a spotřeba elektrické energie v poledne je minimální, přestože je výroba energie pomocí FVE maximální. V takovém případě je vhodné využít bateriový systém, ve kterém se energie vyrobená přes den uloží a spotřebitel ji využije při návratu domů.

Nespornou nevýhodou akumulace elektrické energie je značné prodražení projektu.

Z velkého množství různých baterií se pro FVE využívají olověné akumulátory, lithium-iontové baterie, baterie s molybdenem a vanadiem a sodíkovo – niklové baterie. [16]

3.4.2.1 Olověné baterie

Olověné baterie se vyznačují nízkou pořizovací cenou a slušnou životností. Jejich nevýhodou je nižší energetická hustota, tedy při stejné kapacitě zaberou větší prostor. Navíc mohou být náročné na údržbu. [16]

3.4.2.2 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontové baterie se naopak vyznačují velkou energetickou hustotou, dlouhou životností, vysokými vybíjecími i nabíjecími proudy a minimální potřebou údržby. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena, ale díky jejich dlouhé životnosti mohou být dlouhodobě ekonomičtější volbou. [16]

3.4.2.3 Baterie s molybdenem a vanadiem a sodíkovo – niklové baterie

Tyto typy baterií jsou poměrně nové na trhu a mají své výhody. Baterie s molybdenem a vanadiem se vyznačují vysokou účinností a životností. Sodíkovo – niklové baterie se vyznačují vysokou odolností vůči extrémním teplotám a jejich životnost je také dlouhodobá. [16]

3.4.3 Střídač

Hlavním úkolem měniče je rozstřídat stejnosměrné napětí na výstupu fotovoltaických panelů na střídavé napětí vhodné pro zátěž. Dalšími úkony, které provádí, jsou optimalizace výkonu FV panelů, monitoring a regulace parametrů tak, aby byl jeho provoz bezpečný. Střídač se také snaží o maximální využití energie vyrobené FV panely. Některé střídače mohou pracovat i v ostrovním systému, tedy fungovat jako záložní zdroje.

Jednou z možných funkcí střídače je MPP regulace. Protože se s časem mění pracovní podmínky FV modulů, mění se i jejich výstupní hodnoty. MPP regulace zajišťuje optimální využití FV modulů tak, že mění připojenou zátěž na výstupu modulů. Díky tomu maximalizuje vyrobenou elektrickou energii, protože panel pracuje v bodě maximálního výkonu. Bod maximálního výkonu ve voltampérové charakteristice můžeme vidět v grafu č. 3-1. [17]

3.4.3.1 Dělení střídačů využívaných pro fotovoltaické elektrárny

Rozdělení podle počtu fází:

- jednofázové – vhodné pro malé výkony, nebo pro objekty s jednofázovým rozvodem,
- třífázové – vhodné pro velké výkony.

Rozdělení podle instalace měniče:

- centrální měnič – běžný měnič namontovaný v technické místnosti,
- modulový měnič – využití pouze pro malé instalace, a montuje se pod FV modul.

Rozdělení podle fotovoltaického systému:

- on-grid měniče,
- off-grid měniče,

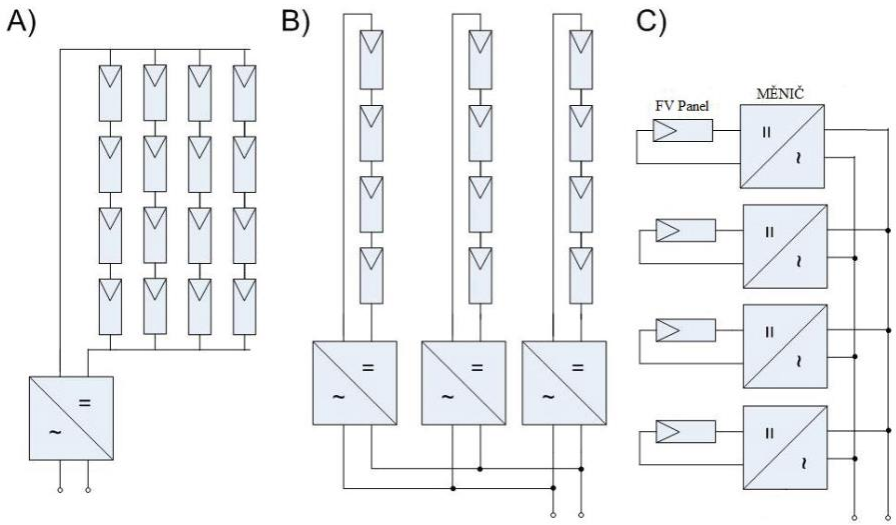
- hybridní měniče.

Třífázové měniče také můžeme rozdělit na:

- symetrické – do každé fáze rozvodu dodávají stejný výkon,
- asymetrické – dokáží do každé fáze dodávat jiný výkon. [18]

3.4.3.2 Zapojení měničů

Propojení fotovoltaických modulů se střídači může být několika způsoby. Tyto způsoby se dělí podle počtu připojených modulů na jeden střídač. První propojení je specifické centrálním střídačem. V tomto případě je použit pouze jeden střídač na celé fotovoltaické pole. V druhém případě je roven počet střídačů a stringů, tedy jednotlivé stringy jsou připojeny na jednotlivé střídače. V posledním případě má každý panel svůj střídač. Tohoto zapojení se využívá pouze pro malé systémy. Běžně se využívají zapojení s centrálním střídačem nebo řetězcová provedení. [2]



Obr. 3-13 Zapojení měničů [2]

kde A) - centrální střídač,
B) - řetězcový střídač,
C) - modulový střídač.

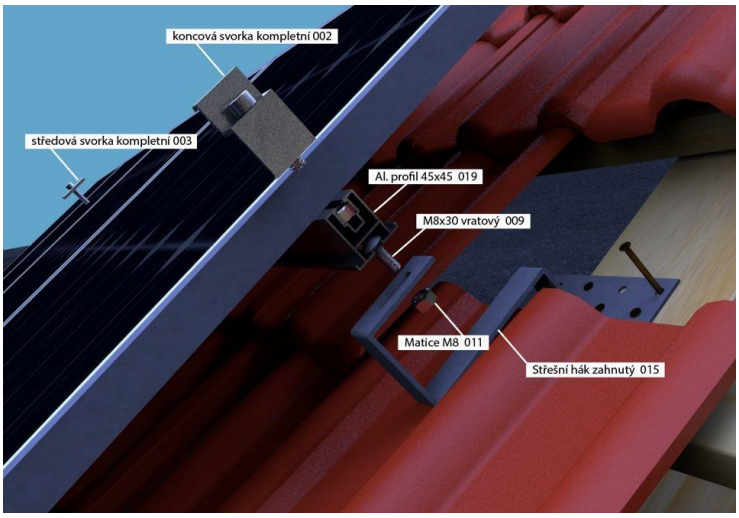
3.4.4 Nosné konstrukce

Nosná konstrukce, přesto že by ji mohl někdo přehlédnout, je důležitým komponentem fotovoltaické elektrárny. Jak z názvu vyplývá, je určena k tomu, aby držela FV panely na daném místě s daným sklonem a orientací.

3.4.4.1 Konstrukce pro sedlové střechy

Typickým využitím pro tyto konstrukce jsou malé instalace pro rodinné domy. Ideálním případem je, když střecha má sklon přibližně 35° a je orientována na jih. [2]

Konstrukce je tvořena hliníkovými profily a spojovacím materiálem. Na střechu může být přimontována pomocí šroubů, které jsou provrtány skrze vrstvy střešní krytiny, nebo háků, které jsou vloženy mezi vrstvy střešní krytiny. V obou případech je konstrukce připevněna k nosné konstrukci střechy. [2]

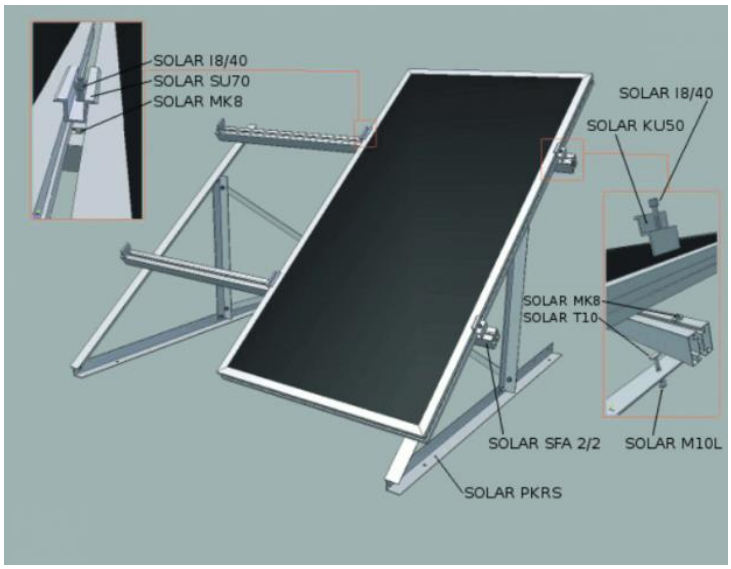


Obr. 3-14 Konstrukce pro sedlové střechy [50]

3.4.4.2 Konstrukce pro ploché střechy a volná prostranství

Konstrukce je tvořena většinou profily spojenými do trojúhelníkového tvaru, aby bylo dosaženo požadovaného sklonu FV panelů. Trojúhelníky jsou navíc vzájemně spojeny dalšími profily, aby byla dosažena větší odolnost nosné konstrukce. [2]

Připevnění může být řešeno zatížením například betonovými bloky nebo připevněním k povrchu. V případě střešních prostor například chemickými kotvami a v případě louky betonovými základy. [2]



Obr. 3-15 Konstrukce pro ploché střechy [51]

3.4.4.3 Polohovatelné systémy

Těmto systémům se také říká trackery, a jsou nejlepším možným systémem pro FV elektrárny. Umožňují naklonění FV panelů tak, aby byly optimálně natočené vůči Slunci. [2]

Obr. 3-16 Polohovatelný systém [52]

Výhodou je zvýšení vyrobené elektrické energie až o 35 %, nicméně je nutné provádět pravidelnou údržbu těchto systémů. Nesmíme také zapomínat na jejich vlastní spotřebu. [2]

3.5 Návrh fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt

Při návrhu FVE postupujeme následovně:

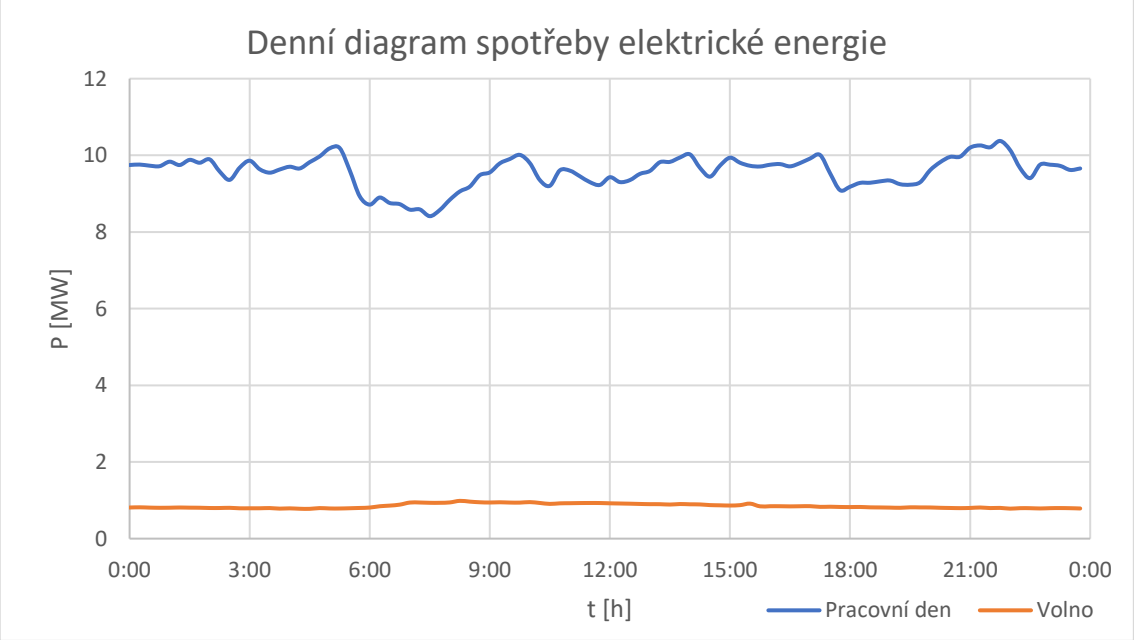
1. Odborná prohlídka (využitelné plochy, zastínění, nosnost střechy a jiné)
2. Předběžný náčrt technického provedení a určení instalovaného výkonu
3. Zažádání o možnost připojení
4. Souhlas všech majitelů objektu
5. Vyhotovení studie připojitelnosti
6. Vypracování projektové dokumentace a vyřízení stavebního povolení [2]

3.5.1 Průmyslový objekt

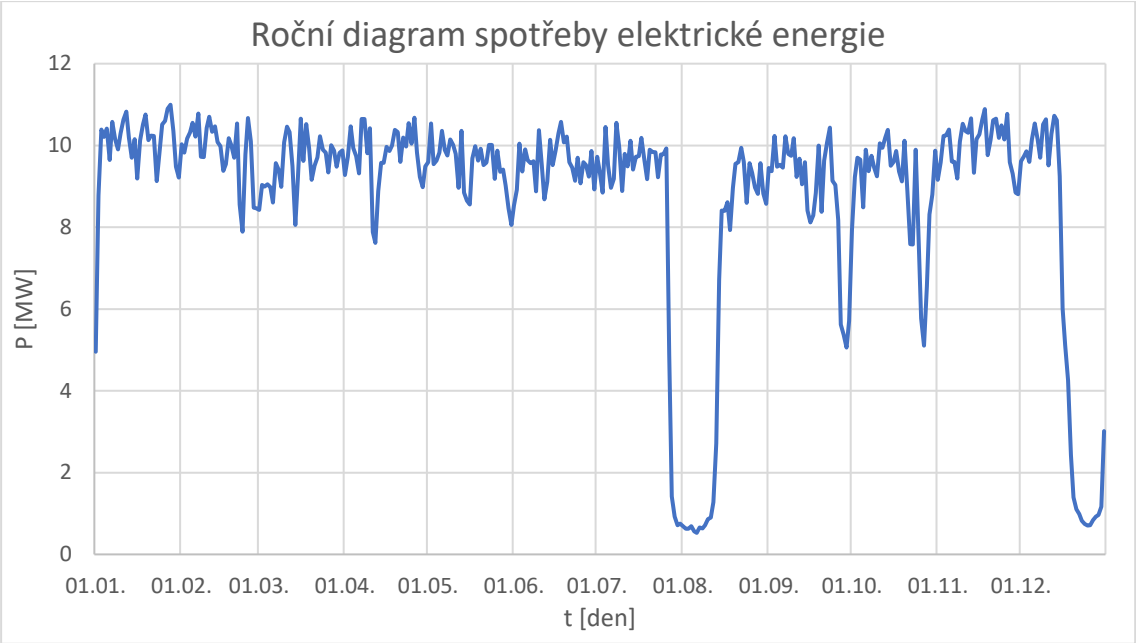
Tento průmyslový objekt je anonymizován z důvodu obchodního tajemství. Umístění tohoto podniku je fiktivní, a pro výpočet výroby elektrické energie budou využity souřadnice 49.835794934246046, 14.587194813275914. Objekt je tedy fiktivně umístěn v Týnci nad Sázavou.

Podnik se skládá z několika budov. Na dvě z nich budu navrhovat FVE. Tyto střechy jsou typické pro průmyslové objekty skládající se z několika hal. Sklon těchto střech je 15° a každá je jinak orientovaná. Část střechy budovy A, vhodná pro umístění fotovoltaických panelů, je orientována na jihovýchod. Střecha budovy B je orientovaná na jihozápad.

Odběr elektrické energie objektem je znázorněn v následujících grafech:



Graf 3-5 Denní diagram spotřeby elektrické energie [vlastní tvorba]



Graf 3-6 Roční diagram spotřeby elektrické energie [vlastní tvorba]

Z grafů můžeme vidět, že v průmyslovém objektu funguje nepřerušovaný provoz s výjimkami celozávodních dovolených.

Data spotřeby elektrické energie jsou přiložené v souboru vypocty.xlsx.

3.5.2 Software

Pro odhad intenzity záření jsem využil software PVGIS – PhotoVoltaic Geographical Information System. Tento výpočetní nástroj je volně dostupný na oficiálních webových stránkách Evropské unie [19]. Tento nástroj odhadne intenzitu slunečního záření za daný časový interval, při zvolení lokace, sklonu modulů a jejich orientaci vůči jihu. Následně je možné data exportovat pro další práci s nimi.

3.5.3 Výběr fotovoltaického modulu

Pro daný průmyslový objekt jsem vybral monokrystalický fotovoltaický modul. Protože je plocha výstavby FVE značně omezena, vysoká účinnost monokrystalického modulu maximalizuje výnosy z této plochy. Přesto instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny nebude dostatečný na pokrytí celé spotřeby průmyslového podniku. Výhodou monokrystalických panelů je jejich životnost, a tedy i dlouhodobost investice.

Modul-LONGi LR5-66HIH-505M	
Výkon [Wp]	505,00
Napětí naprázdno [V]	45,70
Zkratový proud [A]	13,97
Jmenovité napětí [V]	38,53
Jmenovitý proud [A]	13,11
Účinnost [%]	21,30
Rozměr A [mm]	2 093,00
Rozměr B [mm]	1 134,00
Maximální systémové napětí [V]	1 500,00
Teplotní koeficient napětí [%·K^{-1}]	-0,27

Tab. 3-4 Parametry vybraného modulu [20]

Tento modul má měděné výstupní vodiče o průřezu 4 mm^2, které jsou vybaveny konektory MC4 EVO2. [20]

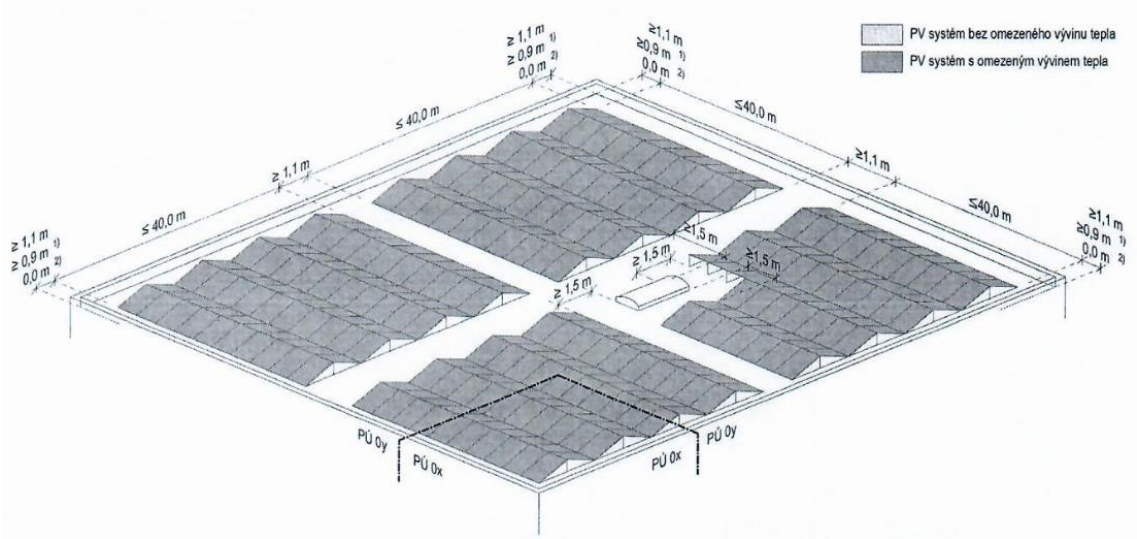
3.5.4 Dispozice fotovoltaických modulů na střeše průmyslového objektu

Norma ČSN P 73 0847 stanovuje rozložení modulů tak, aby byly zachovány uličky a volné prostory pro případ nutného požárního zásahu. [21]

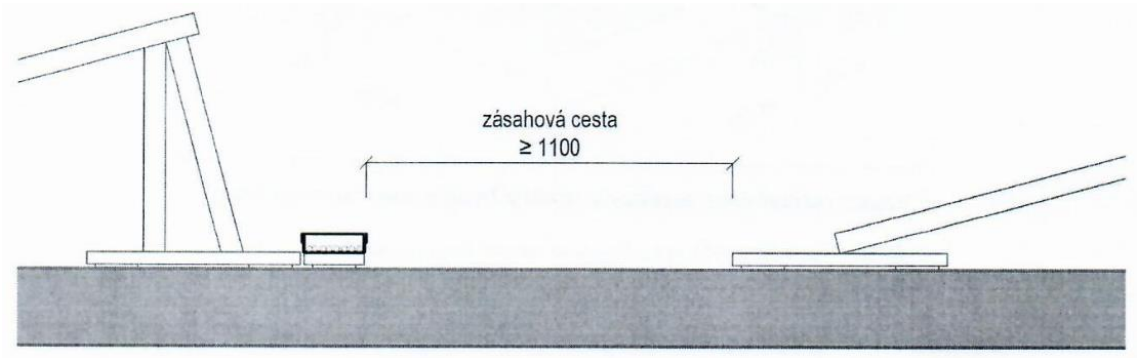
Pro vybraný typ modulu platí následující podmínky rozmístění:

- *okolo výlezů a výstupů na střechu požadovaných podle norem řady ČSN 73 08xx musí být volný prostor do vzdálenosti 1,5 m, přičemž na tento prostor musí navazovat ulička mezi PV poli (stejný požadavek platí i v místech žebříku mezi úrovněmi střechy apod.);*
- *pro hloubku PV pole větší než 10 m je nutné mezi vnějším okrajem ploché střechy (resp. mezi vnitřním lícem atiky u střech s atikou) a PV modulem musí být zachován průchod aspoň 1,1 m, pokud je na okraji střechy instalováno zábradlí apod., lze tento požadavek snížit až na 0,9 m; tento požadavek není nutné realizovat v případě, že hloubka pole (kolmo na okraj střechy) od první průběžné uličky je maximálně 10 m;*
- *maximální rozměr strany PV pole je 40 m (maximální plocha PV pole je tedy 1600 m^2). Mezi jednotlivými poli musí být ulička s šířkou alespoň 1,1 m (viz Obr. 3-15);*
- *Vzdálenost PV modulů, kabelových vedení a kabelových spojů od střešních světlíků ve střešním plášti je minimálně 0,6 m;*
- *v místě požární stěny, která prostupuje skrz střešní plášť, je vytvořena ulička široká 0,9 m na každou stranu stěny;*
- *PV systém nesmí bránit ve funkci instalovaným systémům požární bezpečnosti staveb (například zařízení pro odvod kouře a tepla – ZOKT), musí být minimálně 1,5 m od těchto zařízení (ZOKT) a nesmí půdorysně zasahovat do světlíků ZOKT v otevřené poloze.* [21]

Norma také dodává, že celá šířka uličky musí být volně průchodná. V uličce tedy nemohou být ani podélně vedené kabelové žlaby. [21]



Obr. 3-15 Příklad dispozice PV systému s omezeným vývinem tepla [21]



Obr. 3-16 Průchozí profil zásahové cesty [21]

Protože sklon střechy je 15°, tak pro uchycení fotovoltaických panelů bude využita konstrukce pro šikmé střechy. Jak už bylo zmíněno v kapitole č. 3.2.4, aby nevznikalo vzájemné zastínění modulů ani v zimě, kdy sluneční záření v našich končinách dopadá na zemský povrch pod úhlem 17°, měl by být proveden výpočet vzdálenosti mezi jednotlivými moduly. Ale protože sklon střechy je menší než 17°, tak tento výpočet provádět nemusíme, protože vzdálenost mezi panely bude dokonce větší.

Návrh dispozice fotovoltaických panelů na střeše budovy A je v příloze č. 1. Na střeše je rozmístěno 2 430 fotovoltaických panelů o celkovém instalovaném výkonu 1 227,2 kWp. V příloze č. 2 je návrh pro budovu B, která je ještě o něco větší, proto je na ní umístěno 4 220 modulů. O celkovém instalovaném výkonu 2 131,1 kWp.

3.5.5 Výběr měniče

Ideální pro tento objekt, který se skládá z několika budov, je využít více menších měničů, které budou připojeny co nejblíže k místu spotřeby elektrické energie. V případě, že v místě spotřeby nebude zrovna dostatečný odběr, dodávaný výkon bude převeden na vyšší napěťovou hladinu a spotřebován v jiném místě průmyslového objektu.

Proto jsem vybral střídače od SolarEdge. Konkrétně třífázový měnič se synergickou technologií SE100K, jehož jmenovitý zdánlivý výkon je 100 kVA. Tento střídač také podporuje až 75% předimenzování. To je vhodné pro aplikace, kdy část připojených modulů je orientována na východ a druhá na západ. [22]

Měnič SE100K	
AC-jmenovitý výkon [kW]	100,0
AC-jmenovité napětí [V]	400,0/230,0
Frekvence [Hz]	50,0
Účiník [-]	0,2 – 1,0
DC-maximální výkon [kW]	175,0
DC-jmenovité napětí [V]	1000,0
DC-provozní napětí [V]	680,0-1000,0
Maximální účinnost [%]	98,3
Euro-eta účinnost [%]	98,0

Tab. 3-5 Měnič SE100K [22]

Součástí tohoto měniče není MPP tracker a ani ho firma nevyrábí, na místo toho se používají optimizéry. Ty jsou speciálně navrženy pro střídače tohoto výrobce. Já podle vybraného FV modulu zvolil optimizér S1200, protože jeho jmenovitý výkon je dostatečný na to, aby byl připojen na 2 moduly, a tedy bylo montováno pouze 50 % optimizérů. [22][23]

Společné použití střídačů s optimizéry přináší řadu výhod. Příkladem je jednoduchá údržba díky monitoringu na úrovni panelů, zmírnění ztrát vlivem nesouladu modulů, funkce SafeDC a další. [22][23]

Optimizér S1200	
Jmenovitý výkon [W]	1000,0
Maximální vstupní napětí [V]	125,0
Provozní rozsah MPPT [V]	12,5 - 105,0
Maximální zkratový proud [A]	15,0
Vážená účinnost [%]	98,8
Maximální výstupní proud [A]	18,0
Rozsah výstupního napětí [V]	80,0
Minimální délka stringu [ks]	14,0
Maximální jmenovitý výkon stringu [kW]	13,5

Tab. 3-6 Optimizér S1200 [23]

3.5.6 Zapojení fotovoltaických modulů

Každé dva FV moduly budou připojeny na jeden optimizér a jednotlivé optimizéry poté budou zapojeny do stringu podle údajů daných výrobcem. [23][24]

Pro optimální navržení počtu modulů ve stringu, stringů a měničů jsem využil software SolarEdge Designer.

Při zvolení 9 měničů pro budovu A, tedy předimenzování měničů přibližně o 28 %, je na každý měnič připojeno 9 stringů a v každém z nich je zapojeno 30 FV modulů a tedy 15 optimizérů.[24]

Pro budovu B volím 15 měničů, které jsou tím pádem předimenzované o 33–34 %. Na každý měnič je opět připojeno 9 stringů. Na každý z nich je připojeno 30 až 32 modulů. [24]

Protože bude připojeno pouze 9 stringů na každý měnič, tedy 3 na jednu synergickou jednotku, tak podle výrobce není potřeba jištění stejnosměrných kabelů. [25]

3.5.7 Dimenzování vodičů

Jak už bylo zmíněno v předešlé kapitole č. 3.5.3, výstupní vodiče jednotlivých modulů jsou měděné s průřezem 4 mm^2. Tento vodič bude tedy využit pro připojení dvojice panelů k optimizéru. Stejné vodiče jsou i na výstupu optimizéru, těmi budou tedy pospojovány jednotlivé optimizéry a následně vytvořený string připojen do rozvaděče, který bude v nejbližším možném místě. V něm se bude nacházet přepěťová ochrana a dojde k paralelnímu spojení tří stringů. Protože dojde k paralelnímu spojení, a navíc tento úsek bude poměrně dlouhý je potřeba nadimenzovat vodič. Každý string má maximální proud 20 A, tedy dimenzovaným vodičem poteče maximálně 60 A. Podle tabulky A.3 v normě ČSN EN 50618 by stačil průřez vodiče 10 mm^2. Musíme tedy zkontrolovat ještě úbytek na vodiči podle následující rovnice.[20][23][26]

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot S} \text{ [V]} \tag{3.5}$$

kde ΔU [V] - úbytek napětí na kabelu,
l [m] - délka kabelu,
I [A] - proud tekoucí kabelem,
S [$\mathrm{mm^2}$] - zvolený průřez vodiče,
γ [$\mathrm{S \cdot m \cdot mm^{-2}}$] - měrná elektrická vodivost.

Po dosazení odhadované délky nejdelšího úseku 220 m, proudu 60 A, průřezu vodiče 10 mm^2 a vodivosti mědi 56,2 $S{\cdot}m{\cdot}mm^{-2}$, získáme úbytek 47 V. Proto je nutné zvolit větší průřez vodiče a to 16 mm^2, potom dostaneme úbytek na vodiči 29,36 V. Pro propojení bude tedy využit vodič H1Z2Z2-K 1x16. Tento vodič povede až k přepěťovým ochranám, které budou umístěny co nejblíže k měniči. Tímto vodičem bude k přepěťovým ochranám připojen také měnič.

Postup pro dimenzování vodiče připojujícího měnič do rozvaděče bude obdobný. Nejdříve musíme vypočítat proud:

$$I = \frac{S}{U_s \cdot \sqrt{3}} \text{ [A]} \tag{3.6}$$

kde I [A] - proud tekoucí kabelem,
S [VA] - zdánlivý výkon měniče,
U_s [V] - sdružené napětí.

Po dosazení za zdánlivý výkon 100 kVA a sdružené napětí 400 V získáváme proud 144,34 A. Podle výrobce může být maximální proud 145 A, a proto musíme použít elektronický jistič s touto hodnotou. [22]

$$I_v = \frac{I_{jp}}{k} \tag{3.7}$$

kde I_v [A] - minimální proudová zatížitelnost vodiče,
I_{jp} [A] - jmenovitý proud pojistky,
k [$-$] - koeficient uložení.

Koeficient vychází z normy ČSN 33 2000-5-52 ed. 2, podle které jsem vybral uložení B2, koeficient 0,87 pro zvýšenou okolní teplotu na 40 °C. Minimální proudová zatížitelnost tedy je 166,67 A, a vybraný kabel je 1-CYKY-J 3x95+70. Není možné využít kabelu s jádrem z hliníku, protože jeho průřez je větší než maximální průřez dovolený výrobcem měniče. [27][22][25]

Pro kontrolu napěťového úbytku bude použit vzorec:

$$\Delta U = \frac{l \cdot I}{\gamma \cdot S} \text{ [V]} \tag{3.8}$$

kde ΔU [V] - úbytek napětí na kabelu,
l [m] - délka kabelu,
I [A] - proud tekoucí kabelem,
S [mm^2] - zvolený průřez vodiče,
γ [S · m · mm^{-2}] - měrná elektrická vodivost.

Maximální odhadovaná délka kabelu je 75 m, proud je 145 A, měrná elektrická vodivost mědi je 56,2 S·m·mm^{-2} a průřez 95 mm^2. Z toho dostáváme napěťový úbytek na kabelu 4,1 V.

3.5.8 Zapojení fotovoltaického systému

Jak už bylo zmíněno v předešlé kapitole č. 3.5.5, vždy budou dva fotovoltaické moduly připojeny k jednomu optimizéru. Následně se sériově spojí tyto optimizéry do jednotlivých stringů. Na střeše budou rozmístěny rozvaděče tak, aby byly co nejblíže stringům, které do nich povedou. V každém z těchto rozvaděčů bude nainstalována přepěťová ochrana a budou v něm tři stringy paralelně spojeny. Vývod z tohoto rozvaděče povede do dalšího rozvaděče, který bude co nejblíže k měniči a bude opět vybaven přepěťovou ochranou. Nakonec je připojen stejnosměrný vstup měniče. Výstup měniče musí obsahovat jistící prvek, přepěťovou ochranu, U-F ochranu, měření a bod rozpadu.

Jistící prvek chrání veškerá připojená zařízení i vodič před přetížením a zkratem. Vlivem obojího by mohlo dojít k velkým škodám.

Přepěťové ochrany slouží k ochraně před napětími, které jsou vyšší než jmenovité. Ty mohou být způsobené například přímým úderem blesku, naindukováním vlivem blízkého úderu blesku ale třeba i spínáním, změnou zátěže.

Měnič musí být chráněn ještě U-F ochranou. Ta slouží jak k ochraně měniče, tak k ochraně sítě. Měří napětí a frekvenci a při určité odchylce po určité době odepne FVE.

Bod rozpadu je prvek, který odepne střídač od sítě například při zapůsobení U-F ochrany nebo zmáčknutí stop tlačítka. Po odepnutí v případě využití systémů od SolarEdge se střídač vypne a napětí na stejnosměrné straně klesne na malou bezpečnou hodnotu. To je velkou výhodou při nutné opravě nebo v případě požáru.

3.5.9 Výpočet ročních přínosů fotovoltaické instalace

Norma ČSN EN 15316-4-6 ze souboru norem pro energetické hodnocení budov stanovuje, kolik ročně vyprodukuje FVE elektrické energie. Roční produkce se stanovuje bez ohledu na reálné provozní vlivy. Pro stanovení je uvažován pouze špičkový výkon FVE při využití určitých prvků. Tento výpočet není vhodný pro systémy s akumulací a je definován rovnicí:

$$E_{FV} = \frac{E_{SOL} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{I_{ref}} \ [\mathrm{Wh \cdot rok^{-1}}] \tag{3.9}$$

kde E_{FV} $[\mathrm{Wh \cdot rok^{-1}}]$ - elektrická energie dodaná FVE systémem,
E_{SOL} $[\mathrm{Wh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}}]$ - roční dávka slunečního ozáření,
P_{pk} [W] - špičkový výkon FVE,
f_{perf} $[-]$ - činitel výkonnosti fotovoltaického systému,
I_{ref} $[\mathrm{W \cdot m^{-2}}]$ - referenční sluneční ozáření = 1 kW·m^{-2}. [28]

Z tohoto vzorce vychází mnou využitý výpočet odhadu výroby elektrické energie v daném časovém úseku:

$$E_{FVh} = \frac{E_{SOLh} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{I_{ref}} \ [\mathrm{Wh}] \tag{3.10}$$

kde E_{FVh} [Wh] - el. energie dodaná FVE v daném časovém úseku,
E_{SOLh} $[\mathrm{Wh \cdot m^{-2}}]$ - dávka sl. ozáření během určitého časového úseku,
P_{pk} [W] - špičkový výkon FVE,
f_{perf} $[-]$ - činitel výkonnosti fotovoltaického systému,
I_{ref} $[\mathrm{W \cdot m^{-2}}]$ - referenční sluneční ozáření = 1 kW·m^{-2}.

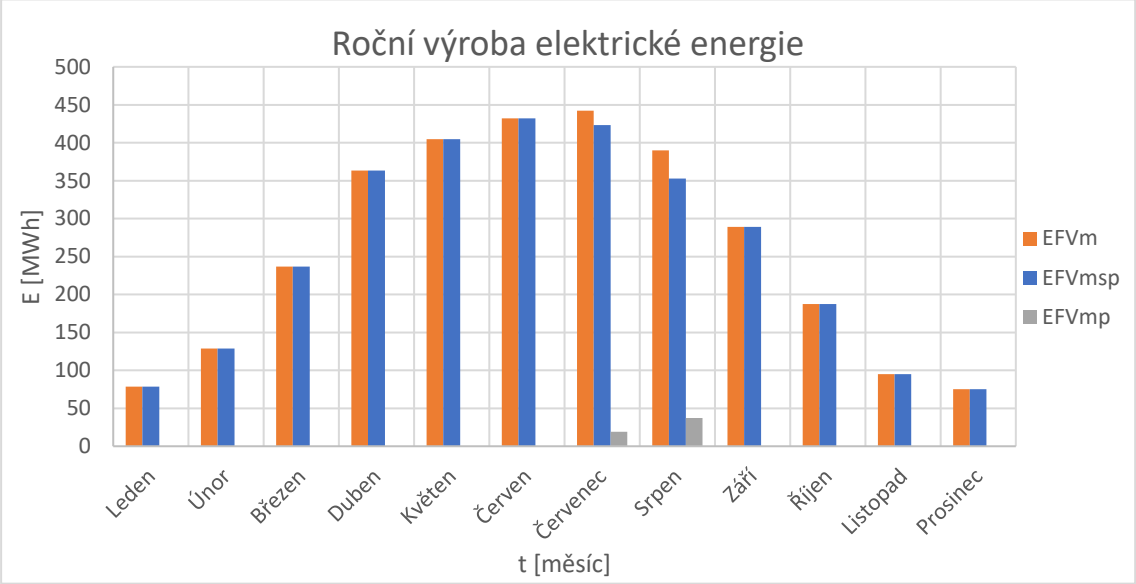
Pro výpočet jsem za f_{perf} zvolil 0,75 podle tabulky č. 3-7. Za špičkový výkon bylo dosazeno 1 227,15 kW pro budovu A a pro budovu B 2 131,10 kW. Za dávku slunečního ozáření byl dosazen výstup ze softwaru PVGIS, o kterém byla zmínka již v kapitole č. 3.5.2. Výstup z PVGIS je v tabulkách v příloze č. 3. A výsledky rovnice 3.10 můžeme vidět vynesené do grafů č. 3-7 a č. 3-8 v další kapitole a příloze č. 4. Tyto výpočty jsou také obsažené v přiloženém souboru vypocty.xlsx.

Druh integrace FV modulu do budovy	f_{perf} [-]
Nevětrané moduly	0,70
Mírně větrané moduly	0,75
Silně větrané anebo nuceně větrané moduly	0,80

Tab. 3-7 Činitel výkonnosti fotovoltaického systému [28]

3.5.10 Vyrobená elektrická energie

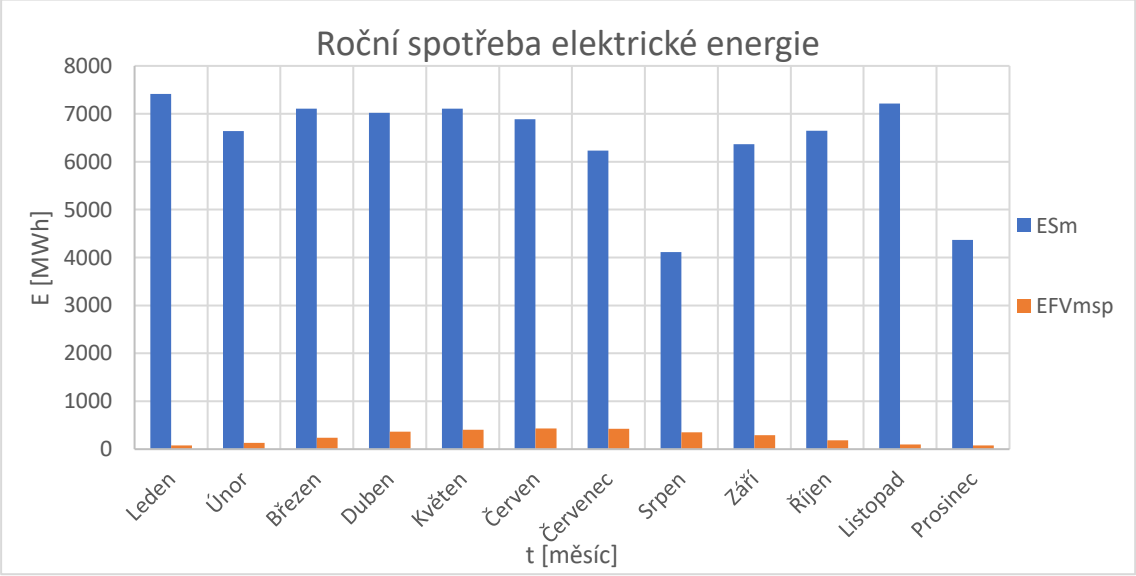
Za rok navržená fotovoltaická elektrárna vyrobí 3 123,18 MWh elektrické energie. Z té je většina využita v průmyslovém objektu 3 066,76 MWh. Roční přetok tedy je 56,42 MWh. Výroba v jednotlivých měsících je znázorněna v následujícím grafu:



Graf 3-7 Roční výroba elektrické energie [vlastní tvorba]

kde EFVm [MWh] - energie vyrobená pomocí FVE,
EFVmsp [MWh] - část vyrobené energie spotřebované podnikem
EFVmp [MWh] - přetok energie.

V následujícím grafu je možné vidět porovnání celkové elektrické energie spotřebované průmyslovým podnikem se spotřebovanou energií vyrobenou pomocí FVE, která je umístěna na jeho střeše.



Graf 3-8 Roční spotřeba elektrické energie [vlastní tvorba]

kde ESm [MWh] - spotřebovaná el. energie průmyslovým objektem,
EFVmsp [MWh] - el. energie vyrobená pomocí FVE.

Můžeme vidět, že je velký nepoměr mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. To je způsobeno energeticky náročným průmyslem v tomto podniku a k tomu poměrně malé ploše střech určených pro výstavbu FVE. Celoroční výroba elektrické energie pokryje pouze 3,98 % spotřeby podniku. Dalších 0,07 % je přetok do sítě.

Tato malá produkce nese s sebou i jistou výhodu. Během normálního pracovního dne bude veškerá vyrobená energie spotřebována v průmyslovém objektu.

V grafech z přílohy č. 4 můžeme vidět, jak se výroba elektrické energie mění během průměrného dne v daném měsíci. Je v nich i patrná rozdílná orientace střech. Budova A je orientována na jihovýchod, a tak FVE na její střeše v ranních hodinách vyrábí více než FVE na střeše B, přestože je její instalovaný výkon přibližně dvojnásobný. Naopak FVE na střeše B je orientována na jihozápad, a proto je efektivnější v podvečerních hodinách.

4 ZÁLOŽNÍ ZDROJ ELEKTŘINY PRO PRŮMYSLOVÝ OBJEKT

Výstavbou záložního zdroje můžeme v některých případech ochránit lidské zdraví, zamezit vzniku škod na majetku, které by vedly k ušlým ziskům, popřípadě samotným ušlým ziskům během výpadku.

4.1 Stupně důležitosti spotřeby

Není určeno žádnou normou, jaký typ záložního zdroje by měl být použit. Ale dle normy ČSN 34 1610 Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách jsou rozlišovány 3 stupně důležitosti spotřeby. [29]

4.1.1 1. stupeň důležitosti spotřeby

Do tohoto stupně spadají zařízení, které mají nejvyšší prioritu. Protože výpadek napájení může způsobit velké ekonomické ztráty nebo dokonce ohrozit lidské zdraví. Řadíme sem například operační sály nebo elektrické tavicí pece. [29]

Tyto spotřebiče musí být vybaveny záložním zdrojem, aby nedošlo k jejich výpadku. [29]

4.1.2 2. stupeň důležitosti spotřeby

U spotřebičů v této skupině může dojít ke krátkodobému výpadku, protože při něm nedochází k ohrožení lidského zdraví a ani k velkým ekonomickým ztrátám. Při výpadku elektrické energie dochází pouze ke zpomalení nebo zastavení výroby. Příkladem mohou být průmyslové objekty nebo obráběcí stroje. [29]

Obnova dodávky elektrické energie by měla být co nejrychlejší, ale není nutné zajištění proti jejich výpadku. [29]

4.1.3 3. stupeň důležitosti spotřeby

Sem spadá zbytek spotřebičů, kterým nemusíme dodávku elektrické energie zajistit zvláštním opatřením. Spadají sem například domácnosti, školy, úřady, sklady. [29]

4.2 Rozdělení záložních zdrojů

Záložní zdroje můžeme rozdělit podle výstupního napětí:

Dalším rozdělením je podle způsobu přeměny energie:

- statické zdroje,
- rotační zdroje,
- chemické zdroje.

4.2.1 Statické zdroje

Tyto zdroje se vyznačují nepřerušovanou dodávkou elektrické energie spotřebiči. Proto se také označují UPS (neboli Uninterruptible Power Supply). Dokonce dokáží zvýšit kvalitu dodávané elektrické energie spotřebiči při kolísání napětí. [30]

Většinou jsou UPS schopny nahradit napájení pouze na několik jednotek až desítek minut, ale to je dostatečně dlouhá doba pro spuštění jiného záložního zdroje. [30]

Základem každé UPS je usměrňovač, střídač a akumulátor. Kde usměrňovač se střídačem určují základní parametry, a tedy i kvalitu UPS (napětí, výkon, účinnost, frekvence a obsah vyšších harmonických). Zatímco akumulátor určuje dobu, po kterou je UPS schopna dodávat energii při výpadku. [30]

4.2.1.1 Usměrňovač

Hlavní funkcí usměrňovače je nabíjení akumulátoru. V některých případech slouží i pro napájení střídače v běžném režimu. [30]

Výrobce klade podmínky pro nabíjení a udržování napětí akumulátoru tak, aby měl akumulátor dlouhou životnost a neohrozil své okolí. Tyto podmínky musí být usměrňovačem splněny:

- maximální nabíjecí proud,
- maximální nabíjecí napětí,
- velikost a tolerance udržovacího napětí akumulátoru. [30]

4.2.1.2 Střídač

Střídač v UPS má funkci přeměny stejnosměrného napětí akumulátoru na střídavé napětí vhodné pro zálohovaný spotřebič. V některých případech i rozstřídání stejnosměrného napětí na výstupu usměrňovače. [30]

4.2.1.3 Akumulátor

Při normálním bezporuchovém provozu je akumulátor nabíjen anebo jen udržován. V případě výpadku UPS napájí spotřebič energií, která je v akumulátoru uložena.

Akumulátor pro UPS může být jakéhokoliv typu, když UPS je schopna splnit podmínky dané jeho výrobcem. Ale používají se buď olověné nebo niklkadmiové. Většinou se používají olověné z důvodu jejich nízkých pořizovacích nákladů. Niklkadmiové se používají v aplikacích, kde je kladen velký důraz na spolehlivost a životnost, jako jsou například záložní zdroje v jaderných elektrárnách. [30]

Důležitým parametrem akumulátoru je doba zálohování, ten udává dobu, po kterou je UPS v případě výpadku schopná dodávat jmenovitý výkon za předpokladu, že akumulátory před začátkem vybíjení byly plně nabité. Z důvodu snižování kapacity akumulátoru vlivem stárnutí, se v praxi uvádí zálohovací doba, která odpovídá pouze 80 % kapacity nové baterie. [30]

Životnost akumulátorů můžeme ovlivnit způsobem dobíjení, provozní teplotou, přítomností vyšších harmonických v nabíjecím proudu.

Roční průměrná teplota akumulátorů [°C]	Snížení kapacity [%]
20	0
25	25
30	50
35	66
40	75
45	83

Tab. 4-1 Vliv teploty na kapacitu akumulátoru [30]

4.2.2 Rotační zdroje

Zástupci rotačních záložních zdrojů jsou motorgenerátor a setrvačník.

4.2.2.1 Motorgenerátor

Motorgenerátor v případě výpadku elektrické energie, přetváří energii uloženou v palivu na kinetickou a tu následně na energii elektrickou.

Základní soustrojí motorgenerátoru se skládá z motoru a alternátoru. Motor bývá nejčastěji poháněn naftou, ale může být i benzínový nebo plynový. Synchronní alternátor má většinou jednu nebo dvě pólové dvojice. [31]

Aby mohl motorgenerátor fungovat musí být doplněn ještě o palivovou nádrž, startovací systém, chladicí systém, vývod elektrického výkonu, měření a regulaci. [31]

Měření a regulace je umístěna v rozvaděči a plní funkce, které jsou důležité pro spolehlivý chod. Těmito funkcemi jsou start a stop motoru, diagnostika celého systému, měření vstupních a výstupních parametrů, přepojování zátěže a dobíjení startovacích baterií. [31]

Při výpadku motorgenerátor není schopen ihned začít napájet plnou zátěž, to je způsobeno dobou, která je nutná pro start a rozběh do plných otáček. Proto bývá doplněn ještě jiným záložním zdrojem, který je schopný pokrýt výpadek ihned. [31]

4.2.2.2 Setrvačník

Setrvačník je v podstatě synchronní stroj, který v normálním bezporuchovém provozu je v motorickém režimu. Rotor se roztočí na 7 700 ot·min^{-1} a obvodová rychlost setrvačníku se blíží rychlosti zvuku. Setrvačník takto získá kinetickou energii, kterou si udržuje. [31]

Při výpadku je stroj v generátorovém režimu. Do statoru se začne indukovat střídavé napětí a rotor začne zpomalovat. Protože klesá rychlost otáčení rotoru klesá i indukované napětí v kotvě. Aby bylo napětí na výstupu konstantní je usměrněno a následně rozstřídáno tak, aby na výstupu bylo konstantní napětí 400 V s konstantní frekvencí 50 Hz. [31]

Setrvačník je schopen dodávat elektrickou energii jen pár vteřin, které jsou nutné pro nastartování motorgenerátoru. [31]

4.2.2.3 Kombinace setrvačníku a motorgenerátoru

Kombinací obou zařízení získáme záložní zdroj, který má okamžitý náběh a dokáže pokrýt i dlouhé výpadky elektrické energie. Setrvačník je v normálním provozu roztočen a slouží pro vyrovnávání výkyvů napájení. Při výpadku je během prvních vteřin jeho kinetická energie přeměňována na elektrickou. Během toho se nastartuje a rozeběhne na pracovní otáčky spalovací motor, který je následně připojen na hřídel statoalternátoru, který pohání. [32]

Obr. 4-1 Záložní zdroj DUPS[32]

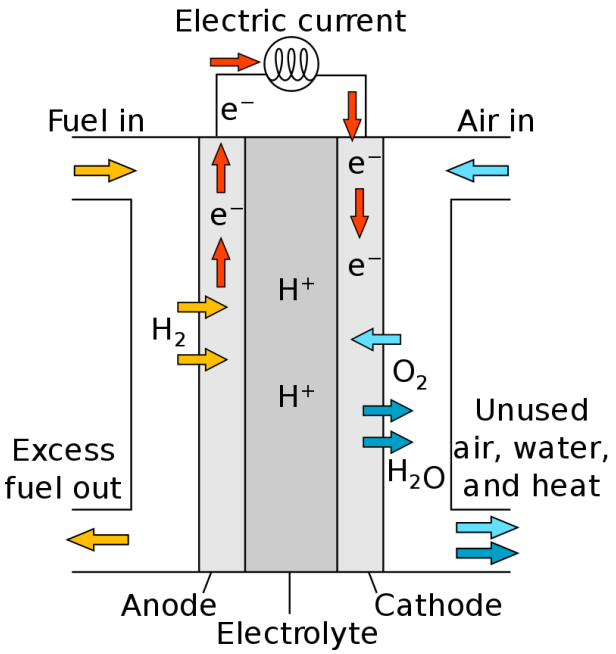
Kde zleva statoalternátor, setrvačník, spojka a dieselový motor. [32]

4.2.3 Chemické zdroje

Do této kategorie spadají palivové články. To jsou zařízení, které přímo mění energii chemickou na energii elektrickou. Na rozdíl od běžných akumulátorů potřebují neustálý přívod paliva. To v článku za vzniku různých sloučenin reaguje s oxidačním činidlem. Podle použitého paliva a typu článku, se produkuje elektrická energie. [29][33]

Základními komponenty palivového článku jsou anoda, katoda a elektrolyt nebo membrána.

Palivo je přivedeno na anodu. Na jejím povrchu se dělí na elektrony a kladné ionty. Elektrolyt či membrána propouští pouze kladné ionty od anody ke katodě, proto elektrony tečou skrze elektrický obvod a vytváří tak elektrický proud. Po průchodu kladných iontů i elektronů na katodu palivového článku dojde k jejich sloučení s oxidačním činidlem a vzniku odpadních látek. Při využití této reakce pro výrobu elektrické energie dosahujeme účinnosti 40 až 60 %. [33]



Obr. 4-2 Princip palivového článku [53]

Přestože existuje spousta typů palivových článků, pro záložní zdroje se využívá zejména PEMFC – Polymer Elektrolyte Membrane Fuel Cell. Tento článek pro oddělení katody od anody využívá polymerovou membránu. Díky té odpadají problémy spojené s korozivními vlastnostmi elektrolytu. Membrána ale musí být vlhká, aby článek správně fungoval. Proto musí být rovnováha mezi vznikem a odparem či odvodem vody z membrány. Palivem článku může být vodík nebo například i metanol. [29][33]

4.3 Návrh záložního zdroje pro průmyslový objekt

4.3.1 Průmyslový objekt

V průmyslovém objektu se nacházejí zařízení, u kterých nesmí dojít k výpadku delšímu jak několik minut. Kdyby byl výpadek delší došlo by k trvalému poškození těchto strojů.

Z potřebného příkonu, který je 1 MW vyplývá, že pro daný průmyslový podnik není možné využít pouze UPS s bateriovým uložištěm. Protože by bylo bateriové uložiště příliš velké a nákladné. Jednotlivá zařízení sice spadají do 1. stupně důležitosti spotřeby, ale časové prodlení do náběhu záložního zdroje může být několik minut, a proto postačí využít elektrocentrálu.

4.3.2 Výběr elektrocentrály

Při výběru záložního zdroje se musíme zaměřit hned na několik jeho parametrů:

- výkon záložního zdroje,
- velikost napětí na výstupu záložního zdroje,
- frekvence výstupního napětí,
- doba výpadku,
- velikost palivové nádrže,
- spotřeba,
- hlučnost,
- konstrukce a provedení.

Pro výběr záložního zdroje byly zásadní parametry v tabulce:

Parametry pro výběr záložního zdroje	
Příkon [kW]	1 000
Zdánlivý příkon [kVA]	1 200
Sdružené napětí [kV]	10
Minimální doba zálohy [h]	6

Tab. 4-2 Parametry pro výběr záložního zdroje [vlastní tvorba]

Podle parametrů jsem vybral soustrojí od značky Caterpillar Inc., jejíž distributorem v ČR je Zeppelin CZ s.r.o. Poskytují špičkové stroje s nízkými provozními náklady, dlouhou životností a spolehlivostí, robustní konstrukcí, vysokým výkonem při nízkých emisích a široký rozsah výkonů. [34]

Vybrané soustrojí má jmenovitý zdánlivý výkon 1 400 kVA, a je v kontejnerovém provedení, aby jej bylo možné umístit vedle rozvodny, aniž by se stavěla nová budova, do které by se záložní zdroj umístil. Okolo rozvodny je asfaltový povrch, proto není nutné plochu pro záložní zdroj

stavebně upravovat. Pouze před umístěním záložního zdroje se provede výkop a položení kabelového svazku. Po umístění záložního zdroje se propojí s rozvodnou.

Kompletní sestava záložního zdroje je v jednom kontejneru o rozměrech D 9 120 mm, Š 2 438 mm, V 2 591 mm. Navíc je na střeše kontejneru zařízení pro odvod spalin, po jeho namontování je celková výška 3 950 mm. [Cat DE1400 GC]

Záložní zdroj Cat DE1400 GC	
Zdánlivý výkon [kVA]	1400,0
Výkon [kW]	1120,0
Napětí [kV]	10,0
Frekvence [Hz]	50,0
Spotřeba při plném zatížení [$l \cdot h^{-1}$]	292,1
Provedení	Kontejner
Velikost palivové nádrže [l]	2000,0
Minimální doba zálohy [h]	6,8

Tab. 4-3 Parametry vybraného záložního zdroje [Cat DE1400 GC]

Zásadní bude, že se v případě výpadku odpojí veškeré zařízení, které není nutné zálohovat, protože by došlo k přetížení elektrocentrály. Ta by v takovém případě nedokázala dodávat dostatečně kvalitní výkon ani zařízením, které chrání před výpadkem.

Výrobce záložního zdroje také ve svém katalogu udává, že je nutné, aby měl motor výkonovou rezervu 10 % jmenovitého výkonu elektrocentrály. Proto nebude možné připojit žádný další spotřebič při výpadku.

Palivová nádrž o tomto objemu je integrována v kontejneru, ve kterém je také záložní zdroj. V případě potřeby je samozřejmě možné zvětšení palivové nádrže, ale to by znamenalo další kontejner, a tedy i obsazení větší plochy.

4.3.3 Návrh kabelu pro připojení elektrocentrály

Elektrocentrála má jištěný vývod proti zkratu, jistícím prvkem s jmenovitým proudem 100 A. Průřez vodiče musí být takový, aby byla jeho proudová zatížitelnost větší než jmenovitý proud jistícího prvku. Proto volím kabel 10-AXEKVCEY 1x35/16 jehož proudová zatížitelnost udávaná výrobcem je 145 A. [35]

Pro kontrolu je pak počítán úbytek na vodiči pomocí rovnice:

$$\Delta U = \frac{R \cdot l \cdot S_{ZZ}}{U_s \cdot \sqrt{3}} \text{ [V]} \tag{4.1}$$

kde ΔU [V] - úbytek napětí na kabelu,
l [km] - délka kabelu,
S_{ZZ} [VA] - zdánlivý výkon záložního zdroje,
R [$\Omega \cdot \mathrm{km}^{-1}$] - odpor kabelu,
U_s [V] - sdružené napětí.

Po dosazení odhadované délky 50 m, zdánlivém výkonu záložního zdroje 1 400 kVA, odporu kabelu 0,868 Ω·km^{-1}, sdruženého napětí 10 kV získáme úbytek napětí na vodiči ΔU = 3,5 V. [35]

4.3.4 Připojení do rozvodny

Na výstupu alternátoru je jistící prvek, který chrání jak elektrocentrálu, tak vodič, kterým je připojena, před přetížením a zkratovými proudy. Jistící prvek je umístěn také v rozvodně. Na vývodu z rozvodny musí být také odpojovač, kterým se v případě potřeby odbočka s elektrocentrálou viditelně odpojí od přípojnic rozvodny.

Pro správnou funkci je nutné, aby byl motorgenerátor vybaven měřením a regulačním obvodem. Ty zajišťují správné otáčky motoru, a tedy i frekvenci. Tyto obvody také mění buzení alternátoru tak, aby bylo na výstupu požadované napětí.

V případě výpadku je nutné odpojit veškerá zařízení, která nepotřebují být zálohována. Kdyby se tak neučinilo, záložní zdroj by byl přetížen a nedokázal by plnit svojí funkci, ani pro zařízení, které je nutné zálohovat.

4.3.5 Spolupráce záložního zdroje a fotovoltaické elektrárny

V případě výpadku dojde i k přerušení napájení měniče ze střídavé strany a měnič tedy sníží napětí stejnosměrného obvodu na malou bezpečnou hodnotu. FVE tedy není schopna pracovat sama jako záložní zdroj.

Při výpadku je ale do několika minut nastartována elektrocentrála, která zálohovaným zařízením bude dodávat elektrickou energii. V některých rozvaděčích pro tyto spotřebiče budou také připojeny výstupy měničů, které se dokáží přifázovat a také dodávat výkon daným spotřebičům. Díky tomu elektrocentrála bude méně zatížena a bude snížena její spotřeba.

5 ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY A ZÁLOŽNÍHO ZDROJE

5.1 Ekonomická kritéria

Pro ekonomické zhodnocení návrhu je běžně používáno několika kritérií. Nejdůležitějším z nich je NPV neboli čistá současná hodnota. Dalšími doplňujícími kritérii jsou IRR neboli vnitřní výnosové procento a reálná doba návratnosti.

Jednotné okrajové podmínky stanovené přílohou č. 8 k vyhlášce č. 141/2021 Sb. [36] jsou:

- *Hodnocení jednotlivých variant se provádí bez ohledu na model financování projektu,*
- *Doba hodnocení je 20 let,*
- *Diskontní úroková míra je uvažována ve výši 3 %,*
- *Hodnocení se provádí ve stálých cenách,*
- *Výpočet ekonomické efektivnosti je stanoven před zdaněním hodnocené příležitosti.* [36]

5.1.1 Čistá současná hodnota

NPV je finanční veličina, která vyjadřuje celkovou současnou hodnotu všech peněžních toků, které souvisí s danou investicí.

NPV se používá pro hodnocení výnosnosti investice. Když investice během své životnosti dosáhne na kladnou hodnotu NPV můžeme ji považovat za přínosnou.

Podle přílohy č. 8 k vyhlášce č. 141/2021 Sb. [36] můžeme pro vypočet NPV využít rovnice:

$$NPV_{TH} = \sum_{t=1}^{T_h} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN + \sum_{X=1}^{n} N_{zuX,Th} \text{ [Kč]} \tag{5.1}$$

kde NPV_{TH} [Kč] - čistá současná hodnota za dobu hodnocení,
T_h [rok] - doba hodnocení investice,
CF_t [Kč] - peněžní toky včetně investic v jednotlivých letech,
r [−] - diskontní úroková míra,
t [rok] - rok od počátku hodnocení projektu,
IN [Kč] - počáteční náklady,
$N_{zuX,Th}$ [Kč] - zůstatková hodnota zařízení v daném roce.

Pro výpočet CF_t využijeme vzorce:

$$CF_t = V - N_p - IN_{r,t} \text{ [Kč]} \tag{5.2}$$

kde CF_t [Kč] - peněžní toky včetně investic v jednotlivých letech,
V [Kč] - výnosy v daném roce,
N_p [Kč] - provozní výdaje bez odpisu v daném roce,
$IN_{r,t}$ [Kč] - reinvestice a jednorázové obnovovací výdaje.

Pro výpočet $N_{zu,Th}$ využijeme vzorce:

$$N_{zu,Th} = \frac{IN_r \cdot (T_ž - T_{zu})}{T_ž} \cdot (1 + r)^{-T_h} \text{ [Kč]} \quad (5.3)$$

kde $N_{zu,Th}$ [Kč] - zůstatková hodnota zařízení,
IN_r [Kč] - poslední započtená investice,
$T_ž$ [rok] - doba životnosti investice,
T_{zu} [rok] - doba od poslední započtené reinvestice,
r [−] - diskontní úroková míra,
T_h [rok] - doba hodnocení investice.

5.1.2 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento je taková diskontní míra, při které platí, že NPV je 0.

Podle přílohy č. 8 k vyhlášce č. 141/2021 Sb. [36] můžeme pro vypočet IRR využít podmínky:

$$0 = \sum_{t=1}^{T_h} CF_t \cdot (1 - IRR)^{-t} - IN + \sum_{X=1}^{n} N_{zuX,Th} \text{ [Kč]} \quad (5.4)$$

kde T_h [rok] - doba hodnocení investice,
CF_t [Kč] - peněžní toky včetně investic v jednotlivých letech,
IRR [−] - vnitřní výnosové procento,
t [rok] - rok od počátku hodnocení projektu,
IN [Kč] - počáteční náklady,
$N_{zuX,Th}$ [Kč] - zůstatková hodnota zařízení v daném roce.

5.1.3 Reálná doba návratnosti

Podle přílohy č. 8 k vyhlášce č. 141/2021 Sb. [36] můžeme pro vypočet reálné doby návratnosti využít podmínky:

$$I_p = \sum_{t=1}^{T_d} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} \text{ [Kč]} \quad (5.5)$$

kde I_p [Kč] - celková plánovaná investice,
T_d [rok] - reálná doba návratnosti,

CF_t [Kč] - peněžní toky včetně investic v jednotlivých letech,

r [−] - diskontní úroková míra.

5.2 Zhodnocení návrhu fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt

V následující tabulce je rozpis počáteční investice na výstavbu fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt:

Náklady na výstavbu FVE			
Položka	Cena [Kč]	Počet [ks]	Celkem [mil. Kč]
Modul LONGi 505W	2 644	6 650	17,59
Kabel H1Z2Z2-K 1x16	68	25 920	1,77
Kabel H1Z2Z2-K 1x4	20	7 344	0,15
Měnič SE100K	133 884	24	3,21
Nosná konstrukce modulů	9 145 131	1	9,15
Optimizér S1200	2 066	3 325	6,87
Kabel 1-CYKY-J 3x95+70	1 390	1 080	1,50
Ostatní materiál + montáž	43 500 000	1	43,50
Celkem [mil. KČ]			83,73

Tab. 5-1 Náklady na výstavbu FVE [20][54][55][37][56][57]

V případě kabelů počet kusů představuje počet metrů daného kabelu. Do ostatního materiálu spadají přepěťové ochrany, rozvaděčové skříně, žlaby pro vedení vodičů, spojovací materiál, U–F ochrana, jištění, odpínače a jiné.

Odhadované náklady na roční údržbu potom jsou:

Náklady spojené s provozem		
Položka	Cena [mil. Kč]	Periodicita [rok]
Údržba	0,42	1
Revize	0,91	3
Výměna střídačů +montáž	3,56	15

Tab. 5-2 Náklady na údržbu FVE [37][38]

Nákupní cena elektrické energie pro průmyslový objekt je 3 879,15 Kč·MWh^{-1}. Fixní prodejní cena přetoku je 1 150 Kč·MWh^{-1}. Při těchto cenách jsou předpokládané roční úspory za nákup elektrické energie v následující tabulce:

Roční úspory	
Snížení spotřeby objektu [MWh]	3 066,76
Přetok [MWh]	56,42
Roční úspora [mil. Kč]	11,90
Výkup přetoku [mil. Kč]	0,06
Celkem [mil. Kč]	11,96

Tab. 5-3 Roční úspory za nákup elektrické energie [39][vlastní tvorba]

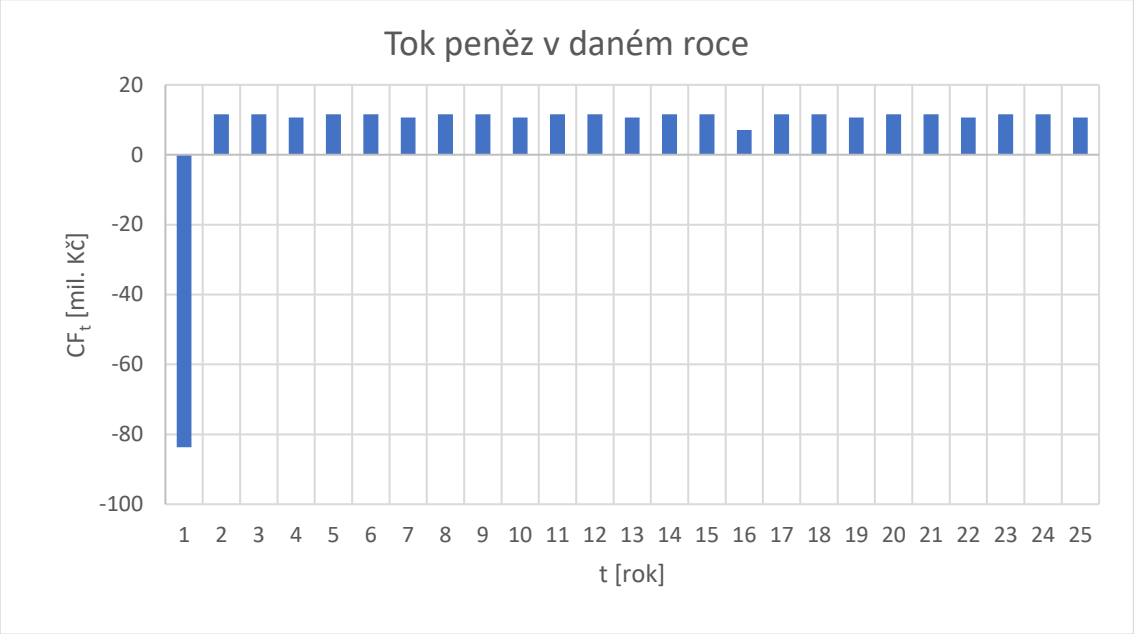
5.2.1 Kritéria ekonomické efektivnosti fotovoltaické elektrárny

Pro výpočet NPV a IRR jsem využil funkcí excelu, které jsou přímo navrženy pro tyto výpočty. Za diskontní úrokovou míru jsem zvolil 10 %. Veličiny potřebné pro výpočet CF_t můžeme vidět v tabulkách č. 5-1, č. 5-2 a č. 5-3. Výsledky NPV a IRR jsou v tabulce následující:

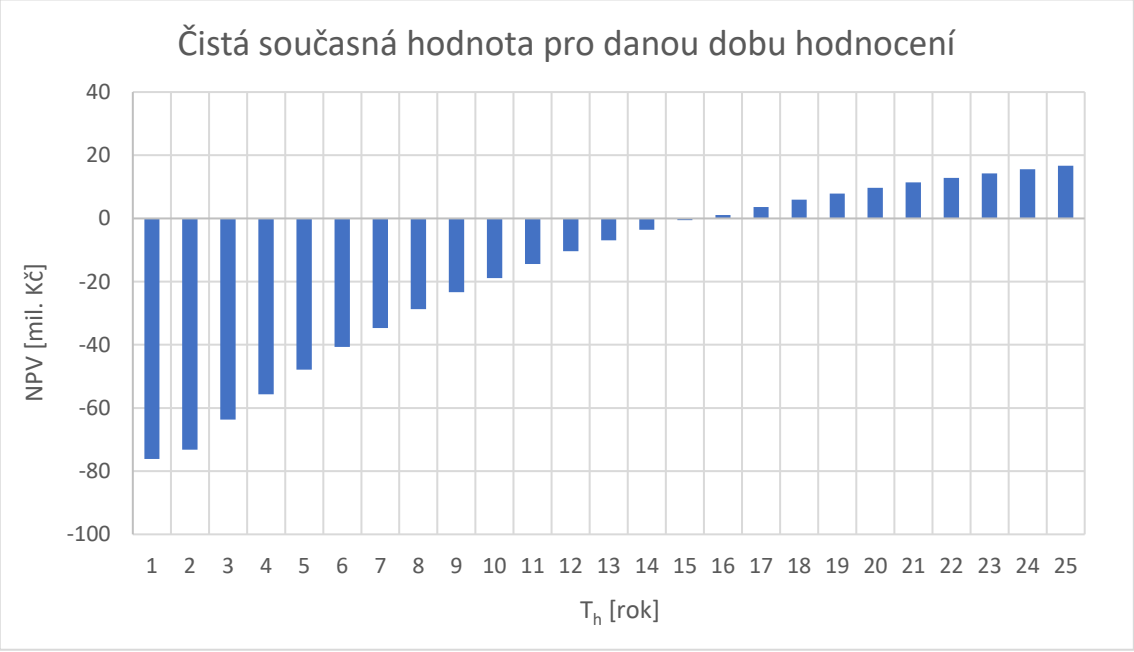
Doba hodnocení [rok]	CF_t [mil. Kč]	NPV [mil. Kč]	IRR [-]
1	-83,73	-76,12	
2	11,54	-73,24	-0,86
3	11,54	-63,70	-0,55
4	10,64	-55,71	-0,35
5	11,54	-47,82	-0,21
6	11,54	-40,66	-0,12
7	10,64	-34,65	-0,06
8	11,54	-28,73	-0,01
9	11,54	-23,35	0,02
10	10,64	-18,84	0,04
11	11,54	-14,39	0,06
12	11,54	-10,34	0,07
13	10,64	-6,95	0,08
14	11,54	-3,61	0,09
15	11,54	-0,57	0,10
16	7,07	1,13	0,10
17	11,54	3,64	0,11
18	11,54	5,92	0,11
19	10,64	7,83	0,11
20	11,54	9,72	0,12
21	11,54	11,44	0,12
22	10,64	12,87	0,12
23	11,54	14,29	0,12
24	11,54	15,58	0,12
25	10,64	16,66	0,13

Tab. 5-4 CFt, NPV a IRR v jednotlivých letech hodnocení (FVE) [vlastní tvorba]

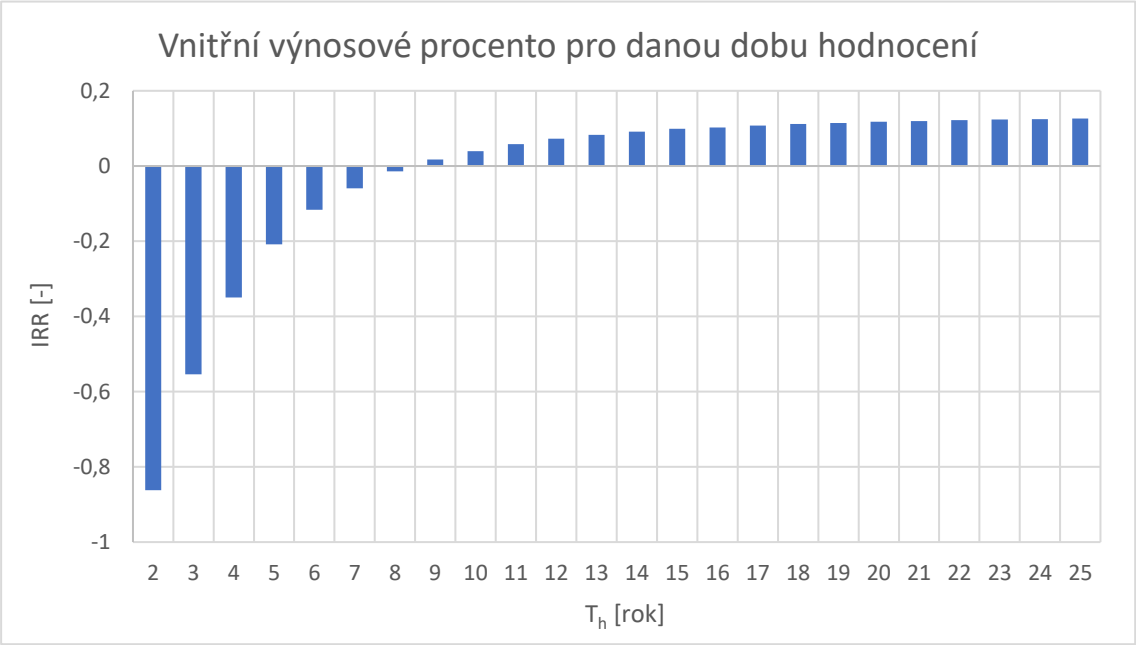
V grafech č. 5-1, č. 5-2 a č. 5-3 můžeme vidět roční peněžní toky v jednotlivých letech, závislost čisté současné hodnoty na době hodnocení a závislost vnitřního výnosového procenta na době hodnocení.



Graf 5-1 Tok peněz v daném roce (FVE) [vlastní tvorba]



Graf 5-2 Čistá současná hodnota pro danou dobu hodnocení (FVE) [vlastní tvorba]



Graf 5-3 Vnitřní výnosové procento pro danou dobu hodnocení (FVE) [vlastní tvorba]

Z grafů č. 5-1, č. 5-2 a č. 5-3 a hodnot v tabulce č. 5-4 vyplývá, že investice do FVE se vrátí během 16. roku hodnocení projektu při uvažování diskontní sazby 10 %. NPV na konci hodnocení je 16,66 mil. Kč a IRR 13 %. Je pouze na investorovi, jestli se mu tato investice bude zdát dostatečně výhodná. Tato investice by ale mohla být více zajímavá, kdyby se zvýšila cena elektrické energie, což s přechodem na obnovitelné zdroje z elektráren na fosilní paliva s velkou pravděpodobností v budoucnu nastane. Toto ekonomické zhodnocení je počítáno pouze na dobu záruky FV modulů, ale dala by se očekávat větší životnost investice, díky použití monokrystalických modulů.

5.3 Zhodnocení návrhu záložního zdroje pro průmyslový objekt

V tabulce č. 5-5 můžeme vidět počáteční investici na výstavbu záložního zdroje:

Počáteční náklady	
Položka	Cena [Kč]
Zemní práce	166 420
Kabel 10-AXEKVCEY 1x35/16	54 000
Pokládka kabelu	90 550
Doprava	25 000
Ostatní materiál	18 376
Elektrocentrála Cat DE1400 GC	6 150 000
Doprava a zprovoznění elektrocentrály	150 000
Vybavení rozvodny	800 000
Celkem [mil. Kč]	7,45

Tab. 5-5 Počáteční náklady na záložní zdroj [Cat DE1400 GC][Shel-energo]

V následující tabulce můžeme vidět způsobené škody v případě výpadku a poškození zařízení:

Celková škoda při výpadku bez záložního zdroje elektrické energie	
Škoda na zařízení [mil. Kč]	10,0
Doba potřebná k opětovnému uvedení zařízení do provozu [den]	14,0
Ušlý zisk [mil. Kč·h^{-1}]	0,1
Celkové škody [mil. Kč]	43,6

Tab. 5-6 Celková škoda při výpadku bez záložního zdroje [Vlastní tvorba]

Kdyby došlo k výpadku, tato zařízení by se poškodila a musely by být vynaloženy náklady na jejich opravu. Navíc by během opravy firma přicházela o potenciální zisk. Při srovnání tabulek č. 5-5 a č. 5-6 vidíme, že počáteční náklady na výstavbu a zprovoznění záložního zdroje jsou menší než škody, které by způsobil výpadek. Proto bych hodnotil tuto investici kladně.

Odhadované náklady na roční údržbu takového soustrojí jsou přibližně 50 000 Kč. Dalšími náklady jsou pohonné hmoty a jejich doprava k elektrocentrále. Hodinová spotřeba paliva při plném zatížení je téměř 300 litrů nafty. Nutná záloha bude průměrně ročně trvat 3 hodiny. To je přibližně 900 litrů. Tato nafta by měla být také bez biosložky, z důvodu malého vytížení záložního zdroje, a tedy dlouhé době skladování. Náklady na naftu jsou bez dopravného přibližně 27 000 Kč.

V případě návrhu záložního zdroje nemá smysl výpočet NPV nebo IRR. Protože záložní zdroj nemá žádný přímý výnos, ale chrání před poškozením zálohovaných zařízení a následnými ušlými zisky. Protože není zálohován celý objekt, firma v každém případě přijde o potenciální zisk, který by získala během doby výpadku.

5.4 Zhodnocení celkové investice

V následujících tabulkách č. 5-7 a č. 5-8 vycházejících z tabulek č. 5-1, č. 5-2, č. 5-3 a č. 5-5, jsou celkové počáteční náklady na výstavbu FVE a záložního zdroje. Dále jsou tam náklady na údržbu a roční úspory:

Náklady na výstavbu	
FVE [mil. Kč]	83,73
Záložní zdroj [mil. Kč]	7,45
Celkem [mil. Kč]	91,18

Tab. 5-7 Celkové náklady na výstavbu obou investic [vlastní tvorba]

Náklady na údržbu		
Položka	Cena [mil. Kč]	Periodicita [rok]
Údržba FVE	0,42	1
Revize FVE	0,91	3
Výměna měničů FVE	3,56	15
Provoz záložního zdroje	0,09	1
Roční úspory za nákup energií [mil. Kč]	11,96	1

Tab. 5-8 Náklady na údržbu obou investic a úspora elektrické energie [vlastní tvorba]

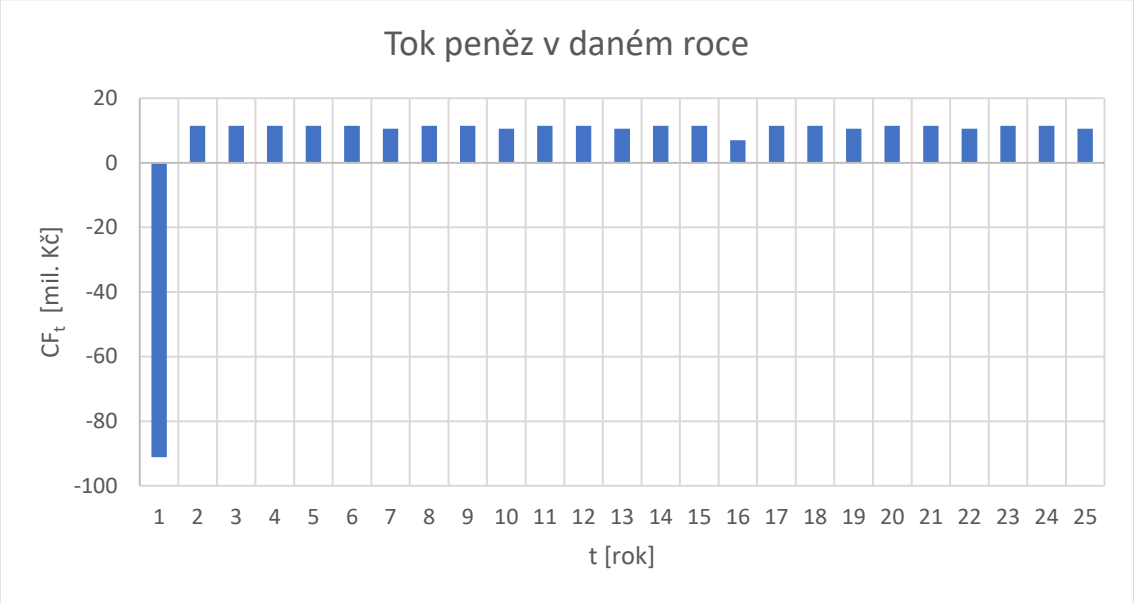
5.4.1 Kritéria ekonomické efektivnosti obou návrhů

Stejně jako pro předchozí výpočet NPV a IRR jsem využil excel a jeho funkcí. Diskontní úroková sazba je také stejná jako v předchozím případě a to 10 %. Veličiny potřebné pro výpočet CF_t můžeme vidět v tabulkách č. 5-7 a č. 5-8. Výsledky NPV a IRR jsou v tabulce následující:

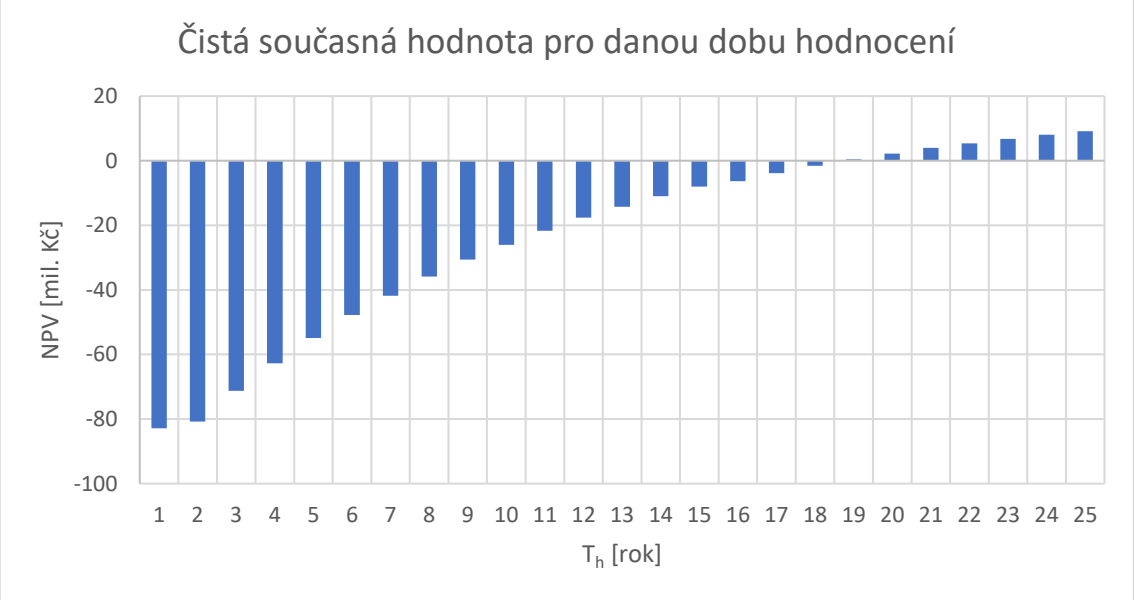
Doba hodnocení [rok]	CF_t [mil. Kč]	NPV [mil. Kč]	IRR [-]
1	-91,19	-82,90	
2	11,46	-80,77	-0,87
3	11,46	-71,30	-0,58
4	11,46	-62,69	-0,36
5	11,46	-54,87	-0,23
6	11,46	-47,75	-0,14
7	10,55	-41,80	-0,08
8	11,46	-35,92	-0,03
9	11,46	-30,57	0,00
10	10,55	-26,10	0,02
11	11,46	-21,68	0,04
12	11,46	-17,66	0,06
13	10,55	-14,30	0,07
14	11,46	-10,98	0,08
15	11,46	-7,97	0,08
16	6,99	-6,29	0,09
17	11,46	-3,80	0,09
18	11,46	-1,53	0,10
19	10,55	0,36	0,10
20	11,46	2,24	0,10
21	11,46	3,94	0,11
22	10,55	5,37	0,11
23	11,46	6,77	0,11
24	11,46	8,05	0,11
25	10,55	9,12	0,11

Tab. 5-9 CFt, NPV a IRR v jednotlivých letech hodnocení (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba]

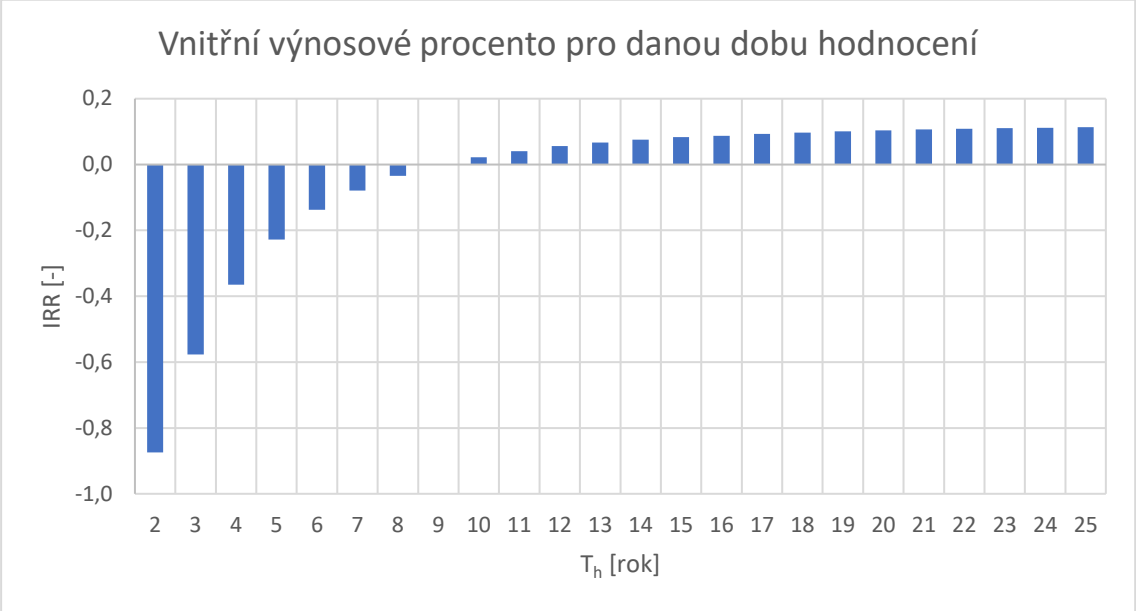
V grafech č. 5-4, č. 5-5 a č. 5-6 můžeme vidět roční peněžní toky v jednotlivých letech, závislost čisté současné hodnoty na době hodnocení a závislost vnitřního výnosového procenta na době hodnocení.



Graf 5-4 Tok peněz v daném roce (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba]



Graf 5-5 Čistá současná hodnota pro danou dobu hodnocení (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba]



Graf 5-6 Vnitřní výnosové procento pro danou dobu hodnocení (FVE + záložní zdroj) [vlastní tvorba]

Z celkového ekonomického zhodnocení obou návrhů můžeme vidět, že celková investice má návratnost. Úspora elektrické energie díky FVE je taková, že pokryje i náklady na záložní zdroj.

Z tabulky č. 5-9 a grafů č. 5-4, č. 5-5 a č. 5-6 můžeme vidět že NPV na konci hodnocení, při diskontní sazbě 10 %, je 9,12 mil. Kč a IRR 11 %, tedy podle obou ekonomických zhodnocení je tato investice výhodná.

Z ekonomického hlediska je kogenerační jednotka přímým konkurentem této investice, protože jedno zařízení v sobě ukrývá podstaty fotovoltaické elektrárny a záložního zdroje. Dobře navržená kogenerační jednotka by snížila celkové náklady na energie a zároveň by v případě výpadku měla funkci záložního zdroje.

6 ZÁVĚR

V druhé kapitole jsem stručně charakterizoval obnovitelné zdroje energie. Popsal jsem, jak tuto energii využíváme pro výrobu energie elektrické. Další část bakalářské práce se zabývá Sluncem a jeho využitím pomocí fotovoltaických článků.

S ohledem na využitelnou plochu pro výstavbu fotovoltaické elektrárny a příkon průmyslového objektu jsem vybral monokrystalický fotovoltaický modul LONGi LR5-66HIH-505M. Díky jeho velké účinnosti bude maximalizován instalovaný výkon na střechách průmyslového objektu.

Celkem je na střechách rozmístěno 6 650 zvolených modulů. Celkový instalovaný výkon činní 3 358,25 kWp. Na střeše budovy A je rozmístěno 2 430 fotovoltaických modulů o instalovaném výkonu 1 227,15 kWp. Střecha budovy B je rozsáhlejší, a proto je zde rozmístěno 4 220 modulů o instalovaném výkonu 2 131,10 kWp.

Pro přeměnu elektrické energie ze stejnosměrné na střídavou jsem vybral měnič od firmy SolarEdge. Celkem bude po objektu rozmístěno 24 měničů SE100K. Jejich rozmístění bude určeno rozložením spotřebičů v budovách. Měniče budou optimálně rozmístěny tak, aby byly připojeny do rozvaděčů jednotlivých spotřebičů.

Pro ideální vlastnosti systému je vhodné vybrané měniče kombinovat s optimizéry od téhož výrobce. Proto jsem vybral optimizéry S1200. Na každý z nich budou připojeny dva moduly a optimizéry následně zapojeny do stringu.

Ještě na střeše, budou vždy 3 stringy paralelně spojené v rozvaděči, ve kterém se také bude nacházet přepěťová ochrana. Výkon tří stringů bude sveden kabelem H1Z2Z2-K 1x16 k měniči, kde bude druhá přepěťová ochrana.

Připojení měničů do rozvaděčů spotřebičů bude provedeno kabelem 1-CYKY-J 3x95+70. Nebylo možné využít kabel s hliníkovým jádrem, protože průřez jádra by byl větší než průřez dovolený výrobcem měniče.

Navržená elektrárna pokryje pouze 3,98 % spotřeby elektrické energie podniku. Z důvodu celozávodní dovolené je několik dní produkce vyšší než spotřeba elektrické energie. Proto bude docházet k přetoku elektrické energie, který bude 1,81 % z celkové výroby energie během roku.

Roční úspora díky fotovoltaické elektrárně za nákup elektrické energie při ceně 3 879 Kč·MWh^{-1} a s výkupní cenou 1 150 Kč·MWh^{-1} je 11,96 mil. Kč.

Protože fotovoltaická elektrárna nedokáže být záložním zdrojem, navrhl jsem elektrocentrálu Cat DE1400 GC, která v případě výpadku dodá dostatek výkonu spotřebičům spadajícím do 1. stupně důležitosti spotřeby. Zdánlivý výkon této elektrocentrály je 1 400 kVA.

Elektrocentrála bude připojena do stávající rozvodny průmyslového objektu. Pro připojení bude použit kabelový svazek, který se bude skládat ze 3 kabelů 10-AXEKVCEY 1x35/16.

Výkon elektrocentrály není dostatečně velký, aby mohl celý objekt pracovat bez omezení. Je tedy nutné spotřebiče, které nespadají do 1. stupně důležitosti spotřeby v případě výpadku odpojit. Část fotovoltaické elektrárny, která bude připojena do rozvaděčů zálohovaných spotřebičů, se však dokáže na elektrocentrálu přifázovat a snížit tak nutný výkon dodávaný elektrocentrálou. To sníží i spotřebu paliva.

Z ekonomického hlediska jsou oba návrhy pro průmyslový podnik přínosné. Fotovoltaická elektrárna přináší finanční úsporu za nákup energií. Ročně tato úspora činní 11,96 mil. Kč. Při celkové ceně výstavby elektrárny 83,73 mil. Kč a diskontní sazbě 10 %, se investice vrátí již během 16. roku hodnocení. Po 25 letech hodnocení je čistá současná hodnota 16,66 mil. Kč. Je však velmi pravděpodobné, že s danými komponenty bude životnost elektrárny delší.

Náklady na výstavbu záložního zdroje jsou 7,45 mil. Kč. Při porovnání této částky s náklady nutnými na likvidaci škod způsobených výpadkem a následným ušlým ziskem investora zjistíme, že pořizovací cena je pouhým zlomkem ceny způsobených škod, které jsou vyčísleny na 43,6 mil. Kč.

7 ZDROJE

[1] *§ 7 odst. 2 zákona č. 17/1992 Sb. o životním prostředí - znění od 01.07.2017* [Online]. In: . 1992. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17?citace=1#p7-2

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

[3] Meteorologické prvky a jejich klimatologické charakteristiky. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele* [online]. 2014 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html#zareni

[4] Energie mořské vody. *Svět energie* [online]. 2020 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/vodni-energie-pro-deti/morske-elektrarny/jak-funguji

[5] Mořské elektrárny. *Svět energie* [online]. 2020 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/vodni-energie-pro-deti/morske-elektrarny/jak-funguji

[6] Spalování biomasy. *Svět energie* [online]. 2020 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/spalovani-biomasy/vyklad

[7] Bioplynová stanice. *Svět energie* [online]. 2020 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/bioplynova-stanice/vyklad

[8] KÁRA, Jaroslav, Petr HUTLA a Zdeněk PASTOREK. *VYUŽITÍ ORGANICKÝCH ODPADŮ ZE ZEMĚDĚLSKÉ VÝROBY A VENKOVSKÝCH SÍDEL. SBĚR, TŘÍDĚNÍ A VYUŽITÍ ORGANICKÝCH ODPADŮ. ZAŘÍZENÍ PRO TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ ORGANICKÝCH ODPADŮ* [online]. 2008 [cit. 2024-05-22]. ISBN 978-80-86884-40-0. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/33692/Vyuit_organic_odpad_ze.pdf

[9] Geotermální elektrárna. *Svět energie* [online]. 2020 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-elektrarna/vyklad

[10] Wp. *Schlieger* [online]. 2024 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://schlieger.cz/slovnik/wp/

[11] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *ELEKTRO* [online]. 2024, 2014-2024 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310

[12] Vyplatí se fotovoltaika v podmínkách ČR? *Schlieger* [online]. 2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://schlieger.cz/blog/vyplati-se-fotovoltaika-v-podminkach-cr/

[13] Aplikace solárních fotovoltaických systémů. *Publi* [online]. 2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://publi.cz/books/91/06.html

[14] Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. *Tzbinfo* [online]. 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu

[15] Komplexní průvodce různými typy solárních panelů. *Energosolar* [online]. 2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://www.energosolar.cz/komplexni-pruvodce-ruznymi-typy-solarnich-panelu/

[16] Baterie pro fotovoltaiku: proč jsou důležité, jaký typ vybrat a jaká je jejich cena? *Voltaico* [online]. 2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://voltaico.cz/blog/baterie-pro-fotovoltaiku-proc-jsou-dulezite-jaky-typ-vybrat-a-jaka-je-jejich-cena

[17] Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody. *Tzbinfo* [online]. 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/10697-optimalizace-fotovoltaickeho-systemu-pro-pripravu-teple-vody

[18] Solární měnič a jak si ho vybrat. *Evolty* [online]. 2023 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://evolty.cz/solarni-menic/

[19] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. *European Commission* [online]. 2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

[20] Fotovoltaický solární panel LONGi Solar 505Wp černý rám. *NEJ PANELY* [online]. 2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: https://www.nejpanely.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-longi-solar-505wp-cerny-ram/

[21] ČSN P 73 0847. *Požární bezpečnost staveb - Fotovoltaické (PV) systémy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2024.

[22] SOLAREDGE TECHNOLOGIES. *Třífázový měnič se synergickou technologií* [Online]. 2023. Dostupné také z: https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/se-three-phase-inverter-with-synergy-400v-480v-datasheet-cz.pdf

[23] SOLAREDGE TECHNOLOGIES. *Power Optimizer S1000 / S1200* [Online]. 2024. Dostupné také z: https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/se-s-series-commercial-power-optimizer-datasheet-eng-row.pdf

[24] Designer. *SolarEdge* [online]. 2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.solaredge.com/en/products/software-tools/designer

[25] SOLAREDGE. *Stručný návod k instalaci - Třífázový měnič se synergickou technologií* [Online]. 2021. Dostupné také z: https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/se-three-phase-inverter-with-synergy-technology-quick-installation-guide-cz.pdf

[26] ČSN EN 50618. *Elektrické kabely pro fotovoltaické systémy*. 2015.

[27] ČSN 33 2000-5-52 ED. 2. *Elektrická instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení*. 2012.

[28] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. *Tzbinfo* [online]. 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci

[29] Záložní zdroje elektrické energie - 1.díl: Úvod do problematiky. *Oenergetice* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/elektrina/zalozni-zdroje-elektricke-energie-1-dil-uvod-do-problematiky

[30] Záložní zdroje elektrické energie - 2.díl: Statické zdroje. *Oenergetice* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/elektrina/zalozni-zdroje-elektricke-energie-2-dil-staticke-zdroje

[31] Rotační záložní zdroje elektrické energie - motorgenerátor a setrvačník. *Oenergetice* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/elektrina/rotacni-zalozni-zdroje-elektricke-energie-motorgenerator-setrvacnik

[32] IS MU má nový záložní zdroj energie. *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://is.muni.cz/blog/is_info/nov_20141030_zdroj

[33] Palivové články – princip funkce a dělení. *Oenergetice* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni

[34] ZEPPELIN CZ S.R.O. *ELEKTROCENTRÁLY CAT* [Online]. 2019. Dostupné také z: https://www.zeppelin.cz/fileadmin/cs/downloads/ES-konstrukcni-katalog-2019.pdf

[35] *10-AXEKVCEY* [Online]. Dostupné také z: https://viola.cz/produkt/stazeni-souboru?id=55877&productId=178528&productSlug=10-axekvcey-1x120-16-energeticky-kabel-se-zvysenou-odolnosti-s-dvojitym-plastem

[36] *Fragment #f7363950 vyhlášky č. 141/2021 Sb. o energetickém posudku a o údajích vedených v Systému monitoringu spotřeby energie - znění od 01.02.2022* [Online]. In: . 2021. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-141?citace=1#f7363951

[37] Střídač SolarEdge 100kW. *KOTLY.COM* [online]. 2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://kotly.com/cs/4803-stridac-solaredge-100kw-sitovy-trifazovy-1-mppt-bez-displeje-wifi.html

[38] Revize fotovoltaických systémů. *Sunnypower* [online]. 2024, 2017-2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.sunnypower.cz/revize/

[39] Výkup vyrobené elektřiny. *Entri* [online]. 2024 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: https://www.entri.cz/vykup-vyrobene-elektriny/

[40] 5 Facts About the Sun. *Earthhow* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://earthhow.com/sun-facts/

[41] Solar Radiation & Photosynthetically Active Radiation. *Fondriest* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/

[42] Fotovoltaická elektrárna Ralsko Ra 1. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Ralsko_Ra_1

[43] Využití slunečního tepla. *Svět energie* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/slunecni-energie-pro-deti/vyuziti-slunecniho-tepla/slunecni-tepelne-elektrarny

[44] Solar tower for Arizona. *New atlas* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://newatlas.com/enviromission-solar-tower-arizona-clean-energy-renewable/19287/

[45] Kaplanova turbína. *Svět energie* [online]. 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/vodni-elektrarna-podrobne/kaplanova-turbina/vyklad

[46] Kaplanova turbína. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turb%C3%ADna

[47] Jak se počítají rozestupy fotovoltaických panelů? *Ing. Jan Hlavatý* [online]. 2018 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://janhlavaty.cz/2022/07/rozestupy-pv-panelu/

[48] Návrh fotovoltaických systémů na rovných plochách s ohledem na efektivní využití technologie i dostupné plochy. *Tzbinfo* [online]. 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://m.tzb-info.cz/fotovoltaika/20966-navrh-fotovoltaickych-systemu-na-rovnych-plochach-s-ohledem-na-efektivni-vyuziti-technologie-i-dostupne-plochy

[49] Economic Analysis of Grid-Connected PV System Regulations: A Hungarian Case Study. *MDPI* [online]. 2024, 1996-2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://www.mdpi.com/2079-9292/8/2/149

[50] Nosná konstrukce FV panelu – šikmá střecha – taška. *VSelektro* [online]. 2024 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: https://www.vselektro.eu/nosna-konstrukce-fv-panelu-sikma-strecha-taska/

[51] Nosná konstrukce fotovoltaických panelů pro rovnou střechu PKRS. *Eshopelektronika.cz* [online]. 2021 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: https://www.eshopelektronika.cz/nosna-konstrukce-fotovoltaickych-panelu-pro-rovnou-strechu-pkrs

[52] Polohovací jednotky SunFlex. *SolarCell* [online]. 2016 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: http://www.solarcellinfo.cz/polohovaci-jednotky/

[53] Proton-exchange membrane fuel cell. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Proton-exchange_membrane_fuel_cell

[54] SOLAR KABEL H1Z2Z2-K 1X16 ČERNÁ PRO FOTOVOLTAIKY. *ELEKTRO S.M.S.* [online]. 2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://shop.elektrosms.cz/cs/solar-kabel-1x16-cerna-zadny-vyrobce-skl000277152

[55] Solar kabel H1Z2Z2-K 1x4mm2 - červený. *Vselektro.eu* [online]. 2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.vselektro.eu/solarni-kabel-medeny-1x4mm2-cerveny/

[56] SolarEdge optimizer S1200-1GM4MBV 1200W/125V, 5.4 m/input 0.1m. *KOTLY.COM* [online]. 2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://kotly.com/cs/4667-solaredge-optimizer-s1200-1gm4mbv-1200w-125v-54-m-input-01m.html

[57] Kabel 1-CYKY-J 3x95+70 SM/RM. *Elektrospoj s.r.o.* [online]. 2020 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://eshop.elektrospoj.cz/kabel-1-cyky-j-3x95-70-sm-rm/

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Návrh FVE pro budovu A

Příloha č. 2 Návrh FVE pro budovu B

Příloha č. 3 Výstup softwaru PVGIS

Příloha č. 4 Vyrobená elektrické energie

Soubor vypocty.xlsx