

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Bakalářská práce

**Akumulace energie z obnovitelných zdrojů v bateriových
uložištích.**

Michal Tůma

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Tůma

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Akumulace energie z obnovitelných zdrojů v bateriových uložích

Název anglicky

Accumulation of energy from renewable sources in battery storage

Cíle práce

- Rešerše způsobů výroby energie z obnovitelných zdrojů a nejčastější způsoby její akumulace
- Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložištěm ve vybrané lokalitě a její technicko-ekonomické hodnocení.

Metodika

Literární rešerše způsobů akumulace energie a principů jejich fungování. Vlastní návrh možného využití akumulace energie ve vybrané lokalitě. Technicko-ekonomické hodnocení návrhu.

Pozn.:

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

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje, akumulace energie, fotovoltaika

Doporučené zdroje informací

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

HENZE, A. – HILLEBRAND, W. – LOSÍK, V. *Elektrický proud ze slunce : fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. Ostrava: HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.

LIBRA, M. – POULEK, V. *Fotovoltaika : teorie i praxe využití solární energie*. Praha: ILSA, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.

Skovajsa, J., Koláček, M., Zálešák, M.: Phase change material based accumulation panels in combination with renewable energy sources and thermoelectric cooling. *Energies*, 2017, 10.2: 152.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 11. 1. 2023

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 1. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Akumulace energie z obnovitelných zdrojů v bateriových uložistích“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2023

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Akumulace energie z obnovitelných zdrojů v bateriových uložích

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se ve své teoretické části zabývá popisem nejčastějších způsobů výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů včetně popisu principu jejich funkce, jejich potenciálu v rámci České republiky a uvedení některých jejich kladů a záporů. Dále představuje některé způsoby akumulace elektrické energie na různých fyzikálních principech. Praktická část práce se zaměřuje návrh fotovoltaické elektrárny v konkrétní lokalitě, jejíž součástí je bateriové uložič využívané pro ukládání přebytků a kompenzaci dodávek pro zvýšení stability zdroje. V závěru je celý návrh zhodnocen z pohledu smysluplnosti a ekonomické návratnosti investice.

Klíčová slova:

Obnovitelné zdroje, akumulace energie, fotovoltaika

Accumulation of energy from renewable sources in battery storage

Abstract:

In its theoretical part, this bachelor thesis deals with the description of the most common methods of electricity production from renewable energy sources, including a description of the principle of their function, their potential in the Czech Republic and some of their pros and cons. It also presents some methods of electricity storage based on different physical principles. The practical part of the thesis focuses on the design of a photovoltaic power plant in a specific location, which includes battery storage used for storing surplus and compensating the supply to increase the stability of the source. Finally, the whole proposal is evaluated in terms of its sensibility and economic return on investment.

Keywords:

Renewable sources, energy storage, photovoltaics

Obsah

1	Úvod	2
2	Cíl práce	3
3	Obnovitelné zdroje energie	4
3.1	Potenciál obnovitelných zdrojů v České republice	4
3.2	Větrné elektrárny	5
3.2.1	Princip větrné elektrárny	5
3.2.2	Potenciál větrné energetiky v České republice	7
3.2.3	Výhody a nevýhody větrných elektráren	7
3.3	Vodní elektrárny	8
3.3.1	Princip funkce vodní elektrárny	8
3.3.2	Potenciál vodní energetiky v České republice	10
3.3.3	Výhody a nevýhody vodních elektráren	10
3.4	Biomasa	11
3.4.1	Princip energetického využití biomasy	12
3.4.2	Potenciál energetického využití biomasy v České republice	13
3.4.3	Výhody a nevýhody energetického využití biomasy	13
3.5	Fotovoltaické elektrárny	14
3.5.1	Princip výroby energie ze slunce	14
3.5.2	Potenciál sluneční energie v České republice	15
3.5.3	Výhody a nevýhody solární energetiky	16
4	Akumulace elektrické energie	17
4.1	Přečerpávací vodní elektrárny	17
4.2	Akumulace ve stlačeném vzduchu	18
4.3	Setrvačnicková akumulace	19
4.4	Elektrochemické akumulátory	20
4.4.1	Olověné akumulátory	21
4.4.2	Niklové akumulátory	21
4.4.3	Lithiové akumulátory	22
4.5	Vodík	22
4.6	Power to gas	24
5	Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložištěm	25
5.1	Lokalita	25
5.2	Spotřeba rodinného domu	25
5.3	Popis komponent	25
5.4	Návrh velikosti elektrárny a bateriového uložiště	27
5.5	Fotovoltaický geografický informační systém (PVGIS)	30
5.6	Režimy provozu fotovoltaické elektrárny	31
5.7	Elektrické zapojení	31

6 Ekonomické zhodnocení projektu	32
6.1 Náklady	32
6.2 Výroba elektrické energie	32
6.3 Prodej elektrické energie do sítě	33
6.4 Kalkulace chybějící energie	34
6.5 Návratnost projektu.....	35
7 Diskuse	37
8 Závěr	39
9 Citovaná literatura a informační zdroje.....	40
10 Seznam použitých zkratk	43
11 Seznam obrázků	43
12 Seznam tabulek	43
13 Seznam příloh.....	43

1 Úvod

Elektrická energie je nejvšestrannější dostupná forma energie. Má k ní přístup přes 5 miliard lidí na celém světě. Každý si činí nárok na možnost odebírat elektrickou energii ze své elektrické zásuvky. Díky stále se rozvíjejícímu průmyslu a rostoucí životní úrovni každým rokem stoupá spotřeba elektrické energie. Za posledních dvacet let došlo k nárůstu výroby elektrické energie o 75 %. Spolu s neustále stoupajícím počtem obyvatel naší planety a stále větším příklonem k elektromobilitě lze očekávat pokračování tohoto trendu.

Zásadním problémem tohoto růstu může být v budoucnu jeho závislost na fosilních palivech, jejichž zásoby jsou omezené. Ty jsou v dnešní době využívány k výrobě zhruba dvou třetin veškeré elektrické energie. Těžba a přeměna fosilních paliv na energii zároveň představují významným zdroj znečištění životního prostředí.

Východiskem z tohoto problému může být větší příklon k obnovitelným zdrojům, které představují dlouhodobou a prakticky nevyčerpatelnou zásobárnu energií. Využívání obnovitelných zdrojů má však i svá úskalí. Zásadním problémem je jejich spolehlivost. Ta závisí především na vlivech počasí.

Tento problém lze odstranit za pomoci různých metod akumulace energie a její spotřeby v době poptávky. Vzhledem ke skutečnosti, že elektrickou energii nelze skladovat, je třeba jí převést na jinou, skladovatelnou formu.

První část této práce se věnuje složení energetického mixu v České republice, a nejčastějším způsobům výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Dále popisuje některé dnes již využívané a některé spíše experimentální způsoby akumulace elektrické energie.

Ve druhé části práce je zpracován návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložištěm v lokalitě obce Herlify nedaleko Havlíčkova Brodu v kraji Vysočina. Bylo provedeno ekonomické zhodnocení tohoto projektu včetně jeho návratnosti.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je představit způsoby výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů a možnosti jejího ukládání dle různých principů.

Další část práce je zaměřena na praktický návrh fotovoltaického systému. Jelikož jsou fotovoltaické elektrárny považovány za poměrně časově nestabilní zdroje elektrické energie, je nezbytné zahrnout do návrhu i bateriové úložiště, které stabilizuje dodávky elektrické energie. Součástí celého návrhu je i jeho ekonomické zhodnocení včetně návratnosti investice.

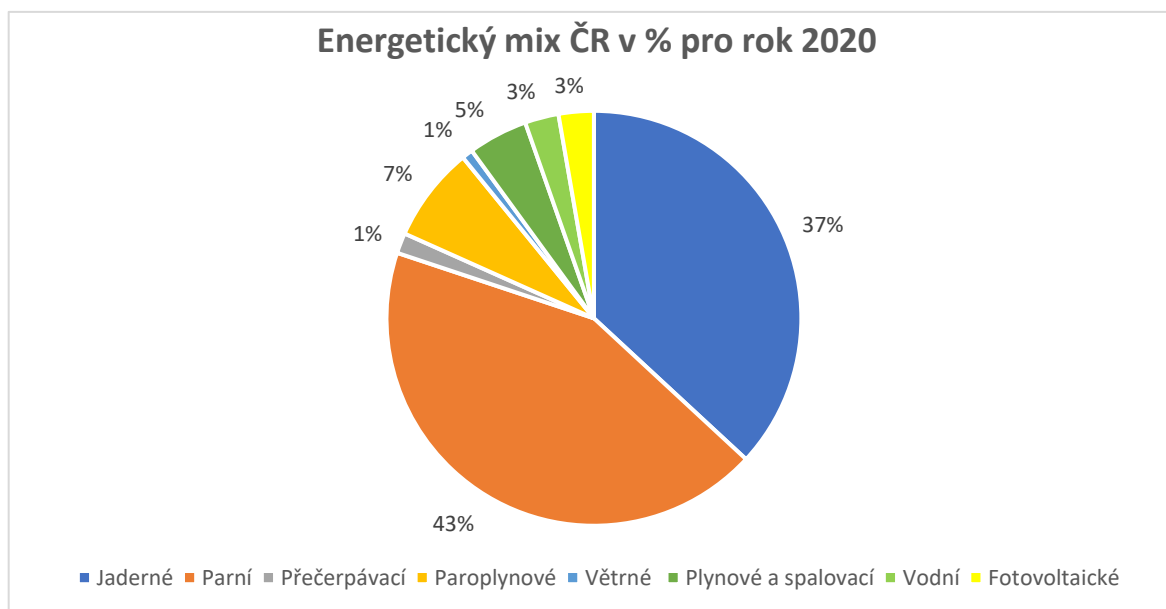
3 Obnovitelné zdroje energie

Pojem „obnovitelné zdroje energie“ označuje některé vybrané, na Zemi přístupné formy energie, které jsou získávány primárně z jaderných přeměn v nitru Slunce. Mezi nejčastěji používané obnovitelné zdroje elektrické energie spadá solární energie, vodní energie, větrná energie a energie z biomasy. [1]

V celosvětovém měřítku představují obnovitelné zdroje energie značný, ekologicky čistý potenciál, který by bylo teoreticky možné využít pro pokrytí současné spotřeby energie. Využívání obnovitelných zdrojů je však limitováno několika faktory, jako je malá plošná koncentrace, nestejně rozložené územní rozložení, proměnlivá intenzita v průběhu dne i roku a značné investiční náklady. [1]

3.1 Potenciál obnovitelných zdrojů v České republice

Energetický mix České republiky je v současné době založen především na využívání neobnovitelných zdrojů. Podíl jednotlivých zdrojů na výrobě elektrické energie v České republice je vidět na obrázku 1. Z obrázku je patrné, že největší podíl na výrobě mají v České republice neobnovitelné zdroje. Největší podíl na výrobě elektrické energie zaujímá spalování uhlí a plynu. Energie z jádra pokrývá zhruba třetinu naší spotřeby. Celková roční výroba elektrické energie přesáhla v roce 2020 hodnotu 81 TWh.



Obrázek 1 Energetický mix ČR v % pro rok 2020 [2]

Obnovitelné zdroje jsou v současné době zastoupeny pouze nízkým podílem celkové výroby elektrické energie. Nejvyšší část elektrické energie z obnovitelných zdrojů u nás představuje spalování biomasy, následované výrobou ve vodních a fotovoltaických

elektrárnách. Obnovitelné zdroje se v roce 2021 podílely na výrobě elektrické energie zhruba 12 %. Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu navrhuje zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické energie na úroveň 22 % do roku 2030. [3]

3.2 Větrné elektrárny

Využívání energie proudícího vzduchu k přeměně na energii kinetickou je lidstvu známa už několik staletí. První zmínky o využití energie větru za pomoci větrných mlýnů pochází z oblasti blízkého východu a Egypta v období starověku. Sloužily nejčastěji zemědělským nebo potravinářským účelům. Konstrukce lodí na větrný pohon – plachetnic, umožnil překonávat velké vzdálenosti a tím přispěl k mnoha zeměpisným objevům a rozvoji lidské civilizace. [4] [5]

V 19. století dochází ke stavbám prvních větrných elektráren, které vycházely právě z větrných mlýnů. Ty začaly sloužit jako zdroj elektrické energie pro malé továrny nebo farmy. Pravděpodobně první větrná elektrárna na našem území byla postavena okolo roku 1910 v Lipnici nad Sázavou na Českomoravské vrchovině. V dnešní době celosvětově roste zájem o větrné elektrárny z důvodu zvyšující se poptávky po čistých zdrojích elektrické energie. [6]

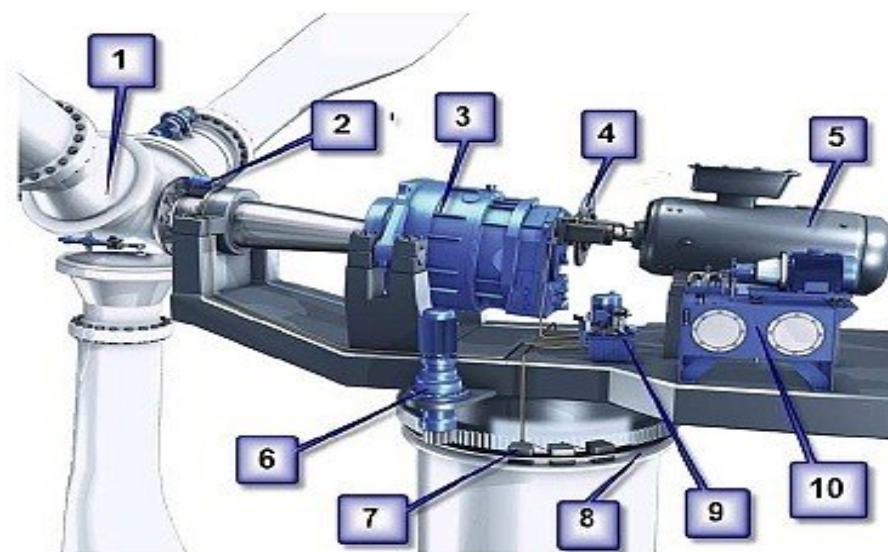
Poměrně novým trendem v oblasti větrné energetiky jsou výstavby rozsáhlých větrných parků na moři. Mezi průkopníky takzvaných „off shore“ větrných parků patří především Dánsko, Spojené království nebo Nizozemsko. [7]

3.2.1 Princip větrné elektrárny

Nerovnoměrným zahříváním povrchu Země a přilehlých vzduchových vrstev vznikají rozdíly v poli tlaku vzduchu. Projevem vyrovnávání těchto rozdílů je vítr. Proudění vzduchu využívají větrné motory, které převádějí jeho kinetickou energii na energii mechanickou, která je dále za pomoci generátoru přeměňována na energii elektrickou. Větrné motory lze dle aerodynamického principu rozdělovat na odporové a vztlkové. Odporové motory patří k historicky starším. Princip jejich funkce je založen na rozdílném aerodynamickém odporu v závislosti na směru větru. Příkladem odporového motoru je Savionovův motor. Ten dosahuje poměrně nízké účinnosti v rozmezí 13–23 %, výhodou je ovšem jeho jednoduchá konstrukce. V praxi se dnes k výrobě elektrické energie prakticky nepoužívá. [6]

V dnešních větrných elektrárnách se používají prakticky jen motory vztlkové, nejčastěji vrtule ve dvou nebo tří listovém provedení. Fungují na principu obtékání vzduchu podél listu

vtule, čímž vzniká vztlak, který otáčí vrtulí. Účinnost vztlakových motorů dosahuje 38–48 %.
 Typická konstrukce větrné elektrárny s vztlakovým motorem je vidět na obrázku 2.



Obrázek 2 Popis komponent větrné elektrárny [8]

1 – rotor, 2 – brzda rotoru, 3 – převodové ústrojí, 4 – spojka a brzda generátorového hřídele, 5 – generátor, 6 – servo motor pro otáčení turbíny, 7 – brzda otočného mechanismu, 8 – ložisko, 9 – hydraulický agregát brzd, 10 – hydraulický agregát pro ovládání natočení lopatek rotoru

Výkon reálné větrné elektrárny lze vypočítat dle rovnice (1). Z něj je patrné, že výkon větrné elektrárny nejvíce ovlivňuje rychlost proudění vzduchu a průměr rotoru. [1] [8]

$$P = c_p \times \rho \times \frac{v^3}{2} \times \pi \times \frac{D^2}{4} \quad (1)$$

kde:

P – výkon elektrárny [W]

ρ – hustota vzduchu [kg/m³]

v – rychlost proudění vzduchu [m/s]

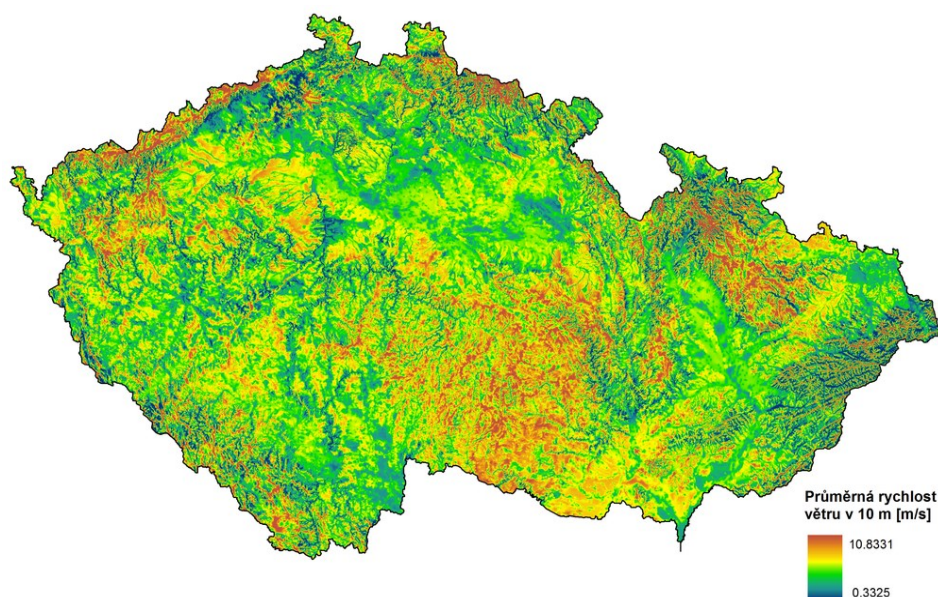
c_p – součinitel výkonnosti, v ideálním případě rovný 0,59

D – průměr rotoru [m]

3.2.2 Potenciál větrné energetiky v České republice

Větrné elektrárny jsou v dnešní době nejčastěji konstruovány tak, aby dosahovaly nejvyšších hodnot produkce elektrické energie při rychlosti větru kolem 15 m/s. Z větrné mapy České republiky na obrázku 3 vyplývá, že průměrná rychlost větru se pohybuje okolo hodnoty nižší než 10 m/s. Z tohoto faktu lze usoudit, že na našem území se nenachází mnoho vhodných lokalit pro výstavbu. Mimo nároků na rychlost větru mohou být větrné elektrárny ovlivňovány překážkami, jako jsou lesy nebo budovy, které snižují rychlost větru a negativně ovlivňují výkon elektrárny. [9]

Nejvhodnějšími lokalitami pro stavbu větrných elektráren jsou horské oblasti. Mnoho vhodných horských lokalit se však nalézá v chráněných oblastech, kde taková výstavba není možná. Z obrázku 3 je patrné, že další možné lokality vhodné pro výstavbu větrných elektráren se nachází v kraji Vysočina. [1]



Obrázek 3 Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad povrchem [10]

3.2.3 Výhody a nevýhody větrných elektráren

Výhody:

- a) Čistý zdroj energie, neprodukují žádné emise skleníkových plynů.
- b) Nízké provozní náklady.
- c) Přispívají k decentralizaci zdrojů elektrické energie.
- d) Možný podíl ze zisku pro obce, na jejíž území se elektrárna nachází.

Nevýhody:

- a) Závislost na povětrnostních podmínkách.
- b) Narušení rázu krajiny.
- c) Mohou být hlučné.
- d) Mohou způsobovat přetěžování přenosové soustavy.
- e) Negativní dopady na některé živočišné druhy. [11]

3.3 Vodní elektrárny

Podobně jako energie větru, není ani využívání energie vodních toků pro lidstvo ničím novým. Kinetická energie vody byla nejprve využívána k dopravování dřeva po proudu řek. Později začíná sloužit jako pohon mlýnů, čerpadel nebo pil. Využívání energie vodních toků proto mělo zásadní podíl na rozvoji prvních civilizací. Na konci 19. století a na začátku 20. století dochází k nahrazování méně účinných vodních kol účinnějšími vodními turbínami. Mezi ty nejpoužívanější patří Francisova turbína, Peltonova rovnotlaká turbína, Kaplanova přetlaková axiální turbína nebo Bánkiho turbína. V roce 1882 byla v New Yorku do provozu uvedena první vodní elektrárna na světě o výkonu 90 kW. Nedlouho poté dochází k rozšiřování tohoto typu elektráren i na našem území. První vodní elektrárna v Čechách byla spuštěna již v roce 1888 v Jindřichově Hradci. Ve většině případů docházelo k přestavbám vodních mlýnů na elektrárny, které následně sloužily pro pokrytí lokální spotřeby. Růst poptávky po elektrické energii způsobil, že malé hydroelektrárny již nebyly schopné v méně vodných obdobích pokrýt spotřebu a z toho důvodu se začaly více prosazovat elektrárny tepelné. V průběhu 20. století dochází k budování velkých vodních děl jako jsou například elektrárny Vltavské kaskády. Ty mají velký význam pro energetickou soustavu, protože jsou schopny během velmi krátké doby začít pracovat na plný výkon. Vodní energetika má značný stabilizující význam jak z technického, tak i ekonomického hlediska. [1] [12]

3.3.1 Princip funkce vodní elektrárny

Vodní elektrárny fungují na principu přeměny kinetické energie na energii mechanickou a následně elektrickou. Proud vody roztáčí turbínu, která je mechanicky spojená s elektrickým generátorem, toto soustrojí se jinak také nazývá turbogenerátor. [13]

Z hlediska způsobu práce se moderní turbíny dají rozdělit na rovnotlaké a přetlakové. V rovnotlakých turbínách se tlak vody při průchodem turbínou nemění, dochází tedy pouze k využití kinetické energie. Typickými příklady rovnotlakých turbín jsou Peltonova nebo Bánkiho turbína. U přetlakových turbín dochází i k částečnému využití tlakové energie vody.

Voda v tomto případě z turbíny vystupuje pod nižším tlakem, než pod jakým do ní vstoupila. Zástupci přetlakových turbín jsou především Francisovy a Kaplanovy turbíny. Vodní turbíny mohou dosahovat účinnosti až 95 %, což z nich činí jedny z neúčinnějších mechanických motorů. Celkový výkon turbíny lze vypočítat podle rovnice (2). [1]

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \quad (2)$$

kde:

ρ – hustota vody [1000 kg/m³],

Q – průtok [l/s],

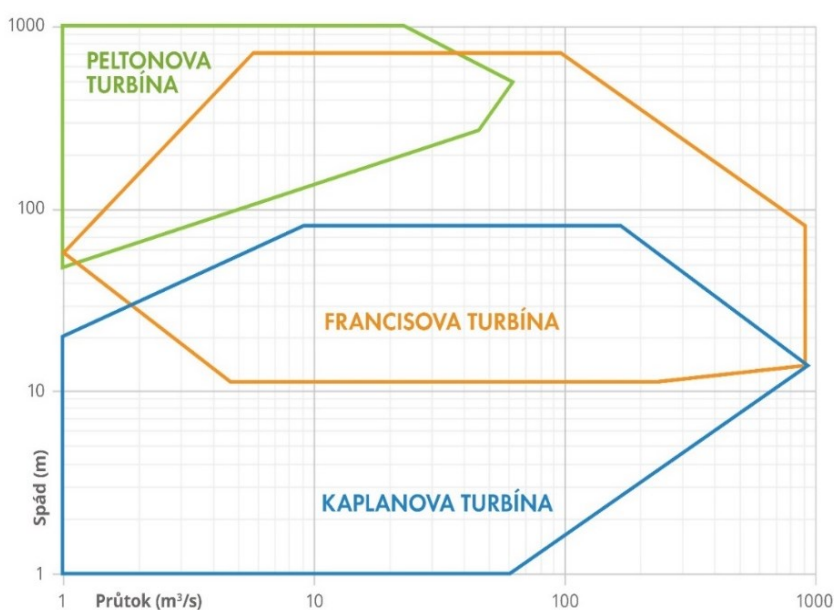
g – tíhové zrychlení [m/s²],

H – spád [m]

η – účinnost turbíny

Ze vzorce je patrné, že hlavními veličinami, které rozhodují o typu použité turbíny, jsou průtok a spád. Spádem se rozumí výškový rozdíl mezi hladinami horní a spodní nádrže vodní elektrárny, průtok udává množství protečené vody za jednotku času. [13]

Výběr turbíny závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla. Mezi nejčastěji používané druhy turbín patří Francisova a Kaplanova turbína, které se využívají hlavně pro malé až střední spády. Pro vysoké spády (někdy až 500 m) se používá akční Peltonova turbína. V přečerpávacích vodních elektrárnách se nejčastěji používají turbíny, které lze v obráceném režimu využít jako čerpadlo. Rozsahy použití jednotlivých druhů turbín v závislosti na velikosti spádu a průtoku lze vidět na obrázku 4.



Obrázek 4 Charakteristika různých druhů turbín v závislosti na spádu a průtoku. [14]

Vodní elektrárny jako takové můžeme dělit na:

- a. Přehradní a jezové – využívají vzdouvacích zařízení, jako jsou přehrady a jezy ke zvýšení spádu.
- b. Derivační – za pomoci derivačního přivaděče odvádí vodu z toku a přivádí jí k turbíně, poté jí odvádí zpět do koryta toku.
- c. Přečerpávací – zvláštní varianta vodní elektrárny sloužící k akumulaci energie. [13]

3.3.2 Potenciál vodní energetiky v České republice

Území České republiky neposkytuje příliš mnoho vhodných lokalit pro stavby vodních elektráren. Naše toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Výroba elektrické energie ve vodních elektrárnách se podílí na celkovém energetickém mixu České republiky pouze asi ze 4 %. Nejpriznivější energeticky využitelný tok u nás je řeka Vltava. Na Vltavě také najdeme většinu velkých vodních elektráren v České republice, včetně největší vodní elektrárny Orlik o instalovaném výkonu 364 MW. Vhodné lokality pro budování takto velkých vodních elektráren jsou na našem území prakticky vyčerpány. Ostatní toky nabízejí pouze omezené možnosti pro energetické využití, zpravidla pro výstavbu malých vodních elektráren. Technicky využitelný potenciál vodních elektráren je odhadován asi na 400 MW. Význam vodních elektráren v České republice spočívá spíše ve schopnosti pružně reagovat na poptávku po elektrické energii a tím zvyšovat stabilitu sítě než v samotné výrobě elektrické energie. Využívají k tomu své schopnosti rychlého náběhu do plného výkonu. Přehradní jezera vzniklá v důsledku stavby vodní elektrárny mohou sloužit i k jiným než energetickým účelům. Například jako zásobárna pitné nebo užitkové vody, k rekreačním účelům nebo rybolovu. Zároveň mohou napomáhat ke stabilizaci říčních toků nebo jako ochrana před povodněmi. [1] [13]

3.3.3 Výhody a nevýhody vodních elektráren

Výhody:

- a. Vysoká účinnost.
- b. Schopnost rychlého odstavení a spouštění zdroje.
- c. Nízké nároky na obsluhu.
- d. Nízká poruchovost.
- e. Nepřispívá ke znečištění ovzduší a neprodukuje odpad.

Nevýhody

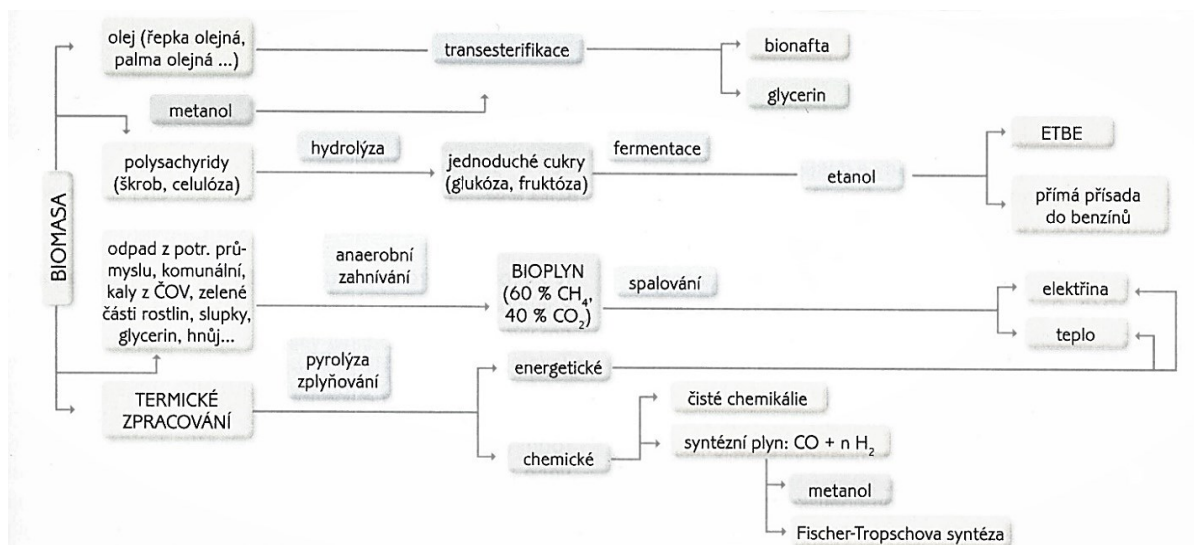
- Vysoké pořizovací náklady.
- Zásah do krajiny.
- Požadavky na dostatečný průtok.
- Omezení lodní dopravy. [13]

3.4 Biomasa

Pod pojmem biomasa si lze v širším slova smyslu představit veškerou biologickou hmotu na naší planetě. Největší část tvoří biomasa rostlinného původu, která má značný energetický potenciál. Na rozdíl od fosilních paliv se spalování biomasy vyznačuje prakticky nulovou bilancí oxidu uhličitého. Množství uvolněného plynu do ovzduší je přibližně stejné jako množství, které rostliny během svého života absorbují při fotosyntéze. Podle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č.110/2022 Sb. se biomasa pro energetické využití dělí na:

- Zemědělskou biomasu – zahrnuje biomasu primárně pěstovanou k energetickým účelům na zemědělské půdě. Do této kategorie se řadí trvalé travní porosty, energetické byliny nebo rychle rostoucí dřeviny.
- Lesní biomasu – jedná se o biomasu pěstovanou na lesní půdě, typicky palivové dřevo, prořezy lesních porostů a zbytky z těžby dřeva.
- Zbytkovou biomasu – do této kategorie se řadí zbytky ze zemědělské výroby, odpady z některých odvětví průmyslu nebo biologicky rozložitelný komunální odpad. [15]

Možnosti využití biomasy k energetickým účelům jsou zobrazeny na obrázku 5, kde je schematicky znázorněno jejich jednotlivé využití. [15]



Obrázek 5 Možnosti energetického využití biomasy [15]

Biomasa však nemusí sloužit pouze k energetickým účelům. Může být využita například jako surovina v různých průmyslových odvětvích. Biomasy lze dále zpracovávat k výrobě ušlechtlejších druhů biopaliv jako je například bioplyn nebo bionafta, které lze použít jako alternativu k fosilním palivům. [15]

3.4.1 Princip energetického využití biomasy

Stejně jako existuje mnoho druhů biomasy, existuje i spousta způsobů jejího energetického využití. Nejstarším způsobem využití je spalování, při němž dochází ke vzniku tepla. Ke spalování je vhodná široká škála biomasy. Mezi nejčastěji spalované druhy biomasy patří palivové dříví, štěpka, pelety dřevního i bylinného původu, brikety ale i obiloviny. Ke spalování některých druhů biomasy, především bioplynu, lze využít kogeneračních jednotek. To jsou zařízení sloužící ke kombinované výrobě tepla a elektrické energie. Tyto jednotky dosahují účinnosti až 90 %. Pokročilým způsobem energetického využití biomasy je její využití k výrobě ušlechtlejších biopaliv, které je možné použít jako náhradu fosilních paliv. Mezi hlavní druhy biopaliv získávaných z biomasy patří:

- a) Bioplyn – vzniká při anaerobní digesci v bioplynových stanicích. Jedná se o proces, při kterém mikroorganismy rozkládají biologický materiál bez přístupu vzduchu. Výsledkem tohoto procesu je plyn s obsahem 50–80 % metanu v závislosti na použité surovině. Výsledný plyn může být dále upravován na požadované vlastnosti. Bioplyn lze energeticky využít při spalování k výrobě tepla nebo v kogeneračních jednotkách ke kombinované výrobě spolu s elektrickou energií. Bioplyn se také používá jako palivo do dopravních prostředků upravených na CNG. Odpadní produkt, vznikající při výrobě bioplynu se nazývá digestát. Ten lze využít jako kvalitní hnojivo s vysokým obsahem dusíku. [16]
- b) Bionafta – k výrobě bionafty se používají rostlinné a živočišné tuky. Nejčastěji se k výrobě bionafty používá olej z řepky olejky nebo slunečnice. Lze použít i tuky z živočišné výroby nebo kuchyňské oleje. Oleje procházejí procesem esterifikace, kde dochází k přeměně na metylester. Takto vzniklé palivo se nazývá bionafta I. generace. Kvůli svým negativním vlastnostem se bionafta I. generace samostatně příliš nepoužívá. Nejčastěji se využívá k mísení s motorovou naftou pro zlepšení jejich vlastností. Vzniklý produkt se označuje jako bionafta II. generace. Takto vzniklé palivo lze využívat ve spalovacích motorech. [17]

- c) Bioetanol – získává se z plodin s vysokým obsahem sacharidů, jako jsou brambory, cukrová řepa nebo kukuřice. Při výrobě bioetanolu se používá proces alkoholového kvašení, kdy mikroorganismy přeměňují sacharidy na etanol. Tímto procesem lze dosáhnout roztoku o koncentraci alkoholu okolo 15 %. Pro získání vysokoprocenního alkoholu prochází roztok destilací. Takto vzniklé palivo se využívá ve speciálně upravených spalovacích motorech nebo se přimíchává do ropného benzínu. [17]

3.4.2 Potenciál energetického využití biomasy v České republice

Vzhledem k příznivým klimatickým podmínkám, přináší území České republiky značný potenciál pro využívání biomasy k energetickým účelům. Biomasa se dá pěstovat v různých formách na většině našeho území. [15]

Dobrým příkladem energetického využití biomasy je obec Kněžice, které je přezdíváno jediná energeticky soběstačná obec v České republice. Obec je vybavena bioplynovou stanicí, která zpracovává odpady ze zemědělské produkce, ze kterých vyrábí teplo a elektrickou energii pro potřeby obce. V topné sezoně s vytápěním obce pomáhá kotel na biomasu. Podobné příklady využití výrazně přispívají k zajištění energetické nezávislosti venkova. Mimo obcí může být energetické využívání biomasy výhodné pro zemědělské podniky, které jí mohou využívat nejenom pro vytápění a výrobu elektřiny, ale i jako palivo do spalovacích motorů zemědělských strojů. Zároveň mohou biomasu sami produkovat ze svých odpadů a přebytků. [2] [18]

3.4.3 Výhody a nevýhody energetického využití biomasy

Výhody:

- a. Stabilní zdroj.
- b. Možnost zpracování odpadu.
- c. Vyrovnaná bilance oxidu uhličitého.
- d. Možnost lokální produkce.

Nevýhody:

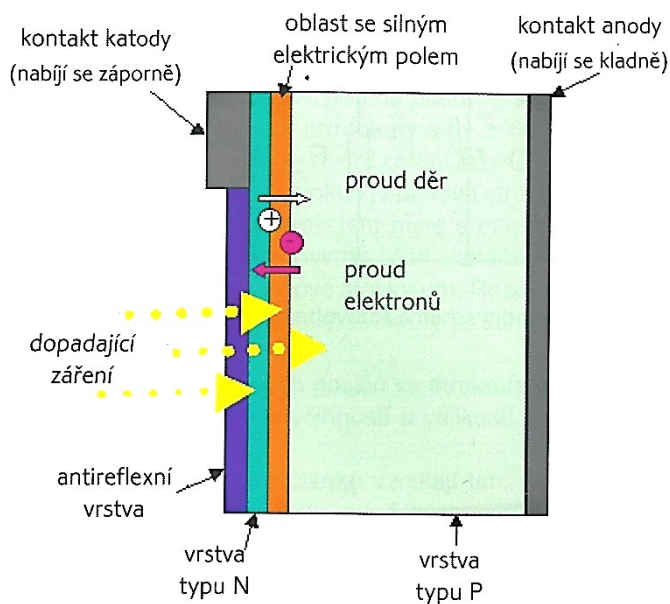
- a. Lokální produkce oxidu uhličitého při zpracování.
- b. Nízká účinnost při výrobě elektrické energie.
- c. Upřednostňování pěstování energetických plodin. [19]

3.5 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny slouží k přímé přeměně slunečního záření na elektrickou energii. Na celý povrch Země dopadá přibližně asi 180 000 TW slunečního záření, což představuje asi 1,4 kW na metr čtvereční. Tuto hodnotu se nazýváme solární konstanta. To představuje značný potenciál pro získání čistého a v měřítkách lidské civilizace nevyčerpatelného zdroje energie. Množství slunečního záření bývá silně ovlivňováno počasím, atmosférickým znečištěním nebo polohou planety vůči Slunci. To způsobuje, že existují velké rozdíly mezi objemem vyrobené elektrické energie za příznivých podmínek a za nepříznivých podmínek. Tato skutečnost je příčinou proč se prozatím nelze spolehnout pouze na fotovoltaické zdroje elektrické energie. Změnu by mohlo přinést zlevnění a rozšíření způsobů akumulace elektrické energie. [20]

3.5.1 Princip výroby energie ze slunce

Základním stavebním kamenem fotovoltaické elektrárny je solární článek. Solární článek je velkoplošná polovodičová součástka s jedním P-N přechodem. Po osvětlení plochy polovodiče dochází k dopadu fotonů na PN přechod a předání energie elektronům. Ty získají dostatek energie k opuštění valenční vrstvy a na jejich místě vzniknou volné díry. Připojíme-li k elektrodám naneseným na přední a zadní straně článku elektrický spotřebič, začne obvodem protékat elektrický proud. Velikost protékajícího proudu je závislá na intenzitě slunečního záření a ploše článku. Schéma fotovoltaického článku je vidět na obrázku 6.

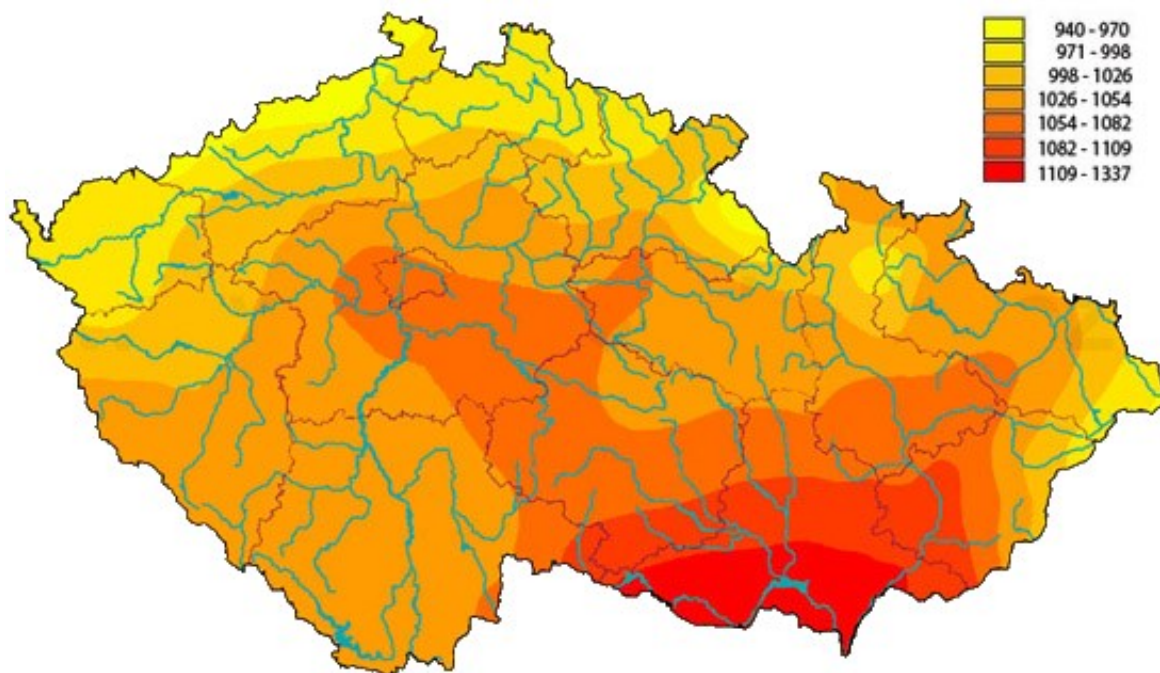


Obrázek 6 Schéma fotovoltaického článku [15]

Vzhledem ke skutečnosti, že napětí na jednom článku se pohybuje okolo 0,5 V, dochází v praxi ke spojování článků do větších celků – solárních panelů. Na rozdíl od elektráren vodních a větrných, nevyužívají fotovoltaické elektrárny k produkci elektrické energie žádných pohyblivých dílů. To značně zvyšuje jejich spolehlivost. Nezbytnou součástí fotovoltaické elektrárny pro dodávku energie do distribuční sítě je střídač. Ten se používá k přeměně stejnosměrného napětí produkovaného solárními panely na střídavé napětí v distribuční síti. [15] [20]

3.5.2 Potenciál sluneční energie v České republice

Při pohledu na solární mapu České republiky na obrázku 7 lze pozorovat, že intenzita slunečního záření se pohybuje mezi hodnotami 940 kWh/m² až 1340 kWh/m². Z tohoto pohledu se jako nejvhodnější lokality pro budování fotovoltaických elektráren jeví oblast jižní Moravy a části středních Čech a Vysočiny. Rozdíly v intenzitě dopadajícího záření na našem území jsou nepatrné. Proto lze konstatovat, že prakticky celé naše území je vhodné pro budování fotovoltaických elektráren. [21] [22] [23]



Obrázek 7 Solární mapa České republiky [24]

V současné době v návaznosti na stoupající ceny elektrické energie a zvyšující se dostupnosti fotovoltaických panelů, zažívá Česká republika boom solární energetiky. Aktuálně jsou tahounem růstu fotovoltaických elektráren především malé střešní instalace, které jsou

podporovány dotacemi ze strany státu. Nicméně lze očekávat nástup trendu výstavby velkých fotovoltaických zdrojů na volné půdě. [22]

Zajímavým trendem v oblasti rozvoje fotovoltaiky může být takzvaná agrovoltaika, která kombinuje využití půdy k zemědělským a energetickým účelům. Mezi nejtýpičtější příklady patří pěstování stínulovných rostlin jako jsou například maliníky, nebo pastva zemědělských zvířat. Většímu rozšíření prozatím brání především legislativní překážky. V současné době představují fotovoltaické elektrárny nejlevnější cestu ke splnění plánu v oblasti energetiky a klimatu, který se Česká republika zavázala splnit do roku 2030. [23]

3.5.3 Výhody a nevýhody solární energetiky

Výhody:

- a) Prakticky nevyčerpatelný zdroj.
- b) Bezemisní zdroj.
- c) Vysoká spolehlivost.
- d) Snadná výstavba.

Nevýhody:

- a) Závislost na počasí.
- b) Velké rozdíly ve výrobě v letních a zimních měsících.
- c) Malá účinnost. [25]

4 Akumulace elektrické energie

Obnovitelné zdroje elektrické energie, které se stále více prosazují na úkor fosilních paliv, mají zásadní slabinu spočívající v závislosti na vlivech počasí. Nejlépe je tato disproporce vidět na fotovoltaických zdrojích. Ty jsou schopny za slunného dne generovat velké množství energie, zatímco v noci je produkce nulová. Toto je výzvou pro naši distribuční soustavu, aby dokázala sladila poptávku s nabídkou. Velký potenciál v této oblasti mají úložiště elektrické energie. Tato úložiště fungují na principu transformace elektrické energie. V době nízké poptávky se elektrická energie skladuje v akumulacím úložišti a v době poptávky je z těchto úložišť opět dodávána do sítě. Tato úložiště mohou fungovat na různých principech, jejich rozdělení je možné vidět na obrázku 8. V kontextu České republiky probíhá akumulace především v přečerpávacích elektrárnách. S postupným zlevňováním lithiových akumulátorů lze očekávat výrazný nárůst i u tohoto způsobu akumulace elektrické energie. [26]

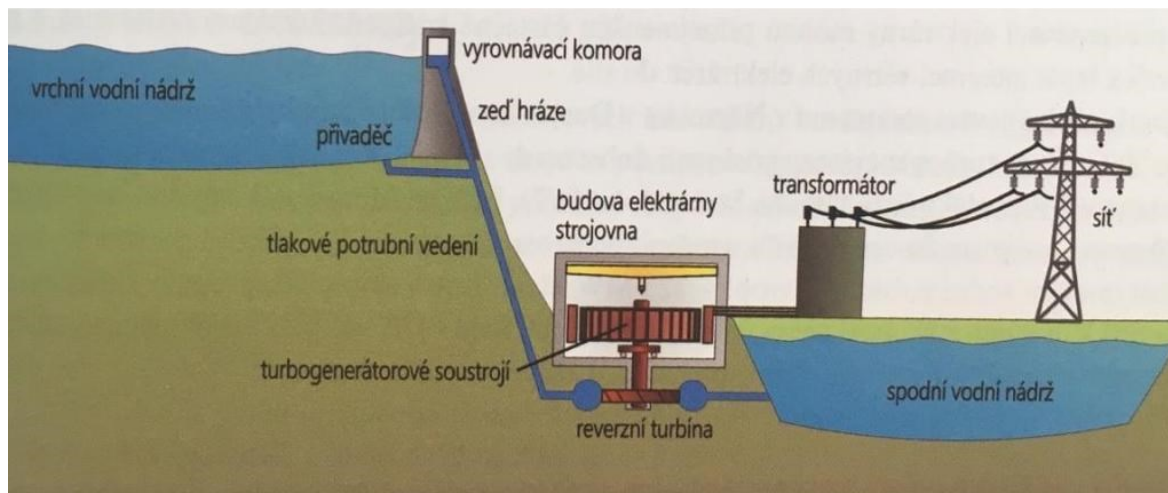


Obrázek 8 Rozdělení technologií na ukládání elektrické energie [26]

4.1 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací hydroelektrárny patří k nejstarším způsobům akumulace elektrické energie. Zaujímají 99 % celosvětové akumulacní kapacity a dodávají do sítě asi 3 % světové výroby elektrické energie. Typická přečerpávací elektrárna se skládá ze dvou vodních nádrží v rozdílných výškách. V době, kdy je poptávka po elektrické energii nízká, dochází k čerpání vody ze spodní nádrže do horní. V období zvýšené poptávky dochází k vypouštění vody z horní nádrže a elektrárna se chová jako klasická vodní elektrárna. Akumulacní kapacita přečerpávací elektrárny je určena objemem obou nádrží a výškou spádu mezi nimi. Přečerpávací elektrárny

většinou bývají dimenzovány na desítky megawattů až jednotky gigawattů. Schéma přečerpávací elektrárny je na obrázku 9. [26]

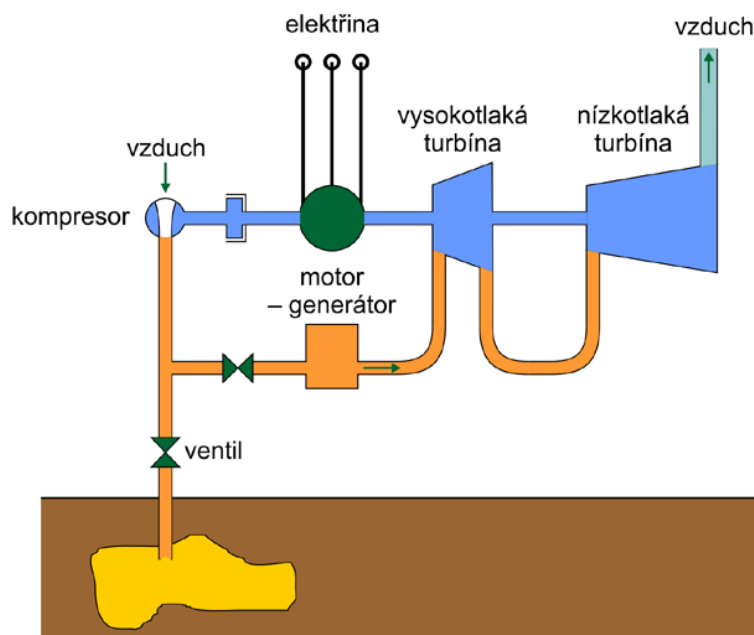


Obrázek 9 Schéma přečerpávací vodní elektrárny [27]

Vysoká efektivita přečerpávacích elektráren je dána především využíváním efektivních vodních turbín. Ta se pohybuje mezi 70–85 %. Mezi nejčastěji využívané turbíny patří Francisova turbína. Tu lze v obráceném režimu využívat jako čerpadlo. Přečerpávací elektrárny mají poměrně dlouhou životnost pohybující se okolo 40 let. Mezi jejich nevýhody patří značně vysoké stavební náklady, dlouhá doba výstavby a vysoké nároky na vhodnost lokality. [26]

4.2 Akumulace ve stlačeném vzduchu

Jedná se o technologii, která spočívá k ukládání elektrické energie do stlačeného vzduchu. K tomu využívá kompresorů, které v době nízké poptávky stlačují vzduch a ukládají ho v podzemních kavernách nebo zásobnících. U těchto zásobníků jsou kladeny vysoké nároky na vzduchotěsnost, tak aby nedocházelo ke ztrátám stlačeného vzduchu. V období zvýšené poptávky se tento stlačený vzduch používá k roztáčení turbíny, která generuje elektrickou energii. Schéma akumulárního zařízení na stlačený vzduch je na obrázku 10.



Obrázek 10 Schéma akumulárního zařízení na stlačený vzduch [29]

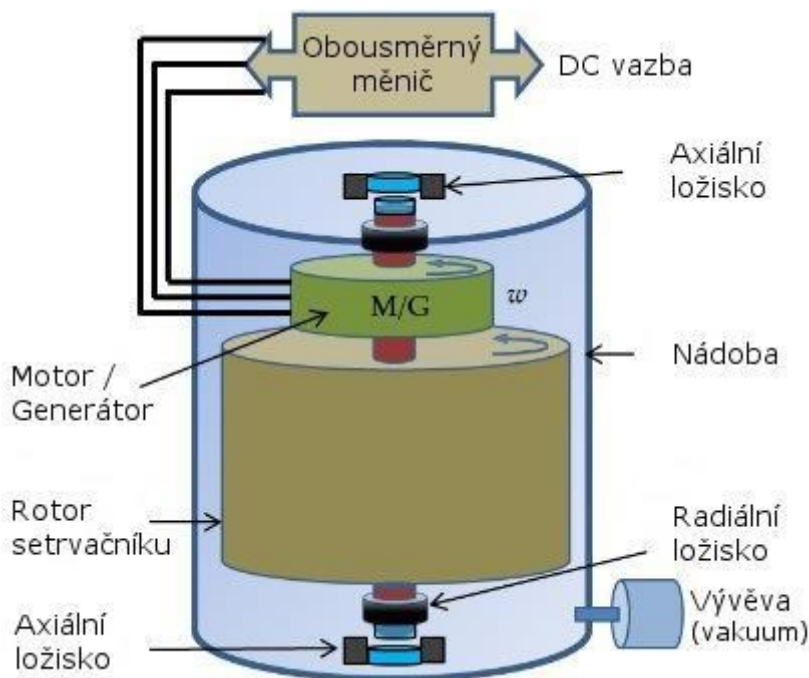
Ačkoliv tato technologie zatím není příliš komerčně rozšířená, první testovací elektrárna byla postavena již v roce 1978 v německém Huntorfu. Zdejší elektrárna ukládá vzduch do dvou solných kaveren a její denní cyklus se skládá z osmi hodin komprese vzduchu a dvou hodin výroby elektrické energie o výkonu 290 MW. Efektivita celého cyklu se zatím pohybuje okolo 70 %. Většímu rozšíření prozatím brání nedostatek vhodných lokalit pro samotné skladování vzduchu. Výkon těchto zařízení se pohybují ve stovkách megawattů. [28]

4.3 Setrvačnicková akumulace

Setrvačnický slouží k akumulaci elektrické energie do kinetické energie rotujícího setrvačnicku. Jak je vidět na obrázku 11, setrvačnickový akumulátor se skládá z motorgenerátoru, tělesa setrvačnicku a ložisek. Motorgenerátor v motorovém režimu roztáčí setrvačnick a ukládá do jeho kinetické energie přebytek ze sítě. V generátorovém režimu naopak využívá této kinetické energie k výrobě elektrické energie. Samotné těleso setrvačnicku se v dnešní době nejčastěji vyrábí z oceli nebo kompozitních materiálů. Pro snížení ztrát z důvodu tření se využívají především magnetická ložiska a uložení ve vakuové komoře. [26]

Kapacita setrvačnickového akumulátoru je závislá na hmotnosti setrvačnicku a jeho otáčkách. Setrvačnický se kvůli vysoké míře samovybitení příliš nehodí pro dlouhodobé ukládání energie. Jejich výhodou je krátká doba náběhu, v řádu milisekund. Aktuálně se využívají především pro krátkodobou akumulaci a stabilizaci frekvence sítě. K tomuto účelu například slouží největší setrvačnickové uložení o celkovém výkonu 20 MW, které bylo

vybudováno v Stephentownu ve státu New York. Zajímavé využití našly setrvačnický v osobních automobilech s elektrickým pohonem, kde je při brždění kinetická energie rekuperována do setrvačnicku, která je následně využita při akceleraci. [30]



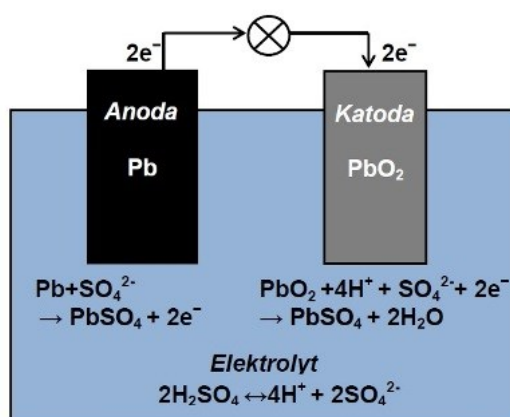
Obrázek 11 Schéma setrvačnicku [31]

4.4 Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátory nebo také akumulátorové baterie jsou zařízení sloužící k ukládání elektrické energie za pomoci energie chemické. Akumulátorová baterie se skládá z jednotlivých článků. Při nabíjení probíhají v člancích vratné chemické reakce. V případě zapojení článků jako energetického zdroje, dochází k opačné chemické reakci, a článek dodává elektrickou energii do obvodu. Každý článek se skládá ze dvou elektrod – katody a anody, které jsou ponořeny v elektrolytu. V praxi se používají různé druhy materiálů elektrod a elektrolytů, které určují následně i vlastnosti akumulátorů. Napětí jednotlivých článků se pohybuje v rozmezí 1 až 4 V podle typu článku, v praxi se proto spojují jednotlivé články do větších baterií pro dosažení většího napětí. Hlavní využití akumulátorové baterie se dnes nachází v napájení přenosné spotřební elektroniky a v elektromobilech. Se stále snižující se cenou také začínají uplatňovat jako velkokapacitní uložení energie z obnovitelných zdrojů. [32]

4.4.1 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou nejstarším známým typem nabíjecích akumulátorů. Byly vynalezeny již v roce 1860 Gastonem Plantém a s jistými inovacemi jsou používané dodnes. Nejčastějším způsobem využití olověných akumulátorů je startování motorů automobilů. Dokážou totiž snášet krátkodobé vybíjení velkými proudy. Na obrázku 12 je vidět schéma olověného akumulátoru. Akumulátor je tvořen elektrodami z olova a z oxidu olovičitého. Jako elektrolyt je zde použit zředěný roztok kyseliny sírové. Výhodou olověných akumulátorů je jejich nízká pořizovací cena, bezpečnost a dlouhá životnost překračující v některých případech i dvacet let. Další výhodou je dobře zvládnutý proces jejich recyklace. Na světě dochází k recyklaci až 99 % všech olověných akumulátorů. Olověné akumulátory mají ale i nevýhody. Při skladování nedostatečně nabitých akumulátorů dochází k sulfataci elektrod, což snižuje jejich kapacitu. Olověné akumulátory špatně snášejí hluboké vybíjení a ve srovnání s ostatními typy elektrochemických akumulátorů mají dlouhou dobu nabíjení. Jejich životnost se pohybuje mezi 500 až 800 nabíjecími cykly. [32]



Obrázek 12 Schéma olověného článku [33]

4.4.2 Niklové akumulátory

Do této kategorie spadají především nikl-kadmiové a nikl-metal hydridové akumulátory. Jmenovité napětí niklových článků se pohybuje okolo 1,2V. Výhodou niklových článků je schopnost dodávat relativně vysoké proudy a poměrně velká kapacita vzhledem k rozměrům. Tyto akumulátory nejčastěji se používají jako náhrada jednorázových baterií typu AA nebo AAA v dálkových ovladačích nebo jiné drobné elektronice. Mezi jejich nevýhody patří vysoká míra samovybíjení a paměťový efekt, kvůli kterému je vhodné baterie před použitím několikrát plně nabít a vybit. Na rozdíl od lithiových a olověných baterií jim plné vybití nijak neškodí

a vzhledem k míře jejich samovybití se proto skladují ve vybitém stavu. Životnost akumulátorů na bázi niklu se pohybuje v rozmezí 500–2000 cyklů. [33]

4.4.3 Lithiové akumulátory

Jedná se o chemické akumulátory na bázi lithia. Mezi přední zástupce patří lithium – iontové a lithium – polymerové akumulátory. Oproti ostatním typům akumulátorů disponují poměrně velkým jmenovitým napětím článku, v rozmezí 3 až 4 V a vysokou energetickou hustotu vzhledem k malým rozměrům. Proto nacházejí své uplatnění nejčastěji v přenosných zařízeních nebo elektromobilech. Lithiové akumulátory trpí minimálním samovybitím, mají dlouhou životnost, přesahující i 2000 nabíjecích cyklů a lze je vyrábět v různých tvarech. Typická provedení lithiových akumulátorů lze vidět na obrázku 13. Mezi jejich zásadní nevýhody patří snižování kapacity v průběhu času, vadí jim úplně vybití a při nesprávné manipulaci mohou být nebezpečné. Jako zásadní nevýhodu lze uvést i fakt, že zatím neexistuje dostatečně efektivní a ekonomický způsob jejich recyklace. [34]

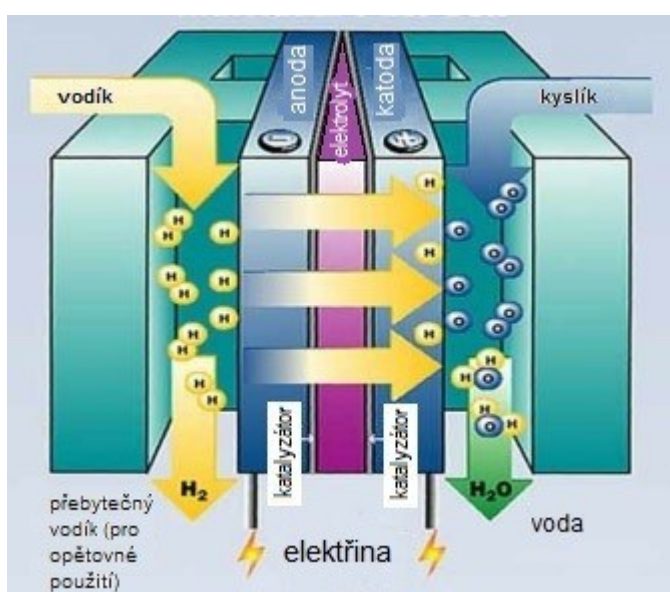


Obrázek 13 Různé typy lithiových akumulátorů [35]

4.5 Vodík

Vodík je plynný chemický prvek, který tvoří převážnou část hmoty ve Vesmíru. Vodík má značné energetické využití a velký potenciál v možnosti akumulace elektrické energie. I přes své hojné zastoupení, je v přírodě elementární vodík zastoupen jen vzácně. Největší podíl vyrobeného vodíku dnes pochází z fosilních paliv. Ekologickou variantou výroby vodíku je

výroba pomocí elektrolýzy vody. To je proces, kdy při průchodu stejnosměrného proudu vodou dochází k rozštěpení chemické vazby vody na vodík a kyslík. Výhodou této metody je, že výstupem procesu je pouze kyslík a vodík. Nevýhodou je, že na výrobu jednoho kilogramu vodíku je potřeba 9 litrů vody a 60 kWh elektrické energie. Tuto nevýhodu by mohlo odstranit využívání přebytků elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Takto vyrobený vodík by mohl být použit k vytápění nebo jako pohon automobilů. Výhodou tohoto použití je, že při spalování vodíku vzniká jen vodní pára. Dalším možným využitím je výroba elektrické energie v palivových článcích. Princip výroby elektrické energie v palivových článcích je vidět na obrázku 14. [37]

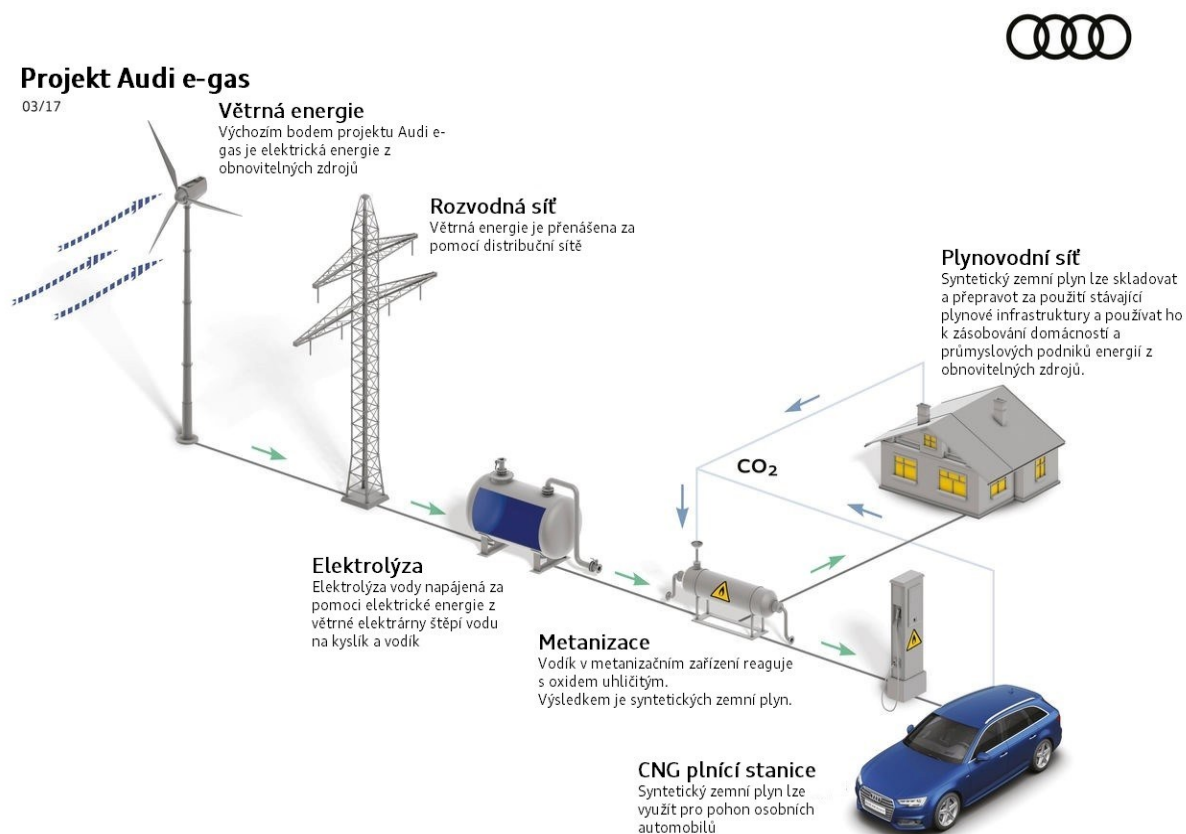


Obrázek 14 Schéma vodíkového palivového článku [36]

Tyto články zatím dosahují účinnosti pouze mezi 40–60 %. Při využití tepla vznikajícího při chemické reakci lze dosáhnout účinnosti až 90 %. Velkou překážkou rozšíření vodíku představuje způsob jeho skladování. Vodíkové molekuly jsou velmi malé, musí proto být skladován ve speciálních nádobách z oceli nebo kompozitních materiálů za vysokých tlaků. Další možností skladování je jeho zkapalňování, jehož se dosahuje ochlazením vodíku na teplotu $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. [37] [38]

4.6 Power to gas

Jedná se o způsob rozšiřující akumulární potenciál vodíku. Vodík vyrobený za pomoci elektrolýzy vody prochází následně procesem metanizace. Při tomto procesu dochází ke slučování vodíku a oxidu uhličitého prostřednictvím Sabatierovy reakce za vysoké teploty a tlaku. Výsledkem tohoto procesu je plyn metan. Výhodou použití metanu na místo vodíku je možnost využít již existující infrastruktury zemního plynu jako jsou plynovody nebo plynové elektrárny. Zároveň lze plyn využít k pohonu aut na CNG. Projekt založený na výrobě vodíku a metanu z elektrické energie vyráběné v „off shore“ větrných parcích testuje automobilka Audi v německém Werlte již od roku 2013 pod názvem Audi E-Gas. Na obrázku 15 je zobrazen koncept využití synteticky vyrobeného plynu. [39]



Obrázek 15 koncept využití Power to gas [39]

5 Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložištěm

5.1 Lokalita

Fotovoltaická elektrárna bude umístěná v prostorách rodinného domu. Dům je obdélníkového půdorysu o rozměrech 11,5 × 10,5 m. Fotovoltaické panely budou umístěné na sedlové střeše domu. Využita bude část střechy směřující na jihozápad. Sklon střechy je 40 °. Využitelná plocha střechy je přibližně 90 m². Dům se nachází v obci Herlify, nedaleko Havlíčkova Brodu v kraji Vysočina. Trvale dům obývají dvě osoby. Roční úhrn slunečního záření se v dané lokalitě pohybuje okolo hodnoty 1 130 kWh/m². [40]

5.2 Spotřeba rodinného domu

Dům je napojen na rozvodnou síť. Elektrická energie je využívána k provozu běžných domácích spotřebičů a k vaření. Vytápění objektu a ohřev vody je realizován pomocí plynového kotle. V současné době je elektrická energie odebírána od společnosti ČEZ Prodej, a.s. Využívána je distribuční sazba D02D obsahující pouze vysoký tarif. V domě je umístěn běžný jistič 3 × 25 A. V tabulce 1 je uveden přehled spotřeby za období let 2017 až 2022 a cena za kWh elektrické energie dle ročních vyúčtování.

Tabulka 1 Přehled vyúčtování roční spotřeby elektřiny mezi lety 2017–2022

Období	Spotřeba [kWh]	Cena za kWh [Kč]	Celková cena [Kč]
11. 1. 2017 – 8. 1. 2018	3 423	3,92	13 431,87
9. 1. 2018 – 10. 1. 2019	2 896	5,1	12 208,22
11. 1. 2019 – 6. 1. 2020	2 930	5,64	16 529,02
7. 1. 2020 – 14. 1. 2021	2 845	5,01	17 160,68
15. 1. 2021 – 12. 1. 2022	2 789	4,87	16 544,56
Průměr	2 976,6	4,908	15 174,87

5.3 Popis komponent

Nejdůležitějšími komponenty elektrárny jsou fotovoltaické panely. Pro návrh elektrárny jsem se rozhodl použít panely od výrobce Trina Solar. Tento výrobce se dlouhodobě pohybuje na předních příčkách v hodnocení solárních panelů dle společnosti Solar Analytica. Základní parametry vybraného typu solárních panelů jsou uvedeny v tabulce 2. Technický list pro použitý typ panelů je uveden v příloze 1. [41]

Tabulka 2 Základní parametry fotovoltaického panelu

Výrobce	Trina Solar
Typ	TSM-DE09R.08
Špičkový výkon [Wp]	425
Typ článků	Monokrystalický křemík
Počet článků	144
Hmotnost [kg]	21,8 kg
Rozměry [mm]	1 762 × 1 134 × 30
Účinnost [%]	21,8

Uchycení fotovoltaických panelů bude provedeno za použití konstrukce z hliníkových profilů. Hliníkové profily byly zvoleny z důvodů snížení hmotnosti celé konstrukce, a tedy nižšího zatížení samotné střechy. Tyto profily budou se střechou spojeny za pomoci střešních háků. Ty budou přivrtány samořeznými šrouby do krovu střechy. Instalace háků bude znamenat pouze drobnou úpravu střešní tašky, spočívající ve vyfrézování drážky v místě instalace háku. Tento typ instalace byl zvolen pro minimalizaci zásahů do již hotové střechy. Optimální sklon panelů v této lokalitě je 37 °, proto lze považovat 40 ° sklon střechy za optimální. Tato hodnota sklonu by měla zabránit hromadění sněhu na povrchu panelů, což by v zimních měsících negativně ovlivnilo výkon elektrárny.

Dalším důležitým komponentem fotovoltaické elektrárny je střídač. Střídač bude sloužit k přeměně stejnosměrného napětí produkovaného fotovoltaickými panely na napětí střídavé. V domě jsou vedeny trojfázové rozvody. Z toho důvodu je vhodnější zvolit třífázový střídač s funkcí asymetrického zatížení fází. Pro účely této fotovoltaické elektrárny jsem zvolil střídač GW 15K-ET od výrobce GoodWe. Základní parametry střídače jsou uvedeny v tabulce 3. Technický list střídače je uveden v příloze 2. Mimo těchto funkcí bude střídač řídit energetické toky v domácnosti a sloužit jako dobíječ baterie. Režim provozu elektrárny je blíže popsán v kapitole 5.6.

Tabulka 3 Základní parametry střídače

Výrobce	GoodWe
Typ	GW 15K-ET
Maximální vstupní DC výkon [W]	22 500
Maximální výstupní AC výkon [W]	16 500
Provedení	Třífázový
Počet MPPT vstupů	2
Hmotnost [kg]	48
Rozměry [mm]	660 × 520 × 220
Účinnost	98

Elektrárna bude osazena akumulátorovým uložištěm. Úložiště bude sloužit k napájení domácnosti v době, kdy elektrárna negeneruje dostatečné množství energie, typicky v nočních hodinách. V případě, že by elektrárna nebyla bateriovým uložištěm vybavena, bylo by nutné přebytky prodávat do sítě a v době potřeby ze sítě opět nakupovat. Tento postup není příliš hospodárný, protože výkupní ceny elektrické energie jsou zpravidla nižší než ceny nákupní. S ohledem na doporučení výrobce střídače, byl vybrán modulární bateriový systém od firmy Pylontech. Bateriový systém se skládá z jednotky řízení baterií, tzn. BMS a jednotlivých bateriových modulů. Jednotka BMS sloužící k zajištění bezpečného provozu akumulátorů. Nejčastěji slouží k zamezení přebíjení akumulátoru, úplnému vybíjení, přehřívání nebo vyrovnává rozdíly mezi jednotlivými články akumulátoru. Maximální počet modulů, které lze k připojit k jedné BMS jednotce je výrobcem stanovena na patnáct. Základní parametry bateriového uložiště jsou uvedeny v tabulce 4. Technické listy bateriových modulů a jednotky BMS pak v příloze 3.

Tabulka 4 Základní parametry bateriového uložiště

Výrobce	Pylontech
Typ bateriových modulů	H48050
Typ BMS	SC1000-100S
Počet bateriových modulů	8
Napětí bateriového modulu [V]	48
Celkové napětí bateriového uložiště [V]	384
Kapacita bateriového uložiště [kWh]	12
Maximální hloubka vybíjení	80 %
Celková hmotnost [kg]	200

5.4 Návrh velikosti elektrárny a bateriového uložiště

Elektrárna bude dimenzována na maximální využití plochy jihozápadní části střechy. V bezprostředním okolí domu nejsou žádné objekty, které by na tuto část střechy vrhaly stín. Využitelná plocha střechy je tedy 90 m². Jeden panel představuje plochu zhruba 2 m². Z toho vyplývá, že počet panelů bude stanoven následujícím výpočtem dle rovnice 3:

$$N_{\text{panelů}} = \frac{S_{\text{střechy}}}{S_{\text{panelu}}} \quad (3)$$

kde:

$N_{\text{panelů}}$ – počet panelů

$S_{\text{střechy}}$ – Využitelná plocha střechy

S_{panelu} – Plocha jednoho panelu

$$N = \frac{90}{2} = 45 \text{ panelů}$$

Celkový špičkový výkon elektrárny tedy vypočítám dle rovnice 4:

$$P_{\text{celkový}} = P \times N_{\text{panelů}} \quad (4)$$

kde:

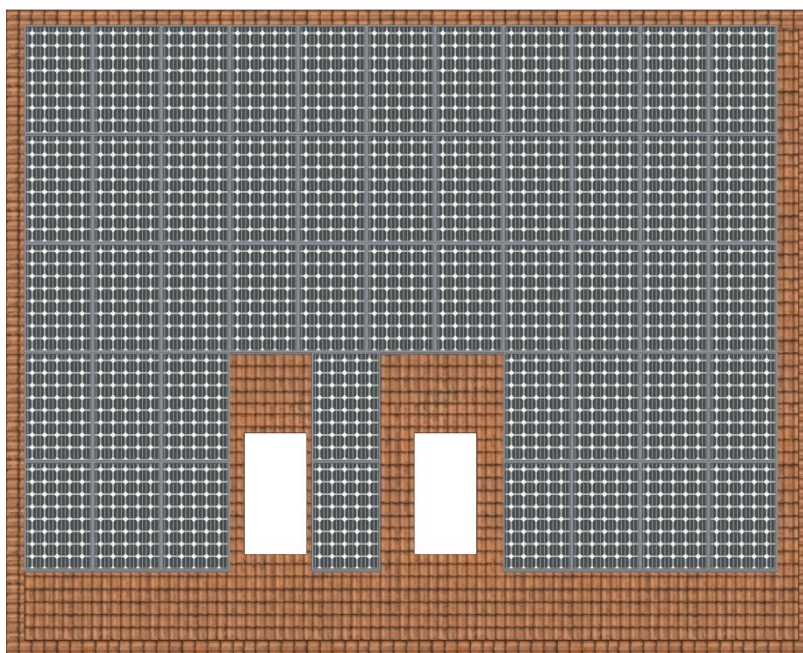
$P_{\text{celkový}}$ – špičkový výkon elektrárny

P – špičkový výkon jednoho panelu

$N_{\text{panelů}}$ – počet panelů

$$P_{\text{celkový}} = 425 \times 45 = 19\,125 \text{ Wp}$$

Pro stavbu fotovoltaické elektrárny o tomto výkonu není třeba dle Zákona č. 19/2023 Sb. žádat o stavební povolení ani o licenci ERÚ na výrobu elektrické energie. Rozložení panelů na střeše je vyobrazeno na obrázku 16.



Obrázek 16 Rozložení panelů na střeše domu

Velikost bateriového uložení udána počtem modulů. Velikost energie, kterou je jeden bateriový modul schopen uložit je 2 400 Wh. Proto je možné volit velikost uložení pouze v násobcích této hodnoty. Velikost uložení byla zvolena tak, aby průměrný počet dní s prázdnou baterií v měsíci nepřesáhl 3 %. Tato hodnota představuje zhruba jeden den v měsíci. Z tabulky 5 je patrné, že nejlépe tomuto požadavku odpovídá uložení s osmi moduly.

Tabulka 5 Průměrné procento dní s prázdnou baterií pro různé velikosti uložení

Počet modulů	Energie baterie [Wh]	Průměrné procento dní s prázdnou baterií [%]
7	16 800	3,53
8	19 200	2,74
9	21 600	2,21

Pro osm modulů bateriového uložení se tedy celková výdrž baterie dle rovnice 5 rovná:

$$E_{baterie} = N_{modulů} \times E_{modulu} \quad (5)$$

kde:

$E_{baterie}$ – Celková energie baterie

$N_{modulů}$ – počet bateriových modulů

E_{modulu} – Energie jednoho bateriového modulu

$$E_{baterie} = 8 \times 2\,400 = 19\,200 \text{ Wh}$$

Použité baterie jsou typu LiFePO₄. Maximální hloubka vybití bateriového uložení je dle výrobce stanovena na 80 %. Z toho důvodu je při návrhu elektrárny počítáno s vybíjením bateriového uložení na maximálně 20 % celkové kapacity baterie. Využitelná energie baterie se tedy rovná dle rovnice 6:

$$E_{využitelná} = E_{baterie} \times 0,8 \quad (6)$$

kde:

$E_{využitelná}$ – Využitelná energie baterie

$E_{baterie}$ – Celková energie baterie

$$E_{využitelná} = 19\,200 \times 0,8 = 15\,360 \text{ Wh}$$

Průměrná denní spotřeba domu byla vypočtena za pomoci dat zjištěných z vyúčtování za elektrickou energii v letech 2017 až 2022 uvedených v kapitole 5.2. Průměrná roční spotřeba za toto období byla vydělena počtem dní v roce.

$$E_{DD} = \frac{E_{RD}}{365} \quad (7)$$

kde:

E_{DD} – průměrná denní spotřeba domácnosti

E_{RD} – průměrná roční spotřeba domácnosti

$$E_{DD} = \frac{2\,976,6}{365} = 8\,155 \text{ Wh}$$

5.5 Fotovoltaický geografický informační systém (PVGIS)

PVGIS je webová aplikace Společného výzkumného centra Evropské komise. Slouží pro simulace výpočtu slunečního záření a výkonu fotovoltaických systému především v Evropě, je ale dostupná i pro většinu lokalit na světě. Systém ke své práci využívá data ze satelitů i pozemních meteorostanic. Pro kalkulace je možné využívat vícero databází.

Pro návrhové výpočty jsem využil databázi PVGIS-SARAH2. Data pro tuto databázi zajišťuje Evropská organizace pro výzkum meteorologickými satelity (EUMETSAT). Pomocí PVGISu lze vypočítat teoretický výkon fotovoltaických elektráren jak ve variantách připojených k rozvodné síti, a to i pro instalace s automatickým natáčením fotovoltaických panelů, tak pro takzvané „off-grid“ ostrovní systémy s akumulací do bateriových uložišť. Do výpočtu lze nahrát vlastní profil denní spotřeby energie. Použití aplikace PVGIS je bezplatné. Pro kalkulace této práce byla aplikace využívána ve verzi 5.2. [42]

Při kalkulaci fotovoltaické elektrárny byly uvažovány parametry uvedené v tabulce 6:

Tabulka 6 Kalkulované parametry fotovoltaické elektrárny

Instalovaný špičkový fotovoltaický výkon	19 125 W _p
Kapacita baterie	19 200 Wh
Limit vybití baterie	20 %
Denní spotřeba	8 155 Wh
Sklon panelů	40°
Azimut (jih=0°)	20°

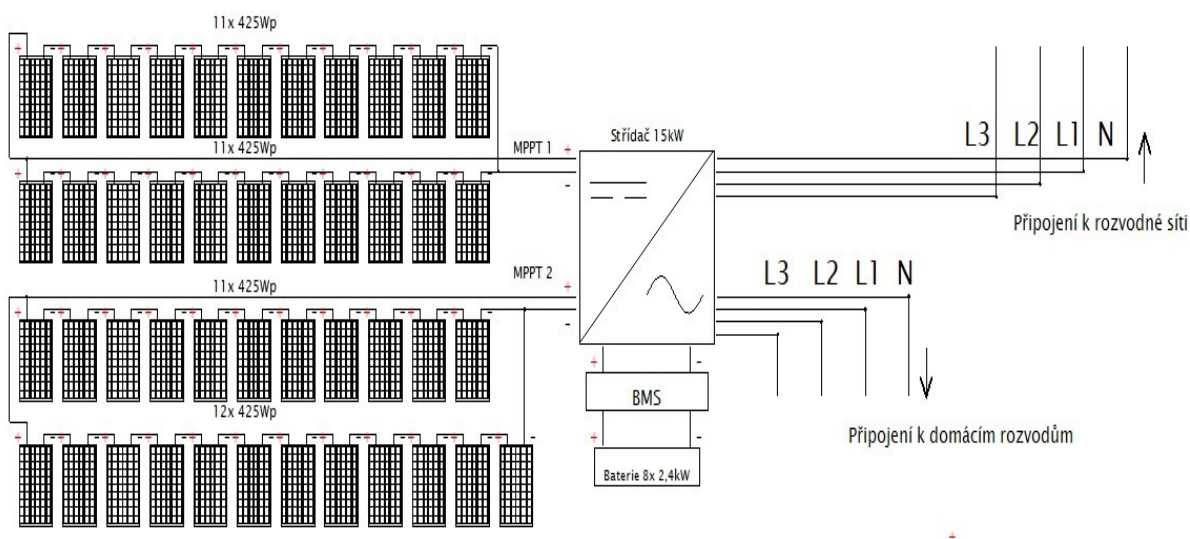
5.6 Režimy provozu fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna bude fungovat dle následujícího nastavení v režimech A až E:

- A. Pro spotřebu domácnosti bude primárně využívána elektrická energie vyrobená fotovoltaickou elektrárnou.
- B. V případě nižší spotřeby, než je výroba elektrické energie, bude energie ukládána do bateriového uložení.
- C. Pokud dojde k plnému nabití uložení, budou přebytky prodávány do sítě.
- D. V období, kdy bude výroba elektrické energie nižší než spotřeba domácnosti, bude využívána energie uložená v bateriovém uložení.
- E. Pokud dojde k vyčerpání bateriového uložení, bude chybějící energie nakupována z rozvodné sítě.

5.7 Elektrické zapojení

Fotovoltaické panely budou rozděleny do dvou řetězců po 22 resp. 23 kusech v sérioparalelním zapojení. Jednotlivé řetězce budou zapojeny do MPPT vstupů střídače. Toto zapojení zvoleno proto, aby byla dodržena maximální hodnota vstupního napětí a proudu střídače. Bateriový modul bude zapojen do střídače, zároveň dojde k zapojení komunikačního kabelu mezi střídačem a jednotkou BMS. Třífázový výstup střídače bude připojen na rozvody rodinného domu. Zároveň bude realizováno třífázové propojení střídače s distribuční sítí. Schéma zapojení elektrárny je na obrázku 17.



Obrázek 17 Elektrické schéma zapojení fotovoltaické elektrárny

6 Ekonomické zhodnocení projektu

6.1 Náklady

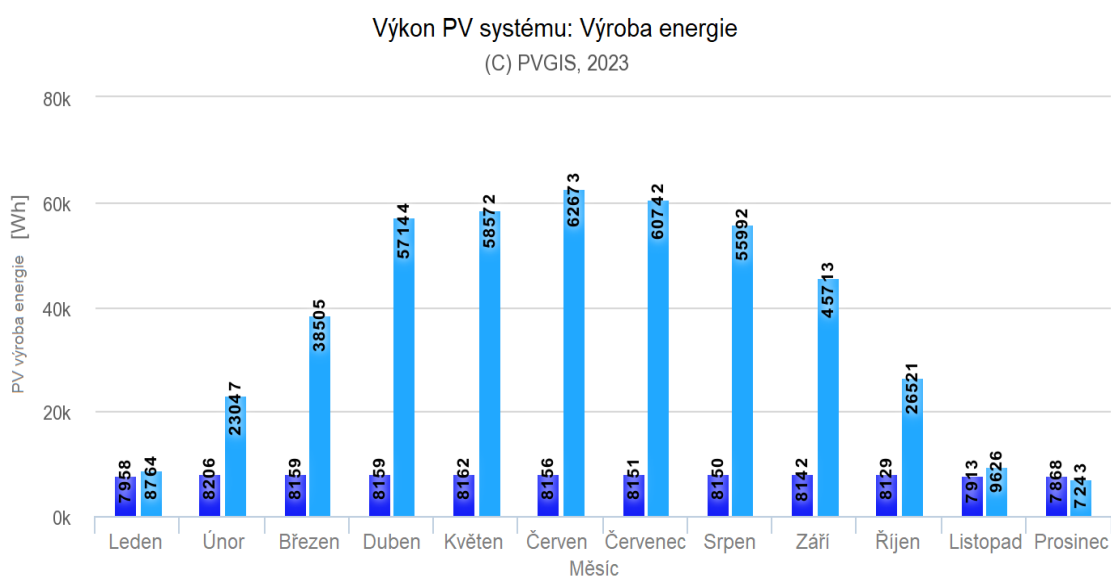
Celkové náklady na vybudování fotovoltaické elektrárny budou 565 687 Kč. V tabulce 7 jsou uvedeny ceny uvažované pro jednotlivé položky. Jednotkové ceny komponentů byly získávány především z maloobchodů v České republice i v zahraničí.

Tabulka 7 Ceny komponent fotovoltaické elektrárny

Položka	Počet [Ks]	Jednotková cena [Kč]	Celková cena [Kč]
Fotovoltaický panel	45	3 509	157 905
Nosná konstrukce	45	1 805	81 225
Střídač	1	77 000	77 000
BMS	1	19 161	19 161
Bateriový modul	8	16 612	132 896
Další montážní materiál	1	40 000	40 000
Montáž	1	60 000	60 000
Celkem			565 687

6.2 Výroba elektrické energie

Dle kalkulací provedených v aplikaci PVGIS, by fotovoltaická elektrárna měla být schopná pokrývat průměrnou denní spotřebu domácnosti vypočtenou v kapitole 5.4 po většinu dní v roce. Jak je z grafu na obrázku 18 patrné, že elektrárna dosahuje největší produkce v letních měsících, nejvíce v měsících červen a červenec.



Obrázek 18 průměrná denní výroba elektrické energie v jednotlivých měsících [42]

Nejnižších objemů produkce je naopak dosahováno v zimních měsících. Nejnižšího objemu produkce je dosahováno v prosinci, lednu a listopadu. V těchto měsících může nastat situace, kdy bude třeba dokoupit elektrickou energii ze sítě. V tabulce 8 jsou uvedeny měsíční úhrny vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících.

Tabulka 8 Produkce elektrické energie v jednotlivých měsících

Měsíc	Vyrobená energie [Wh]	Spotřebovaná energie [Wh]	Přebytečná energie [Wh]
Leden	518 382	246 698	271 684
Únor	875 084	229 768	645 316
Březen	1 446 584	252 929	1 193 655
Duben	1 959 090	244 770	1 714 320
Květen	2 068 754	253 022	1 815 732
Červen	2 124 870	244 680	1 880 190
Červenec	2 135 683	252 681	1 883 002
Srpen	1 988 402	252 650	1 735 752
Září	1 615 650	244 260	1 371 390
Říjen	1 074 150	251 999	822 151
Listopad	526 170	237 390	288 780
Prosinec	468 441	243 908	224 533
Celkem	16 801 260	2 954 755	13 846 505
Celkem v kWh	16 801	2 954,755	13 846,505

6.3 Prodej elektrické energie do sítě

Zejména v letních měsících elektrárna produkuje značné přebytky, které nelze spotřebovat ani uložit. Tyto přebytky budou prodávány do sítě. Při prodeji elektrické energie do sítě je nutné počítat s tím, že výkupní ceny jsou vždy nižší než ceny, za které je energie nakupována.

Na základě průzkumu trhu jsem zjistil výkupní cenu elektrické energie k 8. 3. 2023. V tabulce 9 uvádím příklady výkupních cen elektřiny z fotovoltaických elektráren. Mimo společností uvedených v tabulce existují na trhu subjekty vykupující elektrickou energii za takzvané spotové ceny. To jsou ceny určené na základě ceny energií stanovené na energetické burze.

Tabulka 9 Výkupní ceny elektrické energie z obnovitelných zdrojů

Společnost	Výkupní cena za MWh [Kč]
Entri	3 224
Pražská plynárenská	3 000
Centropol	3 500

Pokud budeme v případě této fotovoltaické elektrárny uvažovat výkupní cenu za jednu kWh 3,5 Kč, můžeme vypočítat průměrné roční výnosy z prodeje přebytků následujícím způsobem:

$$TR_p = E_p \times JC_p \quad (8)$$

Kde:

TR_p – Roční výnosy z prodeje přebytků

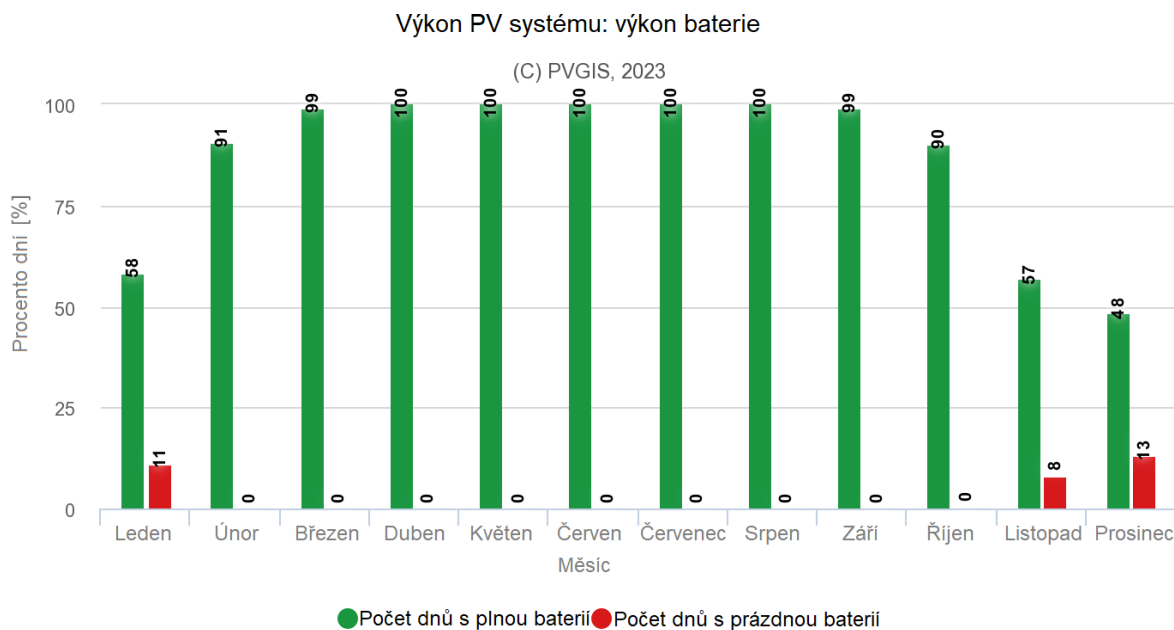
E_p – Roční přebytečná energie

JC_p – Jednotková cena za prodanou kWh

$$TR_p = 13\,846 \times 3,5 = 48\,462,77 \text{ Kč}$$

6.4 Kalkulace chybějící energie

Z grafu na obrázku 19 je patrné, že fotovoltaická elektrárna je schopná plně pokrýt spotřebu od února do října. V měsících listopad, prosinec a leden ovšem může dojít k vybití baterie a bude zapotřebí nakoupit chybějící energii ze sítě. Průměrné množství chybějící energie v těchto dnech je 2 147 Wh.



Obrázek 19 Procento dní s nabitou a vybitou baterií [42]

Tabulka 10 Počet dnů v měsíci s nedostatkem energie

Měsíc	Počet dní v měsíci	Procento dní s prázdnou baterií [%]	Počet dní s nedostatkem elektrické energie	Energie dokoupená ze sítě [Wh]
Leden	31	11	3,41	7321,27
Listopad	30	8	2,4	5 152,8
Prosinec	31	13	4,03	8652,41
Celkem			9,84	21 126,5

Z tabulky 10 je patrné, že bude třeba ze sítě nakoupit každý rok okolo 21 kWh elektrické energie. Budeme-li jako nákupní cenu za jednu kWh uvažovat průměrnou cenu za období let 2017 až 2022 z tabulky 1, vypočítáme pomocí rovnice 9 náklady na nákup chybějící energie:

$$TC_n = E_{ch} \times JC_n \quad (9)$$

kde:

TC_n – Roční náklady na nakoupenou energii

E_{ch} – Roční chybějící energie

JC_n – Jednotková cena za nakoupenou kWh

$$TC_n = 21,126 \times 4,9 = 103,5 \text{ Kč}$$

6.5 Návratnost projektu

Návratnost investice do fotovoltaické elektrárny byla zjištěna následujícím způsobem. Celkové náklady na pořízení investice byly vyděleny součtem uspořené nákladů a ročním výnosem z projede přebytků.

Roční úspora nákladů

Roční úsporu nákladů představuje uspořené náklady na elektrickou energii, které jsou uvedeny v tabulce 1 od kterých byly odečteny roční náklady na nakoupenou elektrickou energii v době nedostačené produkce elektrické energie.

$$RU = A_u - TC_n \quad (10)$$

kde:

RU – Roční úspora nákladů

A_u – Průměrné roční uspořené náklady za období 2017–2022

TC_n – Roční náklady na nakoupenou energii

$$RU = 15 174,87 - 103,5 = 15 071,37 \text{ Kč}$$

Roční výnos z prodeje přebytků elektrické energie

Roční výnos z prodeje přebytků byl vypočítán v kapitole 6.3.

Prostá návratnost investice

$$T_s = \frac{IN}{(RU + TR_p)} \quad (11)$$

kde:

T_s – Doba návratnosti.

IN – Investiční výdaj

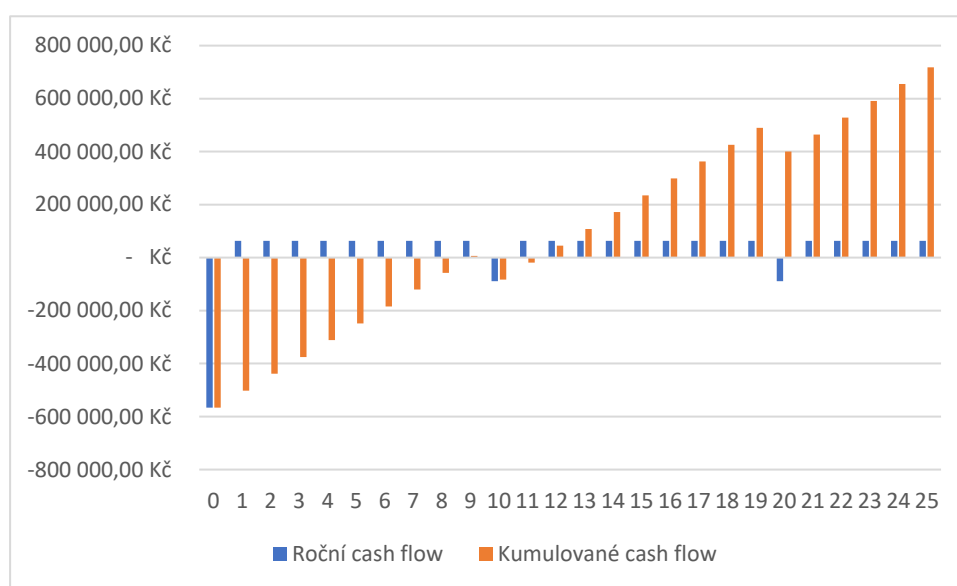
RU – Roční úspora nákladů

TR_p – Roční výnosy z prodeje přebytků

$$T_s = \frac{565\,687}{(15\,071,37 + 48\,462,77)} = 8,9 \text{ let}$$

7 Diskuse

Prostá návratnost investice představuje jeden z nejprokazatelnějších ukazatelů výhodnosti investice. V tomto konkrétním případě se návratnost investice pohybuje okolo devíti let. Zásadní informací pro zvážení investice je doba její životnosti. Životnost fotovoltaických panelů udávána výrobcem se pohybuje okolo 25 let. Z tohoto pohledu se investice jeví jako realizovatelná. Do kalkulací je ovšem nutné počítat s nutností výměny bateriového uložení po zhruba deseti letech. I přes tento očekávatelný nárůst nákladů bych realizaci investice doporučil. V grafu na obrázku 20 je zachyceno roční a kumulované cash flow za celou dobu životnosti investice.



Obrázek 20 Vývoj ročního a kumulovaného cash flow

Elektrárna v této konfiguraci pokrývá drtivou část spotřeby elektrické energie. Z toho důvodu může tedy představovat ochranu před nárůstem cen elektrické energie. Nárůst cen elektrické energie může také vést k zásadnímu zkrácení doby návratnosti investice. Každé zvýšení výkupní ceny o jednu korunu znamená zkrácení doby návratnosti o zhruba jeden rok.

Při aktuálních výkupních cenách elektrické energie dává větší smysl využít přebytečnou elektrickou energii k účelům, které jsou aktuálně pokrývány jiným způsobem než prodávat elektrickou energii do sítě. Příkladem může být použití elektrické energie k vytápění na místo zemního plynu, nebo využití přebytků k nabíjení akumulátoru elektromobilu. Obě možnosti by si však vyžádaly dodatečné investice, které by negativně ovlivnily dobu návratnosti.

Zajímavou možností zkrácení doby návratnosti by bylo využití státní dotace. Dotace z programu Nová zelená úsporám lze čerpat až do výše 50 % veškerých nákladů na výstavbu

fotovoltaické elektrárny. Maximální částka dotace je ovšem omezená na 200 000 Kč. Využití státní dotace by přineslo zkrácení doby návratnosti o více než tři roky. Aktuálně nelze na fotovoltaickou elektrárnu tohoto typu dotační program využít. Dotační program je v tuto chvíli omezen na elektrárny o maximálním výkonu 10 kWp. Dle informací od Státního fondu životního prostředí ČR je změna těchto podmínek již připravována.

Dodatečným benefitem plynoucím z investice do vlastního zdroje elektrické energie může být zvýšení hodnoty samotné nemovitosti.

8 Závěr

Bakalářská práce ve své první části představuje různé způsoby výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů, jako jsou sluneční svit, voda, vítr a biomasa. Součástí práce je také zhodnocení potenciálu jednotlivých obnovitelných zdrojů v kontextu České republiky a uvedení některých jejich výhod a nevýhod. Dále se práce zabývá způsoby akumulace elektrické energie na různých fyzikálních principech.

Praktická část práce se zaměřuje na návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložištěm pro ukládání přebytků vyrobené energie. Instalace této elektrárny byla navržena na střechu rodinného domu, jehož spotřebu má primárně pokrývat. Při maximálním využití plochy střechy fotovoltaickými panely bylo dosaženo špičkového výkonu 19 125 Wp. Velikost bateriového uložiště byla stanovena tak, aby průměrný počet dní s prázdnou baterií v měsíci nepřesáhl 3 %. Tato hodnota představuje zhruba jeden den v měsíci. Proto bylo vybráno bateriové uložiště o celkové energii 19 200 Wh. Tyto hodnoty byly následně zadány do aplikace PVGIS, a použity k výpočtům produkce elektrické energie v dané lokalitě. Z vypočtených výsledků bylo zjištěno, že elektrárna je schopná pokrývat spotřebu domácnosti po většinu roku. Pouze v měsících leden, listopad a prosince mohou nastat případy, kdy bude třeba nakoupit energii ze sítě. Počet těchto dní by v jednom roce neměl přesáhnout deset. Takto dimenzovaná fotovoltaická elektrárna by především v letních měsících byla schopná generovat velké přebytky, které při současném stavu domácnosti nelze rozumně spotřebovat ani uložit. Tato energie by byla po plném nabití bateriového uložiště prodávána do distribuční sítě.

Náklady na pořízení elektrárny byly stanoveny na 565 687 Kč. Doba návratnosti této investice se blížila k devíti letům. To z hlediska investorů rozhodně není krátká doba, proto bylo v závěru práce nastíněno několik možností, jak dosáhnout zkrácení doby návratnosti. Do doby návratnosti by se mohlo v budoucnu projevit mimo jiné i zvýšení cen za vykupovanou elektrickou energii.

O realizaci obdobné instalace bylo v minulosti na objektu tohoto rodinného domu uvažováno. Prozatím bylo rozhodnuto tuto investici nerealizovat, a to z důvodu dlouhé návratnosti. Toto rozhodnutí bude možná v budoucnu revidováno s ohledem na vývoj cen elektrické energie a další zlevňování komponent fotovoltaické elektrárny. Ve prospěch realizace investice by mohlo promluvit rozšíření dotace i na fotovoltaické zdroje nad 10 kWp.

9 Citovaná literatura a informační zdroje

- [1] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK a Jan MACHÁČEK. *Obnovitelné zdroje elektrické*. Praha: České vysoké učení technické v Praze: České vysoké učení technické v Praze. 1. Praha: ČVUT, 2011.
- [2] *Zbytkový energetický mix*. [online]. Praha: OTE, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/zbytkovy-energeticky-mix>
- [3] *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu* [online]. 2020 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>.
- [4] *Historie větrných mlýnů sahá až do daleké minulosti* [online]. Praha: E15 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/historie-vetrnych-mlynu-saha-az-do-daleke-minulosti-979441>
- [5] WIKIPEDIE, Příspěvatelé. *Plachetnice.: Otevřená encyklopedie*. Plachetnice [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Plachetnice>
- [6] JUNG, Ondřej, Luboš MALÝ, Michael MAREK a Martin ŠMÍD. *VĚTRNÁ ENERGIE*. 1. Tábor, 2013.
- [7] ROCK, Mary a Laura PARSONS. *Offshore Wind Energy*. [online]. Washington: Enviromental and Energy Study Institute, 2010 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://www.eesi.org/files/offshore_wind_101310.pdf
- [8] VOBOŘIL, David. *Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR*. [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>.
- [9] HANSLIAN, David. *Větrné podmínky pro malé větrné elektrárny*. [online]. Praha: TZB-info, 2012 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/8358-vetrne-podminky-pro-male-vetrne-elektrarny>
- [10] HANSLIAN, David. *Větrné podmínky v České republice ve výšce 10 m nad povrchem*. Praha: TZB-info, 2013. Dostupné také z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9770-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-i>.
- [11] *Advantages and Challenges of Wind Energy*. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy [online]. Washington: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges-wind-energy>
- [12] BOUŠKA, Jan. *Historie energetiky*. [online]. Praha: SPVEZ, 2018 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.spvez.cz/cs/historie>
- [13] VOBOŘIL, David. *Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR*. [online]. Třebíč: OM Solutions, 2016 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>.
- [14] Kaplanova turbína. *ENERGETIKA ZBLÍŽKA* [online]. 2020 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/vodni-elektrarna-podrobne/kaplanova-turbina/vyklad>
- [15] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 9788086726489.

- [16] MOLEK, Tomáš. *Bioplyn a bioplynové stanice v ČR*. [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/bioplyn-a-bioplynove-stance-v-cr>
- [17] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy*. Brno: Publi.cz, 2016. ISBN 9788088058083.
- [18] *Možnosti energetického využití biomasy*. 1. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2013. ISBN 9788074341229.
- [19] *Elektrárny na biomasu. informační portál energetické gramotnosti* [online]. Informační portál energetické gramotnosti [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/elektrarny-na-biomasu>
- [20] MURTINGER, Karel. *Fotovoltaika Elektrická energie ze slunce*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 9788087333013.
- [21] BAROCH, Pavel. *Český objev pomohl zvýšit účinnost solárních panelů. Efektivita naroste na 26 procent* [online]. Obnovitelně.cz, 2020 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/1419/cesky-objev-pomohl-zvysit-ucinnost-solarnich-panelu-efektivita-naroste-na-26-procent>.
- [22] *Solární rok 2020: Česká fotovoltaika roste i během pandemie, stále ale nevyužíváme její plný potenciál*. [online]. Praha: Solární asociace, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/21054-solarni-rok-2020--ceska-fotovoltaika-roste-i-behem-pandemie--stale-ale-nevyuzivame-jeji-plny-potencial>
- [23] BÍM, Jiří. *Co je to agrovoltaika?* [online]. Praha: ekolist.cz, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/co-je-to-agrovoltaika>
- [24] *Fotovoltaika v podmínkách České republiky* [online]. České Budějovice: Isofen Energy, 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>.
- [25] KUSALA, Jaroslav. *Solární (fotovoltaické) články. Solární energie* [online]. ČEZ, 2006 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm#z>
- [26] LUO, Xing. *Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation*. ScienceDirect, 2014. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914010290>.
- [27] HLAVOVÁ, Eva. *Přečerpávací vodní elektrárna. ČVUT* [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: http://stretch.fs.cvut.cz/2019/sbornik_2019/sbornik2019/106.pdf
- [28] *IGW: Kanadský Hydrostor připravuje obří baterie se stlačeným vzduchem pro dlouhodobou akumulaci*. [online]. Dobrá: SolarniNovinky.cz, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.solarninovinky.cz/1gw-kanadsky-hydrostor-pripravuje-obri-baterie-se-stlacenym-vzduchem-pro-dlouhodobou-akumulaci/>
- [29] MURTINGER, Karel. *Ukládání elektřiny z fotovoltaických a větrných elektráren* [online]. Brno: nazeleno.cz, 2011 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektřiny-z-fotovoltaických-a-vetrných-elektřaren.aspx>
- [30] PLOMER, Jan. *Setrvačnick, inovativní řešení pro hybridní a elektrická vozidla, 1. díl* [online]. Chamanne, 2010 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/setrvacnik-inovativni-reseni-pro-hybridni-elektricka-vozidla-1-dil/>

- [31] TOM, Liya, Muhammad KHOWJA, Gaurang VAKIL a Chris GERADA. Commercial Aircraft Electrification—Current State and Future Scope. *Energies* [online]. 2021, 14(24) [cit. 2023-03-27]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en14248381
- [32] ŠPINA, Martin. *Olověné baterie: Stálíce na poli akumulace již více než půldruhého století* [online]. Třebíč: OM Solutions, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/olovene-baterie-stalice-poli-akumulace-jiz-vice-nez-puldruheho-stoleti>.
- [33] *Víte, jak funguje baterie?* [online]. Říčany u Prahy, 2013 [cit. 2023-03-27]. Proelektrotechniky.cz. Dostupné z: <https://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/17.php>.
- [34] TICHÝ, Jiří. *Lithiové akumulátory, Přehled základních typů a jejich vlastností.* [online]. Praha: TZB-info, 2019 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>
- [35] *Designing Applications with Lithium-Ion Batteries* [online]. Chupei: Richtek [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.richtek.com/Design%20Support/Technical%20Document/AN025>
- [36] ŠRUBAŘOVÁ, Petra. *Jak fungují palivové články?* [online]. Praha: TZB-info, 2018 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [37] WAGNER, Vladimír. *Velký přehled: Využívané i perspektivní technologie akumulace energie* [online]. OM Solutions, 2018 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/velky-prehled-vyuzivane-i-perspektivni-technologie-akumulace-energie>.
- [38] MAJLING, Eduard. *Palivové články – princip funkce a dělení* [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni>.
- [39] VOBOŘIL, David. *Power to Gas - budoucnost akumulace elektriny?* [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elektriny>
- [40] *Global solar atlas* [online]. ENERGYDATA, 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info/map>
- [41] FARQUHARSON, Dietreich. *TIER-1 SOLAR PANELS LIST 2022* [online]. Solar analytica, 2022 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://solaranalytica.com/tier-1-solar-panels/>
- [42] *PVGIS user manual.* [online]. Ispra: EU Science Hub, 2022 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en

10 Seznam použitých zkratk

BMS – Battery management systém

PVGIS – Fotovoltaický geografický informační systém

MPPT – Maximum Power Point Tracking

AC – Střídavý proud

DC – Stejnoseměrný proud

11 Seznam obrázků

Obrázek 1 Energetický mix ČR v % pro rok 2020.....	4
Obrázek 2 Popis komponent větrné elektrárny.....	6
Obrázek 3 Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad povrchem	7
Obrázek 4 Charakteristika různých druhů turbín v závislosti na spádu a průtoku.....	9
Obrázek 5 Možnosti energetického využití biomasy	11
Obrázek 6 Schéma fotovoltaického článku	14
Obrázek 7 Solární mapa České republiky	15
Obrázek 8 Rozdělení technologií na ukládání elektrické energie	17
Obrázek 9 Schéma přečerpávací vodní elektrárny	18
Obrázek 10 Schéma akumulčního zařízení na stlačený vzduch	19
Obrázek 11 Schéma setrvačnicku	20
Obrázek 12 Schéma olověného článku.....	21
Obrázek 13 Různé typy lithiových akumulátorů.....	22
Obrázek 14 Schéma vodíkového palivového článku.....	23
Obrázek 15 koncept využití Power to gas	24
Obrázek 16 Rozložení panelů na střeše domu.....	28
Obrázek 17 Elektrické schéma zapojení fotovoltaické elektrárny	31
Obrázek 18 průměrná denní výroba elektrické energie v jednotlivých měsících	32
Obrázek 19 Procento dní s nabitou a vybitou baterií	34
Obrázek 20 Vývoj ročního a kumulovaného cash flow	37

12 Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled vyúčtování roční spotřeby elektřiny mezi lety 2017–2022	25
Tabulka 2 Základní parametry fotovoltaického panelu	26
Tabulka 3 Základní parametry střídače	26
Tabulka 4 Základní parametry bateriového uložení	27
Tabulka 5 Průměrné procento dní s prázdnou baterií pro různé velikosti uložení	29
Tabulka 6 Kalkulované parametry fotovoltaické elektrárny	30
Tabulka 7 Ceny komponent fotovoltaické elektrárny	32
Tabulka 8 Produkce elektrické energie v jednotlivých měsících	33
Tabulka 9 Výkupní ceny elektrické energie z obnovitelných zdrojů	33
Tabulka 10 Počet dnů v měsíci s nedostatkem energie	35

13 Seznam příloh

Příloha 1: Datasheet fotovoltaického panelu TSM-DE09R.08	I
Příloha 2: Datasheet střídače GoodWe GW15K-ET	III
Příloha 3: Datasheet bateriového modulu H48050 a BMS SC0500-100S	V

Příloha 1: Datasheet fotovoltaického panelu TSM-DE09R.08

Vertex S

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

PRODUCT: TSM-DE09R.08
POWER RANGE: 415-435 W

435 W+
MAXIMUM POWER OUTPUT

0/+5 W
POSITIVE POWER TOLERANCE

21.8 %
MAXIMUM EFFICIENCY



Small in size, big on power

- Generates up to 435 W, 21.8 % module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping, lower series resistance, improved current collection and enhanced reliability
- Excellent low light performance (IAM) with cell process and module material optimization



Universal solution for residential and C&I rooftops

- Designed for compatibility with existing mainstream inverters, optimizers and mounting systems
- Perfect size and low weight for easy handling. Optimized transportation cost
- Reduces installation cost with higher power bin and efficiency
- Flexible installation solutions for system deployment



High Reliability

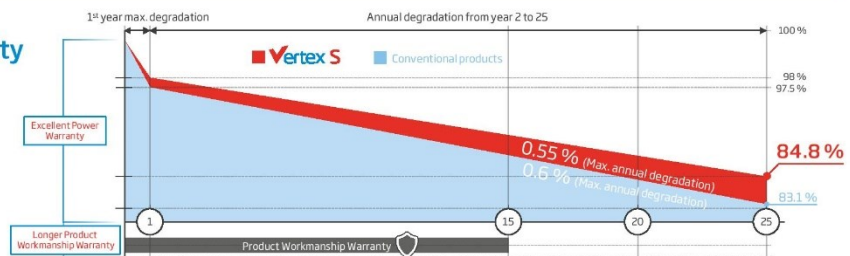
- Positive load up to 6,000 Pa (snow)
- Negative load up to 4,000 Pa (wind)

Extended Vertex S Warranty

2 %
1st year max. degradation

0.55 %
Max. annual degradation from year 2 to 25

15 Years
Product Workmanship Warranty



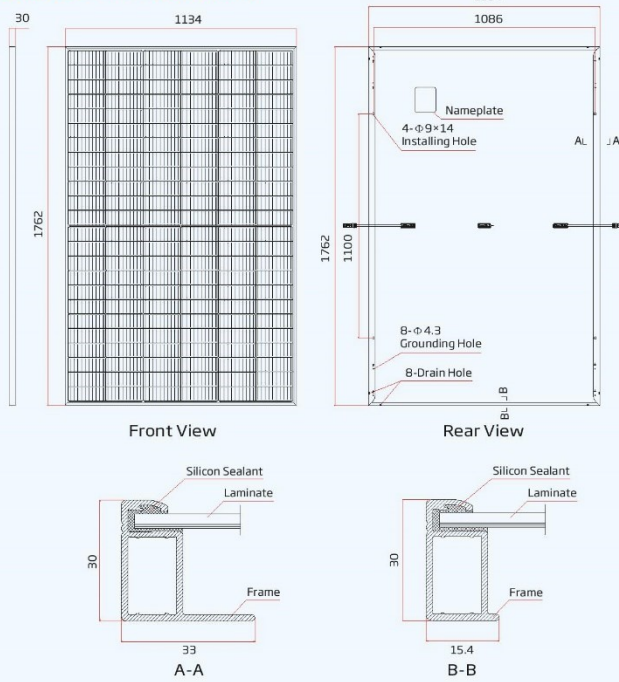
Comprehensive Product and System Certificates



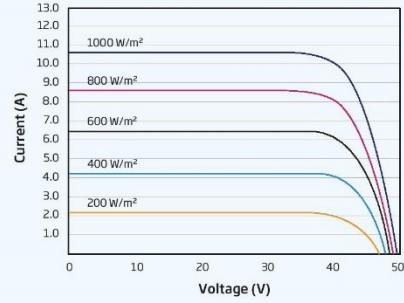
IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716
ISO 9001: Quality Management System
ISO 14001: Environmental Management System
ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

Trinasolar

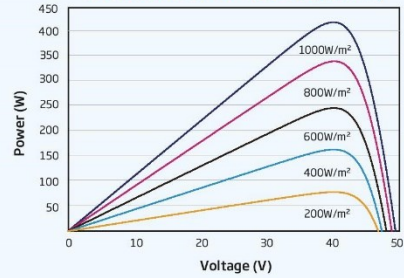
DIMENSIONS OF PV MODULE (mm)



I-V CURVES OF PV MODULE (420 W)



P-V CURVES OF PV MODULE (420 W)



ELECTRICAL DATA (STC)

	TSM-415 DE09R.08	TSM-420 DE09R.08	TSM-425 DE09R.08	TSM-430 DE09R.08	TSM-435 DE09R.08
Peak Power Watts- P_{MAX} (W)*	415	420	425	430	435
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	41.0	41.3	41.5	41.8	42.0
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	10.11	10.17	10.24	10.30	10.36
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	49.4	49.7	49.9	50.3	50.6
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	10.64	10.69	10.74	10.81	10.86
Module Efficiency η_m (%)	20.8	21.0	21.3	21.5	21.8

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25 °C, Air Mass AML.5 *Measuring tolerance: ±3%

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	144 cells
Module Dimensions	1762 × 1134 × 30 mm
Weight	21.8 kg
Glass	3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA/POE
Backsheet	White
Frame	30 mm Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0 mm ² Landscape: 1100/1100 mm Portrait: 280/350 mm*
Connector	TS4/MC4 EVO2*

*Special order only

ELECTRICAL DATA (NOCT)

	TSM-415 DE09R.08	TSM-420 DE09R.08	TSM-425 DE09R.08	TSM-430 DE09R.08	TSM-435 DE09R.08
Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	313	317	321	325	329
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	38.5	38.8	39.1	39.4	39.6
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	8.13	8.17	8.21	8.26	8.30
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	46.5	46.7	46.9	47.3	47.6
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	8.58	8.62	8.66	8.71	8.75

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20 °C, Wind Speed 1 m/s.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43 °C (±2 K)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.34 %/K
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.25 %/K
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.04 %/K

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 to +85 °C
Maximum System Voltage	1500 V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20 A

WARRANTY

15 Year product workmanship warranty
25 Year power warranty
2% First year degradation
0.55% Annual power degradation

(Please refer to the applicable limited warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box	36 pieces
Modules per 40' container	936 pieces

Příloha 2: Datasheet střídače GoodWe GW15K-ET

GOODWE

ET Series

15-30kW | Three Phase |
Up to 3 MPPTs | Hybrid Inverter (HV)

GoodWe ET 15-30kW Series inverter is ideal for large residential or small commercial and industrial applications. As the core of the energy storage solution, the high-voltage inverters facilitate powerful energy backup and load management for optimized autonomy and reduced energy cost. The ET inverters also present peak shaving that balances power demand and grid power imported, to effectively reduce extra grid demand. Furthermore, thanks to dry contact in the inverter, external loads such as heat pumps can also be flexibly activated to optimize energy consumption. The series can be combined with a range of battery capacities and brands, including the GoodWe Lynx Home F.



Smart Control & Monitoring

- Integrated dry contact for external loads
- Peak shaving



Friendly & Thoughtful Design

- Elegant and compact design
- Plug & Play installations



Superb Safety & Reliability

- Type II SPD on DC side
- AFCI optional¹



Flexible & Adaptable Applications

- Max. 15A DC input current per string
- Up to 150% DC input oversizing

¹: Optional functions or devices are purchased separately.

ET 15-30kW Series

GOODWE

Technical Data	GW15K-ET	GW20K-ET	GW25K-ET	GW29.9K-ET	GW30K-ET
Battery Input Data					
Battery Type	Li-Ion				
Nominal Battery Voltage (V)	500				
Battery voltage range (V)	200 ~ 800				
Max. Continuous Charging Current (A)	50	50	50 × 2	50 × 2	50 × 2
Max. Continuous Discharging Current (A)	50	50	50 × 2	50 × 2	50 × 2
Max. Charging Power (W)	15000	20000	12500 × 2	15000 × 2	15000 × 2
Max. Discharging Power (W)	15000	20000	12500 × 2	15000 × 2	15000 × 2
PV String Input Data					
Max. Input Power (W) ¹	22500	30000	37500	45000	45000
Max. Input Voltage (V) ²	1000				
MPPT Operating Voltage Range (V)	200 ~ 850				
Start-up Voltage (V)	200				
Nominal Input Voltage (V)	620				
Max. Input Current per MPPT (A)	30				
Max. Short Circuit Current per MPPT (A)	38				
Number of MPP Trackers	2	2	3	3	3
Number of Strings per MPPT	2 / 2	2 / 2	2 / 2 / 2	2 / 2 / 2	2 / 2 / 2
AC Output Data (On-grid)					
Nominal Apparent Power Output to Utility Grid (VA)	15000	20000	25000	29900	30000
Max. Apparent Power Output to Utility Grid (VA)	16500	22000	27500	29900	33000
Max. Apparent Power from Utility Grid (VA)	22500	30000	33000	33000	33000
Nominal Output Voltage (V)	380 / 400, 3L / N / PE				
Nominal AC Grid Frequency (Hz)	50 / 60				
Max. AC Current Output to Utility Grid (A)	25.0	33.3	41.7	49.8	50.0
Max. AC Current From Utility Grid (A)	34.0	45.0	50.0	50.0	50.0
Power Factor	~1 (Adjustable from 0.8 leading to 0.8 lagging)				
Max. Total Harmonic Distortion	<3%				
AC Output Data (Back-up)					
Back-up Nominal Apparent Power (VA)	15000	20000	25000	29900	30000
Max. Output Apparent Power (VA) ³	15000 (24000@3s)	20000 (32000@3s)	25000 (30000@60s)	30000 (36000@60s)	30000 (36000@60s)
Max. Output Current (A)	22.7 (36@3s)	30.3 (48.5@3s)	37.9 (45.5@60s)	45.5 (54.5@60s)	45.5 (54.5@60s)
Nominal Output Voltage (V)	380 / 400				
Nominal Output Frequency (Hz)	50 / 60				
Output THDv (@Linear Load)	<3%				
Efficiency					
Max. Efficiency	98.0%				
European Efficiency	97.5%				
Max. Battery to AC Efficiency	97.5%				
MPPT Efficiency	99.9%				
Protection					
PV String Current Monitoring	Integrated				
PV Insulation Resistance Detection	Integrated				
Residual Current Monitoring	Integrated				
PV Reverse Polarity Protection	Integrated				
Battery Reverse Polarity Protection	Integrated				
Anti-Islanding Protection	Integrated				
AC Overcurrent Protection	Integrated				
AC Short Circuit Protection	Integrated				
AC Overvoltage Protection	Integrated				
DC Switch ⁴	Integrated				
DC Surge Protection	Type II				
AC Surge Protection	Type III				
AFCI	Optional				
Rapid Shutdown	Optional				
Remote Shutdown	Integrated				
General Data					
Operating Temperature Range (°C)	-35 ~ +60				
Relative Humidity	0 ~ 95%				
Max. Operating Altitude (m)	4000				
Cooling Method	Smart Fan Cooling				
User Interface	LED, WLAN + APP				
Communication with BMS	RS485 / CAN				
Communication with Meter	RS485				
Communication with Portal	WiFi / 4G				
Weight (kg)	48	48	54	54	54
Dimension (W × H × D mm)	520 × 660 × 220				
Noise Emission (dB)	<45	<45	<45	<60	<60
Topology	Non-isolated				
Self-consumption at Night (W) ⁵	<15				
Ingress Protection Rating	IP66				
Mounting Method	Wall Mounted				

GoodWe-Single page-20221012-EN-V2.1. Information may be subject to change without notice during product improving.

1: Max. Input Power, not continuous for 1.5 normal power.
 *2: For 1000V system, Maximum operating voltage is 950V.
 *3: Can be reached only if PV and battery power is enough.
 *4: DC Switch: GHX6-55P (for Australia).

*5: No Back-up Output.
 *: For 400V grid, the Nominal Output Current is 21.7A for GW15K-ET, 29.0A for GW20K-ET, 36.2A for GW25K-ET, 43.3A for GW29.9K-ET, 43.5A for GW30K-ET.
 *: Please visit GoodWe website for the latest certificates.
 *: All pictures shown are for reference only. Actual appearance may vary.

www.goodwe.com

Příloha 3: Datasheet bateriového modulu H48050 a BMS SC1000-100S

Specification

Battery Management system



Models	SC0500-100S	SC1000-100S	SC1000-200E
Related Product	X1	H1/H2	M1
Controller Working Voltage	100~430Vdc	200~1000Vdc	220Vac
System Operation Voltage	100~430 Vdc	200~1000 Vdc	0~1000 Vdc
Charge Current (Max.)(A)	100	100	200
Discharge Voltage(Vdc)	100~430	200~1000	0~1000
Discharge Current (Max.) (A)	100	100	200
Self-Consumption Power (W)	8	8	8
Dimension(W*D*H, mm)	442*390*132	442*390*132	330*628*150.5
Communication	RS485/CAN	RS485/CAN	RS485/CAN
Protection Class	IP20	IP20	IP20
Weight (kg)	8.2	8.2	17.5
Operation Life	15 years	15 years	15 years
Operation Temperature	-20~65°C	-20~65°C	-20~65°C
Storage Temperature	-40~80°C	-40~80°C	-40~80°C
Product Certificate	TÜV,CE	TÜV,CE	TÜV,CE

Battery Module



Models	H48050	H48074	H32148
Capacity(kWh)	2.40	3.55	4.74
Nominal Voltage(Vdc)	48	48	32
Nominal Capacity(AH)	50	74	148
Voltage Range(Vdc)	45~54	45~54	30~36
Depth of Discharge	80%(10~90%)	80%(10~90%)	80%(10~90%)
Dimension(W*D*H,mm)	442*390*100	442*390*132	330*628*150.5
Communication	RS485/CAN	RS485/CAN	RS485/CAN
Protection Class	IP20	IP20	IP20
Weight(kg)	24	32	48
Operation Life	10+Years	10+Years	10+Years
Operation Cycle Life	4000	4000	4000
Operation Temperature	0~50°C	0~50°C	0~50°C
Storage Temperature	-20~60°C	-20~60°C	-20~60°C
Product Certificate	TÜV,CE	TÜV,CE	TÜV,CE