

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra mechaniky a strojnictví**



**Bakalářská práce**

**Akumulace energie z obnovitelných zdrojů s návrhem  
fotovoltaické elektrárny a bateriového úložiště pro  
rodinný dům**

**Martin Holub**

**© 2023 ČZU v Praze**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Holub

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Akumulace energie z obnovitelných zdrojů s návrhem fotovoltaické elektrárny a bateriového úložiště pro rodinný dům**

Název anglicky

**Accumulation of energy from renewable sources**

---

## Cíle práce

- Na základě literární rešerše popsat možnosti a způsoby výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů – solární, větrné a vodní energie.
- Zhodnotit možnosti akumulace z hlediska účinnosti a finančních nákladů.
- Navrhnout využití fotovoltaických článků s bateriovým uložištěm pro rodinný dům.

## 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

Fotovoltaické články, akumulace elektrické energie

---

## 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

2023/2024 LS – TF

## Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 18. 1. 2023

**doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2023

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2023

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Akumulace energie z obnovitelných zdrojů s návrhem fotovoltaické elektrárny a bateriového úložiště pro rodinný dům" 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**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D. za jeho ochotu, odborné rady a trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

# **Akumulace energie z obnovitelných zdrojů s návrhem fotovoltaické elektrárny a bateriového úložiště pro rodinný dům**

## **Abstrakt**

Práce se věnuje problematice obnovitelných zdrojů a akumulaci energie z nich vyrobenou. První část práce je zaměřená na popis obnovitelných zdrojů, se kterými se můžeme setkat na našem území ve větší míře. Druhá část práce je zaměřená na možnosti akumulace energie. V praktické části se věnuje popisu a návrh fotovoltaické elektrárny, která je spojená s bateriovým úložištěm, celý návrh je koncipovaný pro rodinný dům. Poslední část práce je zaměřená na ekonomické zhodnocení projektu.

**Klíčová slova:** akumulace, energie, obnovitelný zdroj, fotovoltaika, bateriové úložiště, baterie, fotovoltaické panely, návratnost investice

# **Accumulation of energy from renewable sources with the design of a photovoltaic power plant and battery storage for a family house**

## **Abstract**

The thesis is devoted to the issue of renewable sources and the accumulation of energy produced from them. The first part of the work is focused on the description of renewable resources, which we can encounter in our territory to a greater extent. The second part of the work is focused on the possibilities of energy accumulation. The practical part of the thesis deals with the description and design of photovoltaic power plant, which is connected to a battery storage, the whole design is designed for a family house. The last part of the thesis is focused on the economic evaluation of the project.

**Keywords:** accumulation, energy, renewable source, photovoltaics, battery storage, battery, photovoltaic panels, return of investment

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Cíl práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Metodika</b> .....	<b>2</b>
<b>4. Obnovitelné zdroje energie</b> .....	<b>3</b>
1.1 Solární energie .....	4
1.1.1 Využití solární energie.....	5
1.1.2 Fotovoltaika .....	7
1.1.3 Výhody a nevýhody solární elektrárny .....	9
1.2 Větrné elektrárny.....	9
1.2.1 Vznik větru .....	9
1.2.2 Měření směru a rychlosti větru .....	10
1.2.3 Využití energie větru .....	11
1.2.4 Fungování větrné elektrárny .....	12
1.3 Vodní energie .....	12
1.3.1 Výhody a nevýhody vodních elektráren .....	14
1.3.2 Vodní elektrárny v České republice.....	14
1.4 Biomasa.....	15
1.4.1 Biomasa pro energii .....	15
1.4.2 Materiály pro biopaliva.....	16
1.4.3 Tuhá biopaliva .....	17
<b>5. Akumulace energie z obnovitelných zdrojů</b> .....	<b>19</b>
1.5 Elektrochemické akumulátory .....	20
1.6 Superkapacitor.....	22
1.7 Průtokové baterie .....	23
1.8 Supravodivé indukční akumulátory .....	24
1.9 Mechanické ukládání energie.....	24
1.10 Systémy využívající ukládání tepelné energie .....	25
1.11 Porovnání možností akumulace .....	26
<b>6. Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům</b> .....	<b>29</b>
1.12 Zvolený rodinný dům.....	29
1.13 Spotřeba rodinného domu .....	30
1.14 Návrh fotovoltaického systému.....	35
1.15 Funkčnost fotovoltaické elektrárny .....	37
1.16 Ekonomické zhodnocení projektu.....	41
<b>7. Výsledky a diskuse</b> .....	<b>46</b>

<b>8. Závěr.....</b>	<b>47</b>
<b>9. Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>48</b>
<b>10. Přílohy.....</b>	<b>52</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Roční úhrn záření na území ČR (ISOFTENERGY) .....	4
Obrázek 2 Průchod jednotlivých záření přes atmosféru (Russell, 2010).....	5
Obrázek 3 Princip pasivního solárního systému (Ekolist, 2000).....	6
Obrázek 4 Fotovoltaický panel (Fotovoltaický polykrystalický solární panel 80W 12V/4,4A (MPPT18V). Rozměry 770×670×30mm).....	7
Obrázek 5 Fototermický kolektor (Cihlář, 2015) .....	7
Obrázek 6 Princip fungování fotovoltaického článku (Kusala, 2006).....	7
Obrázek 7 Průměrná čtvrtletní velkoobchodní prodejní cena křemíkových fotovoltaických panelů (Green, 2019) .....	8
Obrázek 8 Organický solární panel (Loukota, 2018) .....	8
Obrázek 9 Schéma hlavních směrů větru na Zemi (Mentlik).....	10
Obrázek 10 Miskový anemometr (Tabačková, 2009) .....	11
Obrázek 11 Schéma větrné elektrárny (ČEZ).....	12
Obrázek 12 Průřez vodní elektrárny (Vodní elektrárna 2001) .....	13
Obrázek 13 Využití turbín v závislosti na velikosti spádu a rychlosti průtoku vody (Vobořil, 2016) .....	14
Obrázek 16 Základní rozdělení technologií pro akumulaci elektrické energie (Hradební). 19	
Obrázek 17 Princip vybíjení a nabíjení olověného akumulátoru (Mareš 2011).....	20
Obrázek 18 Li-Ion baterie (Jmfshop).....	22
Obrázek 19 Superkapacitory (Šrubařová, 2018).....	23
Obrázek 20 Průtočné baterie (Wagner, 2018) .....	24
Obrázek 21 Princip fungování přečerpávací vodní elektrárny (Králová).....	24
Obrázek 22 Princip ukládání energie ve formě tepla do solí (Zeman, 2020).....	26
Obrázek 23 Průběh denního odběru elektřiny v domácnosti .....	30
Obrázek 24 Návrh fotovoltaického systému.....	37
Obrázek 25 Vývojový diagram PVGIS .....	38
Obrázek 26 Graf vyrobené energie v průběhu roku pro azimut 171° - vlastní úprava (European Commission, 2019) .....	39
Obrázek 27 Graf vyrobené energie v průběhu roku pro azimut 260° - vlastní úprava (European Commission, 2019) .....	39
Obrázek 28 Výsledek zadání ze vstupních hodnot (European Commission, 2019).....	40
Obrázek 29 Výsledek zadání ze vstupních hodnot (European Commission, 2019).....	41

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Procentuální podíl zdrojů v ČR – vlastní úprava.....	3
Tabulka 2 Seznam vodních elektráren v ČR s instalovaným výkonem nad 10 MW – vlastní úprava.....	15
Tabulka 3 Porovnání typů systému na akumulaci energie z pohledu účinnosti, ztrát, cyklů – vlastní úprava.....	26
Tabulka 4 Srovnání typů mechanického uložení energie podle hustoty akumulované energie, potřebného prostoru k instalaci, ceny na uložení 1 kWh – vlastní úprava.....	27
Tabulka 5 Srovnání typů tepelného uložení energie podle hustoty akumulované energie, potřebného prostoru k instalaci, ceny na uložení 1 kWh – vlastní úprava .....	27
Tabulka 6 Srovnání olověných a Lithium-ion baterií podle hustoty akumulované energie, potřebného prostoru k instalaci, ceny na uložení 1 kWh – vlastní úprava .....	28
Tabulka 7 Porovnání nákladů na akumulaci 1 kWh elektřiny u různých typů bateriových akumulátorů o kapacitě řádově 10 Ah .....	28
Tabulka 8 Hodnoty odběrů domácnosti v průběhu 24 h na jednotlivých fázích .....	30
Tabulka 9 Výpočet energie pro ohřev TUV – vlastní zpracování .....	31
Tabulka 10 Výpočet energie pro vytápění – vlastní zpracování.....	32
Tabulka 11 Využití a spotřeba nejfrekventovanějších spotřebičů – vlastní zpracování .....	33
Tabulka 12 Náklady na pořízení FVE s maximální dotací .....	42
Tabulka 13 Náklady na pořízení FVE s dotací .....	42
Tabulka 14 Výpočet úspory za 1 rok .....	43
Tabulka 15 Výpočet doby návratnosti – vlastní zpracování .....	43

## Seznam použitých zkratk

OZE – Obnovitelné zdroje energie

FVE – Fotovoltaická elektrárna

PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System



# 1. Úvod

Nárůst spotřebované energie za poslední desetiletí stále stoupá, vzhledem k událostem nedávné minulosti se ceny energií značně zvyšují, lidé hledají východiska, jakým způsobem by mohli spotřebu energií omezit nebo najít alternativu k dodané energii od poskytovatelů. Vzhledem k technickému vývoji za minulé roky se nám nabízí více variant, které můžeme využít. Hlavní alternativou jsou obnovitelné zdroje energie, do jisté míry stále převážně fungují jako doplněk k tepelným a jaderným elektrárnám, protože v současné době nejsme schopni plně nahradit jejich výrobní kapacity.

U některých lidí může využívání obnovitelných zdrojů představovat řešení, které je šetrnější k životnímu prostředí, na rozdíl od tepelných elektráren, jež jsou závislé na těžbě uhlí a s ní související znečištění ovzduší. Jaderné elektrárny ovzduší neznečišťují skoro vůbec, ale panují zde obavy z uskladňování použitého radioaktivního materiálu a jeho negativního dopadu na přírodu. Obnovitelné zdroje také nepředstavují plně čistou energii, která by neměla žádné následky, například vodní elektrárny jsou velkým zásahem do přírody a mohou mít negativní vliv na vodní živočichy, kácení lesů pro získávání biomasy nebo využívání zemědělských ploch na stavbu fotovoltaických elektráren. Za největší nevýhodu obnovitelných zdrojů se považuje kolísavost zdrojů, nelze přesně určit kolik energie a kdy bude vyrobeno.

Obnovitelné zdroje energie se stávají ve světě populárnější a státy podporují jejich výstavby, buď formou dotací pro občany například na fotovoltaické panely nebo státy hledají další území, kde by bylo možné vystavět další hydroelektrárny. V současné době už je výběr značně omezený, z tohoto důvodu se za největší budoucnost, v oblasti obnovitelných zdrojů energie, považuje převážně solární energie.

## **2. Cíl práce**

V první části práce popsat teoreticky možnosti a způsoby výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Zhodnotit možnosti akumulace z hlediska účinnosti a finančních nákladů. V praktické části navrhnou fotovoltaickou elektrárnu s bateriovým úložištěm pro rodinný dům. V závěru práce řešení zhodnotit z ekonomického pohledu návratnosti investice.

## **3. Metodika**

Na základě odborné literatury zpracovat literární rešerši. Navržení fotovoltaické elektrárny na základě reálných získaných dat a za pomoci moderní výpočetní aplikace. Zpracování technického návrhu a jeho ekonomické hodnocení.

## 4. Obnovitelné zdroje energie

Cílem obnovitelných zdrojů je nahrazení fosilních zdrojů, především se jedná o uhlí, ropu a zemní plyn. Fosilní paliva jsou neobnovitelné zdroje, respektive jejich vznik trvá stovky milionů let. Zároveň spalování nebo těžba fosilních paliv produkuje emise, které škodí ovzduší. OZE jsou získávány z přírodních zdrojů, které mají schopnost se doplňovat rychleji, než je jejich spotřeba. Takové zdroje jsou všude kolem nás, například sluneční svit, voda nebo vítr. (United Nations)

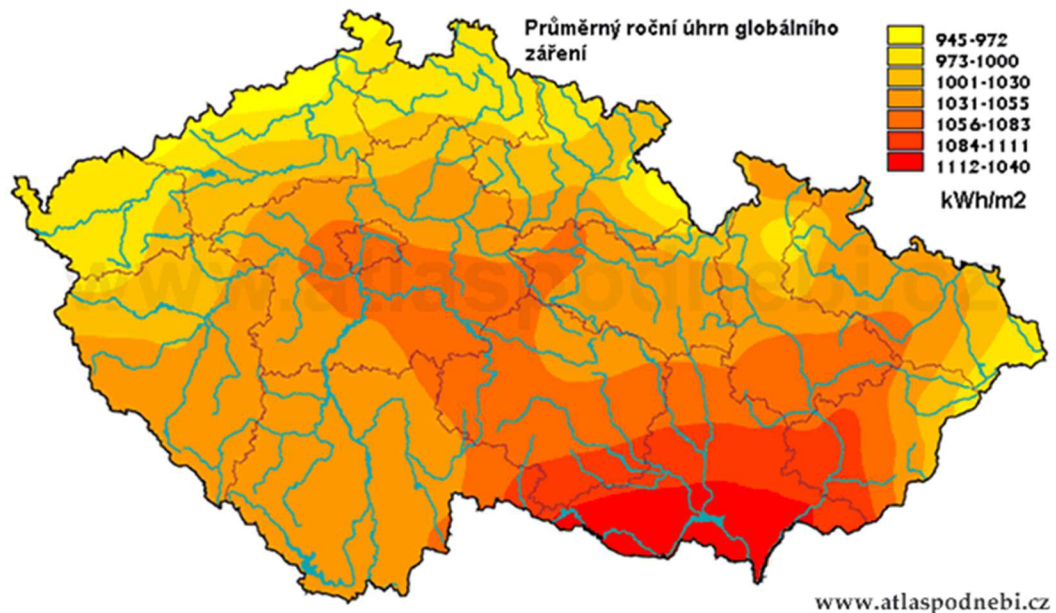
Obnovitelné zdroje energie představují pro lidstvo východisko v oblasti energetiky, kde jsou zaváděny regulace na těžbu a spalování fosilních paliv. Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů má tendenci stále stoupat, v roce 2021 bylo vyrobeno 14,6 % elektřiny pomocí obnovitelných zdrojů. Největší podíl v České republice tvoří vodní elektrárny s celkovým podílem na výrobě 4,7 % (viz Tabulka 1). (WONDERINTEREST, 2022)

Tabulka 1 Procentuální podíl zdrojů v ČR – vlastní úprava

Zdroje	% podíl v ČR
Jaderné elektrárny	36,6
Hnědé uhlí	35,1
Plynové zdroje	10,4
Černé uhlí	3,2
Biomasa	3,1
Vodní elektrárny	4,7
Fotovoltaické el.	2,9
Větrné elektrárny	0,9
Ostatní OZE	3
Ostatní	0,1
Celkem OZE	14,6

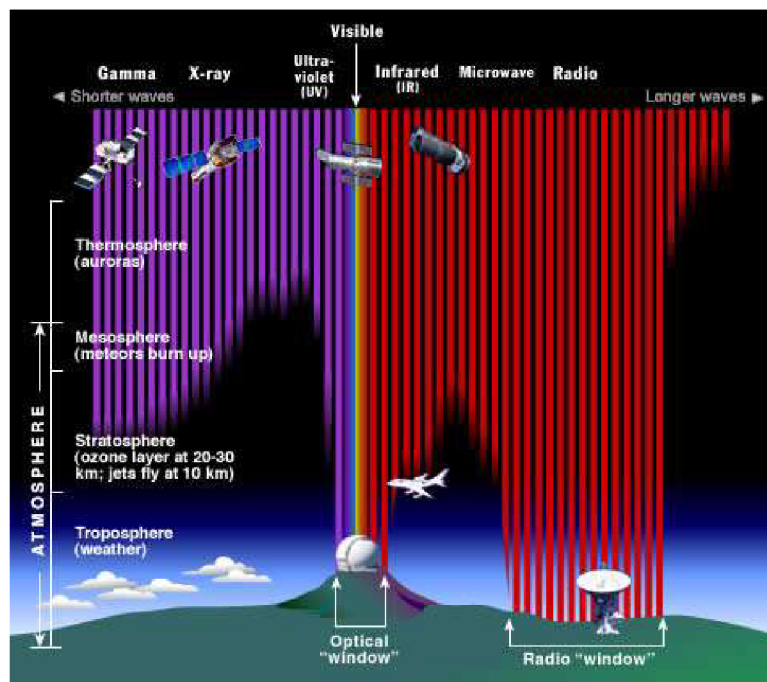
## 1.1 Solární energie

Slunce vyzařuje tok energie, který má hodnotu  $3,85 \times 10^{10}$  W, vyzářená energie se cestou k atmosféře nijak nezmenšuje, pouze se snižuje hustota toku, protože výkon se s rostoucí vzdáleností rozptyluje do větší plochy. Při průchodu slunečního záření atmosférou dochází k částečnému odrazu energie zpátky do vesmíru nebo k ohřívání atmosféry. Na zemský povrch dopadá 51% původní energie, její značnou část Země pohltí a jednotky procent se odrazí od zemského povrchu zpátky do atmosféry. Hodnota intenzity zářivé energie je  $1367 \text{ W/m}^2$ , nazývá se sluneční konstanta. Na našem území se průměrná intenzita pohybuje kolem  $620 \text{ W/m}^2$ , výjimečně může dosahovat hodnot nad  $1000 \text{ W/m}^2$ . (Kusala, 2006)



Obrázek 1 Roční úhrn záření na území ČR (ISOFTENERGY)

Sluneční záření vstoupí do zemské atmosféry, která je tvořena převážně z dusíku a kyslíku, ve výšce přibližně 1000 km od povrchu Země. Atmosférické plyny ve výškách nad 60 km pohlcují sluneční ultrafialové a rentgenové záření, které se následně ionizují. Ve výšce v rozmezí 20 až 30 km se nachází vrstva s vysokým obsahem ozónu, dochází zde k úplnému pohlcení ultrafialového záření. V oblasti troposféry dochází k pohlcování slunečního záření vodní parou, kapkami vody a  $\text{CO}_2$ .



Obrázek 2 Průchod jednotlivých záření přes atmosféru (Russell, 2010)

### 1.1.1 Využití solární energie

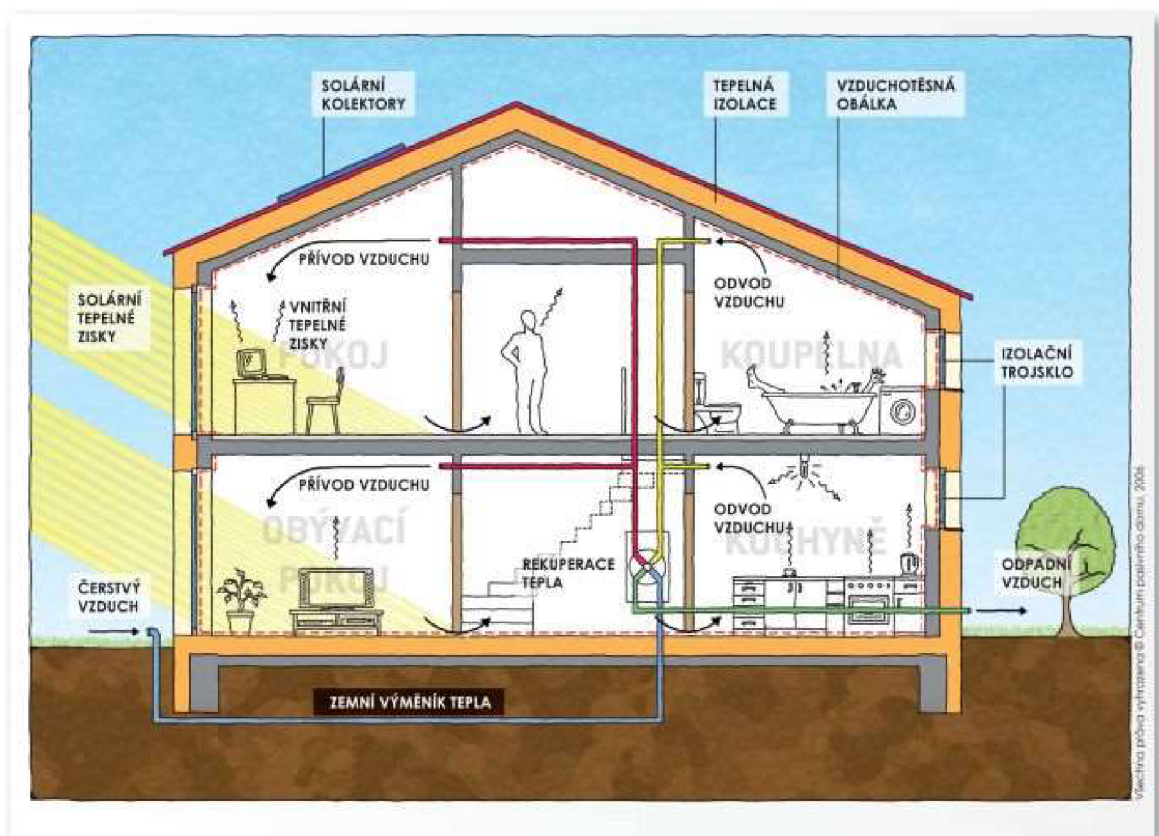
Sluneční energie dopadající na Zemi je z největší míry spotřebována flórou a částečně i faunou. Bez solární energie by život na naší planetě nebyl možný, z důvodu extrémně nízkých teplot sahajících až do  $-263^{\circ}\text{C}$ .

Využití sluneční energie začal zkoumat na konci 30. let 19. století francouzský fyzik Alexandre Edmond Becquerel, který objevil závislost změny velikosti proudu mezi kovovými elektrodami ponořenými v roztoku a intenzitou osvětlení. Před 140 lety, tedy v roce 1883, americký vynálezce Charles Fritts sestavil první solární panel, který následně instaloval na střechu budovy a vznikla tak první solární „elektrárna“.

Mezi významné osobnosti v oblasti solární energie se také řadí nejuznávanější vědec 20. století Albert Einstein, teoreticky popsal fyzikální princip fotoelektrického jevu. Od té doby solární energie prošla značným vývojem, člověk se naučil využívat energie převážně dvěma způsoby – pasivně a aktivně. (Sedlák, 2017)

Pasivní solární systémy jsou stavebním řešením budov, jež jsou schopné lépe přeměňovat záření na teplo a v principu fungují jako skleníky. Moderní materiály nám v zimě pomáhají zabraňovat úniku tepla z budovy, a naopak v létě přehřívání. Množství využité energie je závislé na:

- a) Poloze
- b) Druhu
- c) Architektonickém řešení
- d) Použitých materiálech



Obrázek 3 Princip pasivního solárního systému (Ekolist, 2000)

Aktivní solární systémy se skládají ze dvou systémů, prvním jsou fototermické kolektory a druhý systém jsou fotovoltaické elektrárny. Fototermické kolektory jsou konstrukce z tenkých trubiček, které jsou za pomoci čerpadla plněné studenou vodou, v trubičkách se následně voda ohřívá a může být využita například pro ohřev bazénu. Fotovoltaické systémy jsou tvořené polovodičovými součástkami, které pomocí fotovoltaického jevu přeměňují solární energii na energii elektrickou. (Usetreno)





Obrázek 5 Fototermický kolektor (Cihlář, 2015)



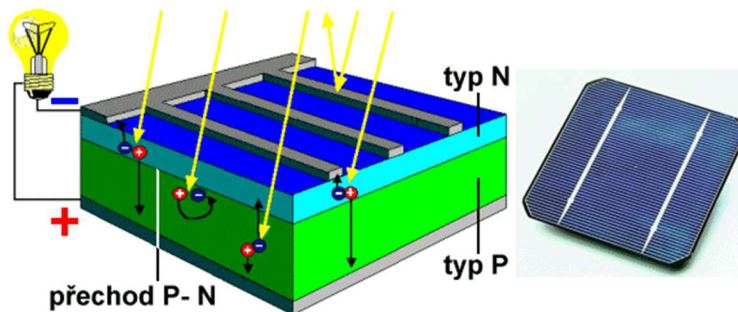
Obrázek 4 Fotovoltaický panel (Fotovoltaický polykrystalický solární panel 80W 12V/4,4A (MPPT18V). Rozměry 770×670×30mm)

### 1.1.2 Fotovoltaika

Hlavní princip využití fotovoltaických systémů je přeměna sluneční energie na energii elektrickou bez pohyblivých mechanických částí. Fotovoltaický systém se skládá z fotovoltaického článku, fotovoltaické články propojené do modulů, konstrukce sloužící k upevnění modulů, systému k uskladnění energie, měniče proudu (ze stejnosměrného se stává střídavý) a následné připojení do rozvodné sítě (nemusí být vždy).

K proměně světelné energie na elektrickou dochází za přítomnosti fotovoltaického článku, jedná se o polovodičový prvek s velkou plochou, jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P (na polovodiči typu P mají převahu díry).

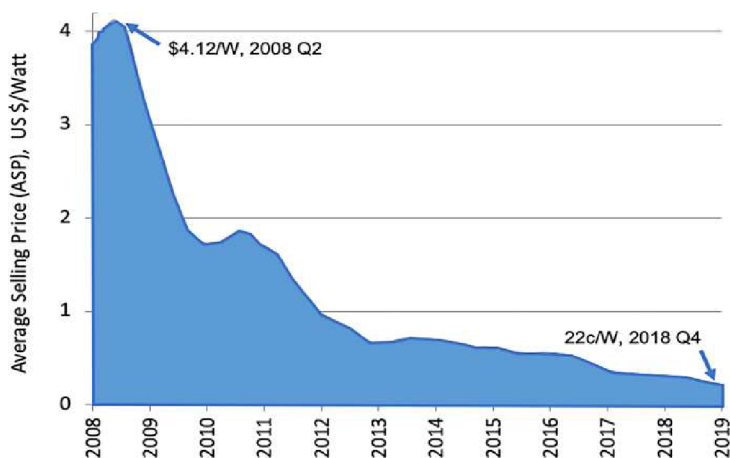
Na destičku typu P se přidává tenká vrstva polovodiče typu N (polovodič typu N má převahu elektronů), vzniká P-N přechod. Fotony dopadající na solární článek předávají svoji energii částicím materiálu. Dochází k uvolňování elektronu z krystalové mřížky, na přechodu P-N se udělá malé elektrické napětí kolem 0,5 V. Fotovoltaický článek se následně pomocí vodičů může připojit na spotřebič, počet kladných a záporných nábojů se začne vyrovnávat a začne procházet elektrický proud. K získávání většího napětí nebo proudu se jednotlivé fotovoltaické články zapojují sériově nebo paralelně a vznikají z nich fotovoltaické panely. (Kusala, 2006)



Obrázek 6 Princip fungování fotovoltaického článku (Kusala, 2006)

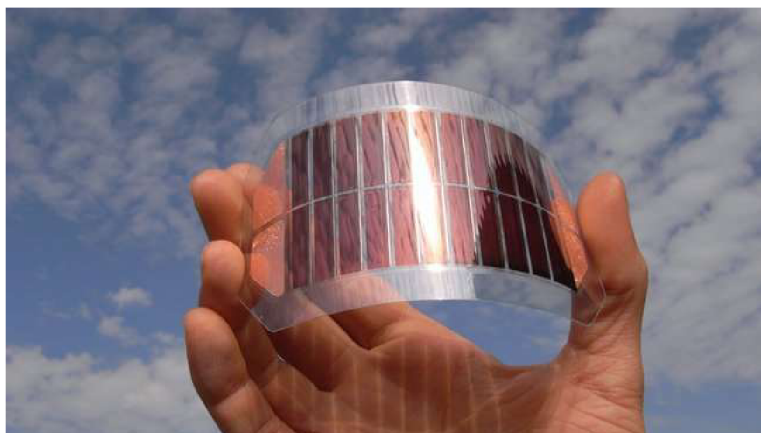
Solární panely se stávají dostupnějšími, dochází k dynamickému rozvoji a navyšování výrobních kapacit, to vede k snížení cen o desítky procent. S technologickým vývojem se zároveň zvyšuje jejich účinnost. Fotovoltaické elektrárny v zemích, které mají ideální

podmínky na jejich provoz začínají konkurovat uhelným nebo jaderným elektrárnám. Podle renomované poradenské společnosti EGÚ Brno je technický potenciál fotovoltaiky 39 GW, jedná se pouze o teoretickou hodnotu, která počítá s osazením všech vhodných budov fotovoltaickými panely. V oblasti reálného odhadu počítají s instalovaným výkonem všech solárních elektráren na 3,5 GW, daný předpoklad by měl být dosažen v roce 2030. (Solarniasociace, 2019)



Obrázek 7 Průměrná čtvrtletní velkoobchodní prodejní cena křemíkových fotovoltaických panelů (Green, 2019)

Další možností jsou organické solární panely, které by měly vyřešit nedostatky křemíkových solárních panelů, například jejich váhu, protože panely vyrobené z křemíku mají váhu 20 až 30 kg/m<sup>2</sup> a nemůžou být umísťovány na všechny střechy. Organické panely jsou založeny na bázi molekul obsahujících uhlík, jejich výrobní proces má potenciál být levnější, flexibilnější a šetrnější k životnímu prostředí. Hlavní výhodou je jejich váha, která by měla být 40krát menší než u křemíkových panelů. Organické panely dosahují pouze poloviční účinnosti a v současné době jsou nákladnější na výrobu, protože oblast průmyslu v tomto odvětví je stále malá. (King, 2020)



Obrázek 8 Organický solární panel (Loukota, 2018)



### 1.1.3 Výhody a nevýhody solární elektrárny

Solární elektrárny mají řadu výhod, za hlavní výhodu se dá považovat nevyčerpatelnost zdroje energie v řádu milionů let. Solární panely se stávají více finančně dostupnými, protože je možné získat dotace. Solární elektrárny nejsou drahé na provoz a mají relativně vysokou životnost, většina výrobců garantuje 25 let. Nabízí se možnost pořízení solárních panelů v místě, kde se nelze připojit k elektrické síti. Solární panely při svojí existenci neznečišťují ovzduší a jsou šetrné k životnímu prostředí.

Největší nevýhodou jsou pořizovací ceny, i přes dotace a trend klesajících cen fotovoltaických panelů, jsou solární elektrárny pro větší část obyvatelstva stále finančně nedostupné. Další významnou nevýhodou je nekonzistentní sluneční záření, proto se solární elektrárny často nevyužívají jako samostatný zdroj energie. (EPET, 2021) Vzhledem k ochraně životního prostředí vznikla směrnice EU 2012/19/EU, která nařizuje zpracování solárních panelů s 80 % opětovným využitím materiálů a 20 % lze odstranit uložením na skládku. (Purumkraft, 2018)

## 1.2 Větrné elektrárny

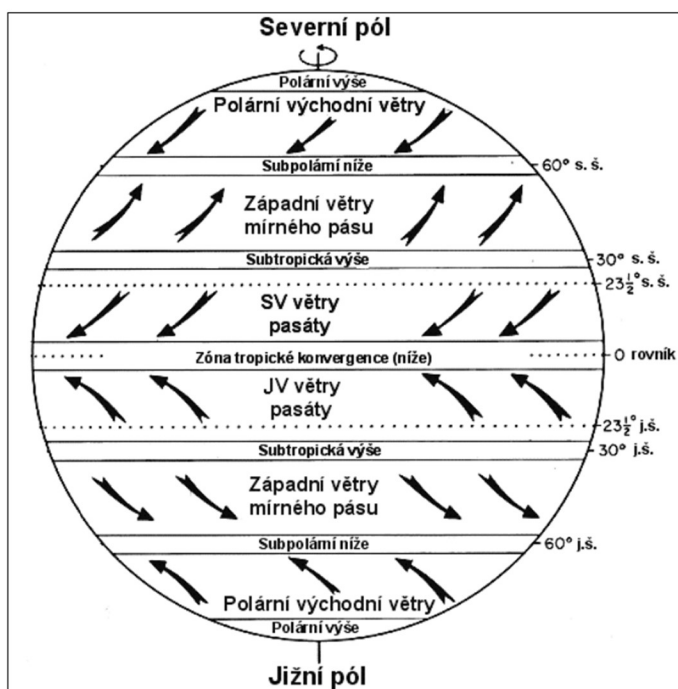
V zařízení větrných elektráren probíhá jev, kde se z energie proudícího vzduchu proměňuje kinetická energie na energii elektrickou. Tato proměna by nebyla možná bez přítomného větru, který vzniká jako vyrovnávací faktor vůči nerovnoměrnému zahřívání Země a jejích přilehlých vzduchových vrstev a následně v poli dochází k tlaku vzduchu. Existence větrné energie je podobně jako většina využitelné energie na Zemi způsobena energií slunečního záření. (Benda 2012)

### 1.2.1 Vznik větru

Základní příčinou pohybu vzduchu, a tedy vznik větru spočívá v rozdílech atmosférického tlaku, které jsou důsledkem rozdílných teplot a jim odpovídajícím rozdílným hustotám vzduchu. Vzduch proudí z míst vyššího tlaku do míst s nižším tlakem vzduchu a rychlost větru závisí od velikosti tohoto rozdílu. Obecně z pohledu na naši Zemi by měl teplý vzduch v oblasti rovníku stoupat vzhůru a na jeho místo ve směru poledníků proudit k povrchu studený vzduch od pólů. Následně by se studený vzduch z horních vrstev atmosféry vracel zpátky k pólům. V důsledku rotace naší planety kolem své osy působí na vzduchovou vrstvu další síly, a tak skutečnou rychlost, velikost a směr větru určují rozdíly tlaků a rotace zemského povrchu. Na zemském povrchu se liší obvodová rychlost, v oblasti rovníku je  $460 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a zmenšuje se na nulu směrem k pólům a způsobuje změny rychlosti větru v závislosti na zeměpisné šířce. (Rychetník 1997)

### 1.2.2 Měření směru a rychlosti větru

Meteorologické stanice společně s měřením barometrického tlaku, slunečního záření, vodních srážek a různých klimatických faktorů nám umožňují běžné měření rychlosti a směru větru. Pro tyto měření jsou přijaty jednotlivé standardy, například u měření standardní výšky pro měření směru a rychlosti větru je stanovena výška 10 metrů nad zemským povrchem. Pokud není tato hodnota dodržena, pak naměřená rychlost, která vzrůstá s rostoucí výškou, se přepočítává dohodnutým způsobem na tuto výšku. (Rychetník 1997)



Obrázek 9 Schéma hlavních směrů větru na Zemi (Mentlik)

Metoda k měření směru větru se obvykle provádí na větrné směrovce, jež tvoří součást rychloměru. Jedná se o systém nacházející se na otočném čepu, v důsledku tlaku větru se směrová křídla natáčí do takové pozice, kde na ně působí nejmenší odpor. Protizávaží, nacházející se na opačné straně směrovky, vlivem větru orientuje rameno proti směru proudění vzduchu. (Tabačková, 2009)

Měření rychlosti větru se nejčastěji provádí na miskovém anemometru. Základem tohoto systému je rotor, vykonávající otáčivý pohyb na svislém hřídeli, převážně tvořený třemi půlkulovými miskami. Hřídelem bývá spojen s permanentním magnetem, sloužící jako rotor dynama. Hodnota napětí vyráběného elektrického proudu, probíhající ve statorovém vinutí, se odvíjí od rychlosti větru a měření se provádí galvanometrem anebo u jiných anemometrů se počítají otáčky kříže s převodem na napětí. S určitým zpožděním jsou rotující části přístroje citlivé na náhlou změnu rychlosti. Miskový anemometr začíná ukazovat hodnoty rychlosti od 1 až 2 m.s<sup>-1</sup>. (Rychetník 1997)



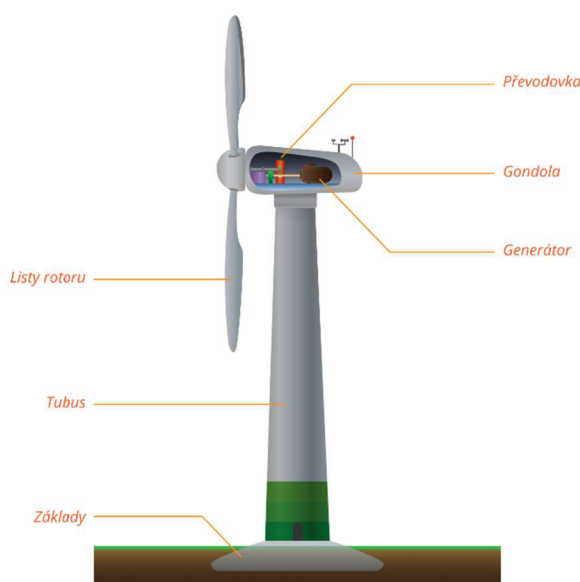
Obrázek 10 Miskový anemometr (Tabačková, 2009)

### 1.2.3 Využití energie větru

Vítr byl lidstvem využíván už v dávných dobách v podobě pohonu plachetnic, větrných mlýnů nebo vodních čerpadel, a tak se do historie zapsal jako jeden z nejdůležitějších energetických zdrojů. Myšlenka na výrobu elektřiny s využitím energie větru se odehrála již v 19. století, po dlouhou dobu zůstávala v podobě prototypů nebo amatérských výrobků. Hlavním motivem rozvoje využívání větrné energie k zpracování pro výrobu elektřiny byla energetická krize v 70. letech 20. století, v té době docházelo k využívání fosilní energie a lidé si začali uvědomovat její neudržitelnost. (Benda 2012)

### 1.2.4 Fungování větrné elektrárny

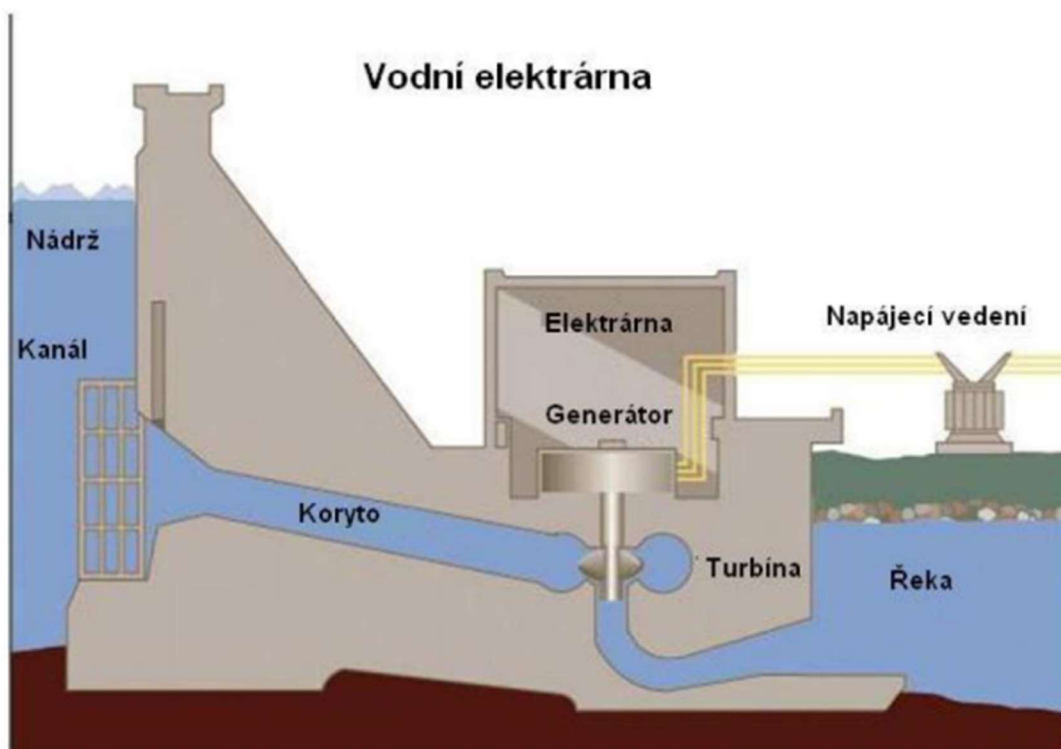
V důsledku působení kinetické energie vzdušného proudu na listy rotoru větrné elektrárny dochází k proměně kinetické energie na energii rotace, ta pak způsobuje otáčení rotoru elektrického generátoru. Množství vyráběné energie závisí na povětrnostních podmínkách daného místa, výkonové křivce, technických a dalších okolnostech (námraza, údržba, poruchy). Běžná větrná elektrárna začíná vyrábět energii při rychlostech větru přibližně 4 m/s, pak výkon prudce vzroste v oblasti hodnot 10 až 15 m/s, kde dosahuje plného výkonu. Zřídka se rychlost dostane až nad 25 m/s, v ten moment se elektrárna z bezpečnostních odstavuje. Skutečná účinnost větrných elektráren v dnešní době se pohybuje mezi 70-80 % Betzova limitu – množství energie, kterou lze podle aerodynamických zákonů využít, jedná se přibližně o 59,3 %. (Benda 2012) (ČEZ)



Obrázek 11 Schéma větrné elektrárny (ČEZ)

### 1.3 Vodní energie

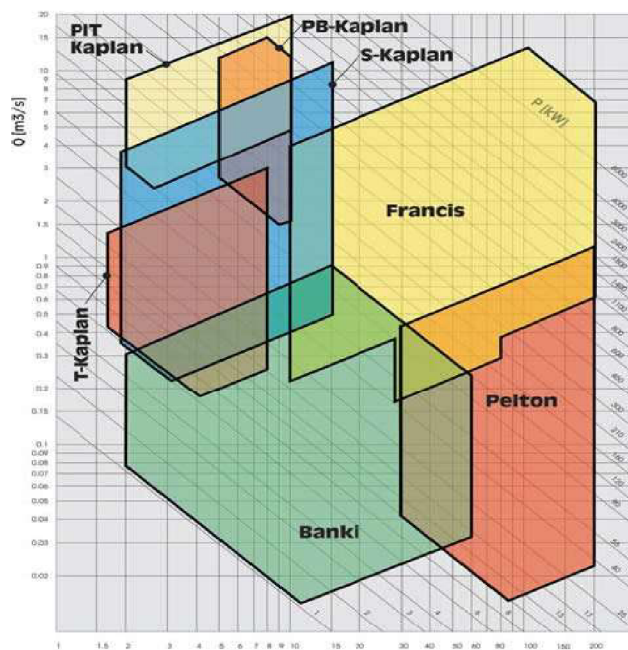
Vodní energie je jedna z nejstarších a zároveň jeden z největších zdrojů obnovitelné energie, lidé se ji naučili využívat už ve starověku. Výroba elektrické energie z vodní energie spočívá ve spojení vícero zařízení, která jsou konstruována tak, aby byla schopna přeměnit převážně potenciální a kinetickou energii vody na mechanickou energii, která se následně převede za pomoci alternátoru na energii elektrickou. Vodní turbína je spojená za pomoci hřídele s generátorem elektrické energie, při vstupu vody na lopatky turbíny dochází k roztáčení turbíny a zároveň k roztáčení hřídele, která roztáčí samotný elektrický generátor a dochází k výrobě elektrické energie. (Vobořil, 2016) (Multimediaexpo)



Obrázek 12 Průřez vodní elektrárny (Vodní elektrárna 2001)

Každá vodní elektrárna používá specifický typ turbíny, zvolená turbína závisí na využívaném spádu a průtoku. Vodní elektrárny můžeme rozdělit podle spádu do 3 různých kategorií, první kategorií jsou nízkotlaké, které mají spád do 20 m, převážně se nacházejí na jezích a hlavní využívané turbíny jsou Kaplanova nebo Bánkiho. Druhým typem jsou elektrárny středotlaké se spádem od 20 m do 100 m, v jejich případě se nejčastěji používá Francisova turbína, její hlavní výhodou je možnost ji používat i jako čerpadlovou turbínu. Turbína má implementovaný opačný chod, při kterém se turbína otáčí v opačném směru a funguje jako čerpadlo.

Třetí kategorií jsou vysokotlaké se spádem větším než 100 m, v České republice se nachází pouze jedna vodní elektrárna, která má spád větší než 100 m, jedná se o přečerpávací vodní elektrárnu Dlouhé stráně, která má spád přes 500 m, jsou zde instalovány dvě Francisovy turbíny z důvodu, že se jedná o přečerpávací elektrárnu, ale pro vysoké spády se převážně používá Peltonova turbína. (Vobořil, 2016)



Obrázek 13 Využití turbín v závislosti na velikosti spádu a rychlosti průtoku vody (Vobořil, 2016)

### 1.3.1 Výhody a nevýhody vodních elektráren

Hlavní výhodou je absolutní obnovitelnost zdroje, to znamená, že v teoretickém případě bychom nikdy neměli přijít o zdroj, proto se vodní elektrárny budují s vidinou vysoké životnosti. Vodní elektrárny neprodukují emise, které by škodily životnímu prostředí. Bývají z pravidla velmi spolehlivé, protože vodní tok po celý rok setrvává v přibližně stejném stavu a nemusíme se spoléhat na počasí. Také se nabízí možnost regulace průtoku, pomocí kterého lze nastavit množství vyrobené energie.

Většina nevýhod vodních elektráren souvisí s jejich výstavbou a následnými následky na okolí. Vodní elektrárny jsou limitovány místem výstavby. Prvotní náklady na výstavbu elektrárny jsou vysoké, u malých vodních elektráren se návratnost investice pohybuje kolem 15 let. Vodní elektrárny jsou částečnou hrozbou pro okolní města, v případě protržení hráze by nastaly povodně. Nevýhodou je také dopad na životní prostředí, převážně na vodní živočichy a rostliny. (Giaquinto, 2020)

### 1.3.2 Vodní elektrárny v České republice

V České republice se nachází přes 1600 hydroelektráren, převážná většina z nich jsou malé vodní elektrárny. Pouze 12 vodních elektráren má instalovaný výkon větší než 10 MW (viz Tabulka 2). Většina významných vodních elektráren se nachází na toku Vltavy, kde společně vytvářejí vltavskou kaskádu. Vůbec první vodní elektrárna na našem území byla postavena v Písku na řece Otavě, postavena byla v roce 1888 z původního vodního mlýna.

V současné době jsou v provozu pouze 3 přečerpávací elektrárny, za nejvýznamnější lze považovat přečerpávací vodní elektrárnu Dlouhé Stráně, která má instalovaný výkon 650 MW. První přečerpávací vodní elektrárna u nás Štěchovice II. byla postavena v roce 1947 o výkonu 45 MW a spádem až 220 m. (Vobořil, 2016) (Vobořil, 2017)

Tabulka 2 Seznam vodních elektráren v ČR s instalovaným výkonem nad 10 MW – vlastní úprava

Elektrárna	Typ	Instalovaný výkon (MW)	Uvedení do provozu	Řeka
<b>Dlouhé stráně</b>	Přečerpávací	650	1996	Divoká Desná
<b>Dalešice</b>	Přečerpávací	480	1978	Jihlava
<b>Orlík</b>	Akumulační	364	1961-62	Vltava
<b>Slapy</b>	Akumulační	144	1954-55	Vltava
<b>Lipno I</b>	Akumulační	120	1959	Vltava
<b>Štěchovice II</b>	Přečerpávací	45	1947	Vltava
<b>Kamýk</b>	Akumulační	40	1961	Vltava
<b>Štěchovice I</b>	Akumulační	22,5	1943-44	Vltava
<b>Střekov</b>	Průtočná	19,5	1936	Labe
<b>Vranov nad Dyjí</b>	Akumulační	18,9	1934	Dyje
<b>Vrané</b>	Akumulační	13,8	1936	Vltava
<b>Nechranice</b>	Akumulační	10	1968	Ohře

## 1.4 Biomasa

Biomasa je obecně vnímána jako veškerá organická hmota podílející se na koloběhu živin v biosféře na Zemi. Významným zdrojem energie je nejčastěji rostlinná biomasa a kvůli nárůstu vyčerpání fosilních paliv je potřeba se vrátit k obnovitelným formám energetické biomasy.

Jedním z důvodů využívání energie z biomasy je snížení produkce oxidu uhličitého do ovzduší, tudíž emise CO<sub>2</sub> z energetického využití by se měly rovnat jeho pohlcenímu množství při růstu organické hmoty. V České republice je využívána přímo v podobě pevného biopaliva nebo k výrobě plyných a kapalných biopaliv. (Benda 2012)

### 1.4.1 Biomasa pro energii

Z energetického hlediska rozlišujeme dřevní biomasu (dendromasu), biomasu živočišného původu (zoomasu) a biomasu zemědělských plodin a rostlin (fytomasu).



Energetické využití biomasy v ČR se zvláště dělí na:

- a) lesní
- b) zemědělskou
- c) zbytkovou

Lesní biomasa se z velké části skládá z palivového dřeva, zbylého materiálu z dřevozpracujícího průmyslu, probírek, prořezávek a zbytků z lesního těžení. Lesní ekosystémy mohou být značně nedostupné, a tak energetické využití je často náročné na náklady těžby a transportu. V současnosti čelí lesní ekosystémy vysokému nárůstu odlesňování, proto je důležité dodržovat princip šetrné těžby, abychom se vyhnuli destrukci nižších lesních pater. Při těžbě se musí přihlížet na ponechání části odumřelých stromů a větví v lese, zejména pro zachování jejich vyživovací a ochranné funkce.

Zemědělskou biomasu zejména tvoří cílené pěstování v agroekosystémech, jejíž produktem jsou energeticky pěstované byliny, trvalé travní porosty, biomasa ze zahrad a ovocných sadů, potraviny pro nepotravinářské účely, stejně jako rychlerostoucí dřeviny, chmelnice a vinnice.

Zbytková odpadní biomasa vzniká jako vedlejší produkt při výrobě a zpracování rostlinné a živočišné biomasy. Řadí se mezi ně hlavně zbytky z dřevozpracujícího, papírenského, potravinářského a farmaceutického průmyslu, rostlinná a živočišná výroba, zpracování plodin a biomasa v komunálních a jiných odpadech (lihovarů, cukrovarů, moštáren). Za poslední roky ve větší míře přispívají i čistírenské kaly, a to zejména odpadní složka z čistíček odpadních vod. Zemědělská výroba se řadí mezi největší producenty odpadní biomasy kvůli živočišným exkrementům, které mimo jiné tvoří nebezpečný toxický odpad, proto se žádá, aby farmy a zemědělské stanice byly vybaveny zařízením na jeho zpracování. (Benda 2012)

#### **1.4.2 Materiály pro biopaliva**

Česká republika vyrábí tuhá paliva nejčastěji z lesní biomasy, slámy obilnin a olejnin, stébelnin (energetických bylin), energetických a odpadních obilnin a ze zbytkové rostlinné biomasy.

Dřevní biomasa je v současnosti hlavním materiálem pro tuhá biopaliva, nejčastěji dodávaná ve formě palivového dříví nebo dřevních štěpků. Přípravuje se při těžbě dřeva, nebo v dřevařských závodech. Drcením dřevní biomasy vzniká tvarovaná (lisovaná) biopaliva, tj. brikety (využití u běžných kotlů a kamen) a pelety (využití u automatických kotlů a kamen). Dřevní brikety a pelety jsou vhodnou variantou pro vytápění rodinných domů a menších objektů. Velké domovní kotelny, kotelny centralizovaného zásobování tepla (CZT) a tzv. spoluspalovací uhelné elektrárny spalují hlavně dřevní štěpku, která se vyrábí ze zbytkového dřeva, lesní biomasy a rychlerostoucích dřevin.

Pro energetické využití slámy obilnin a olejnin se musí sklízet bezprostředně až po sklizni zrna, při obsahu vlhkosti 15-20 % závěsnými lisy na balíky z rádků položených na



strništi. Na druhé straně se u vyschlých stébelnin doporučuje nechat je vymoknout na rádcích a sklízet až po opětovném proschnutí. Tím pádem se většina (až 90 %) chlóru a živin ponechají na poli a při spálení vznikne méně popelu.

Zpravidla se posklizňová úprava omezuje jen na vhodné skladování balíků a jejich zajištění provětrávání přirozeným průvanem. Celé obří balíky se přiváží do velkých kotelen (výkon přes 600 kW), kde se rozdužují nebo spalují v celku. Malé balíky s hmotností 5-10 kg naopak slouží pro menší domovní kotelny nebo se využívají při výrobě rostlinných briket a pelet. (Benda 2012)

Dalším způsobem výroby biopaliva jsou odpadní obiloviny (nejsou určeny pro potravinářské účely) nebo obiloviny, přímo pěstované pro energetické využití. U pěstování energetických rostlin by se neměly rok před sklizní používat dusíkatá hnojiva, protože se snižuje kvalita paliva. Kvalita může být ovlivněna například vysokým obsahem lepku, který snižuje hořlavost.

Spalování obilovin v porovnání s dřevními pelety je na provoz kotle náročnější, ale umožňuje zpracovat surovinu, která by za jiných okolností mohla skončit jako odpad. Nejvíce vhodné je to pro firmy nebo osoby pohybující se v zemědělství. Kvůli nutné manipulaci, zabezpečení před hlodavci či vlhkostí, není běžné, aby obilovinami topili lidé, kteří by je museli externě nakupovat. Nejedná se tedy o masovou záležitost, ale může být v určitých lokalitách a za určitých podmínek zajímavá alternativa k topení plynem nebo jinými drahými palivy. (Benda 2012)

### **1.4.3 Tuhá biopaliva**

Tuhá biopaliva mohou mít podobu různých forem a vlastností. Výhřevnost je zřetelně ovlivněna poměrem obsahu sušiny a vlhkosti (tab. 1), proto se čerstvá biomasa suší a lisuje do pevných tvarů. Touto úpravou její výhřevnost dosahuje až 18 MJ/kg, čímž přesahuje výhřevnost hnědého uhlí (14-16 MJ/kg).

Zpravidla platí, že čím je topeniště a kotel menší, tím by mělo být palivo kompaktnější a sušší. Pro velké kotle jsou vhodnější balíky slámy, piliny a dřevní štěpka, pro malá topeniště zase brikety, pelety a dřevní polínka. (Benda 2012)

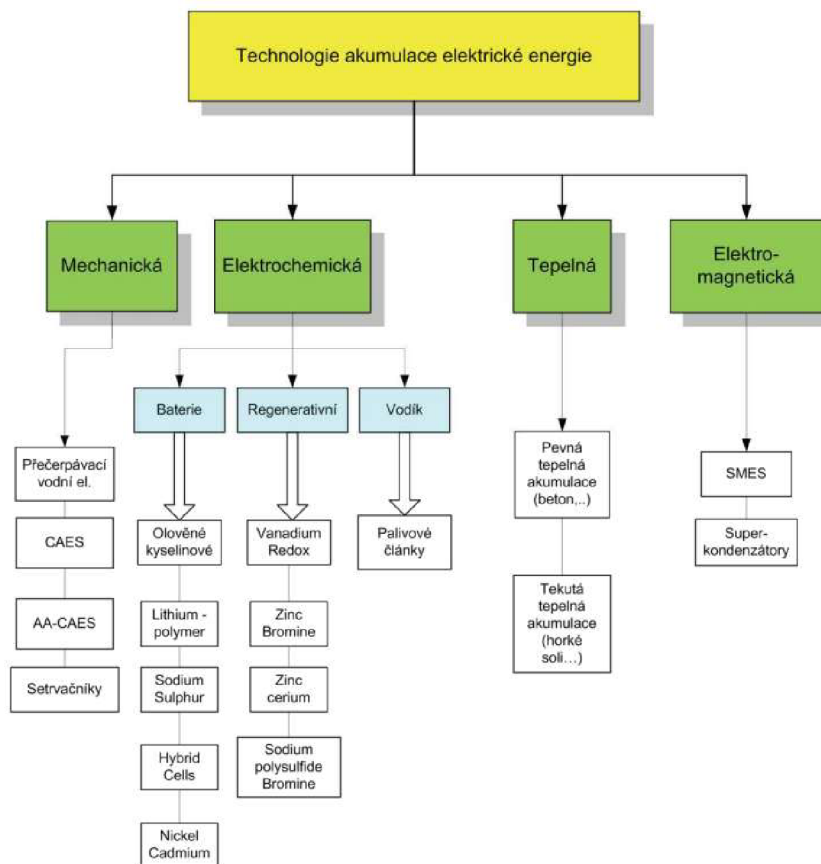
Z hlediska tvaru a kompaktnosti lze tuhá biopaliva rozdělit do několika kategorií:

- 1) dřevní palivo nelisované – patří tady například polena, dřevní štěpka, hobliny, piliny, dřevní odpad. Výhřevnost dosahuje od 3 do 18 MJ/kg, obsah vody u briket a pelet je přibližně 6-15 % a u surového dřeva a kůry do 55 %.
- 2) balíky suchých stébelnin – pro místní využití jsou vhodné standardní vysokotlaké balíky s hmotností kusu do 20 kg nebo standardní nízkotlaké balíky s hmotností kusu od 3 do 10 kg. Do jisté míry jsou vhodné i válcové balíky s hmotností kusu 200-300 kg, protože jsou manipulačně lepší a výrobně levnější, ale s větším nárokem na skladový prostor.

- 3) dřevní pelety – tvoří piliny a suchá, čistá dřevní drť se 6-12 % vody, s menším podílem dřevního prachu se tlakem mechanicky zpracovává do tvaru válečků s průměrem 6 až 20 mm, délky 10-50 mm. Jsou určené pro automatické kotle rodinných domů a lokální automatická kamna pro byty.
- 4) dřevní brikety – tvoří piliny, suchá dřevní drť a jemné hobliny se 6-12 % vody, mechanicky se zpracovávají velkým tlakem do tvaru hranolů, válečků nebo šestistěnů o průměru 40-100 mm a délkou do 300 mm. Používají se do lokálních kamen, kotlů a krbů s ručním přikládáním nebo do malých topenišť.
- 5) brikety ze stébelnin – tvoří nakrátko řezané nebo drcené stébelniny (olejnin, sláma obilnin, tráva a energetické byliny) a odpadní biomasa s 8-14 % obsahem vody, pod vysokým tlakem se mechanicky zpracovávají do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů o průměru 40-100 mm, délkou do 300 mm. Určeny jsou pro kotle, krby a topeniště o tepelném výkonu přes 25 kW s ručním přikládáním.
- 6) pelety ze stébelnin – tvoří suché, drcené stébelniny a odpady z čističek obilovin s obsahem vody 8-15 %, mechanickým zpracováním pod tlakem do tvaru válečků o průměru 6-20 mm nebo hranolů do 40 mm a délky 10 až 50 mm. Jsou vhodným palivem pro automatické kotle s tepelným výkonem přes 25 kW.
- 7) dřevní, slaměné a papírové pakety – tvoří směsná, nahrubo drcená biomasa, slisovaná středním tlakem (do 250 barů) do tvaru válců s průměrem do 150 mm a délce 300-500 mm. Jako energeticky podprůměrné palivo je vhodné pro kotle s výkonem přes 500 kW.

## 5. Akumulace energie z obnovitelných zdrojů

Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů v dnešní době už není zásadní problém, největší překážkou v oblasti obnovitelných zdrojů představují možnosti akumulace vyrobené energie. Možností se nabízí celá řada, ale převážně se jedná o přeměnu energie na jinou formu energie (chemickou, mechanickou, elektrochemickou, tepelnou), některé z nich už jsou velmi dobře ověřené a hojně využívané, ale většina z nich nemusí být zcela vhodná nebo se jedná o variantu s vysokými náklady, které nepředstavují ideální variantu pro komerční účely. Možnosti akumulace můžeme rozlišovat na základě energetické kapacity, účinnosti, potřebné doby k akumulaci. (Wagner, 2018)



Obrázek 14 Základní rozdělení technologií pro akumulaci elektrické energie (Hradební)

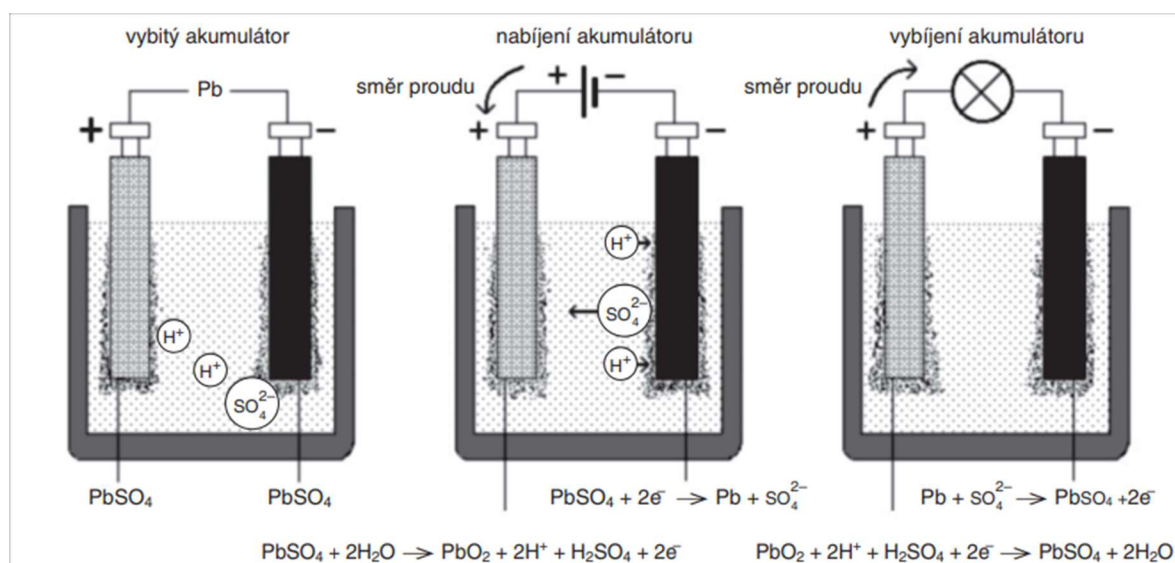
Akumulační soustavy lze rozdělit do několika skupin, jedná se o základní parametry, které požadujeme při realizaci daného projektu. Mezi základní parametry se řadí například požadovaný výkon (okamžitý a záložní), akumulační kapacity, rychlost a reakční rychlost při nabíjení a vybíjení. Jednou z dalších variant dělení je také dělení na primární a sekundární. Primární jsou připravené dodávat energii ihned, v případě sekundárních musí dojít k polarizaci elektrod (musí se nabít).

Nejvíce využívaným systémem jsou baterie a přečerpávací vodní elektrárny, které jsou součástí mechanického uložení energie. Jejich hlavní výhodou je vysoká účinnost, která může dosahovat až 80 %, přečerpávací vodní elektrárny nabývají výkonu až v řádu stovek MW. Mohou reagovat v okamžiku desítek sekund a nabízejí možnost regulace. (Hradební)

## 1.5 Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátory, známé také jako akumulátorové baterie, akumulují energii ve formě chemické energie. Jedná se o možnost akumulace s dobře zvládnutou technologií výroby, jejich výhodou je možnost mnohonásobného opětovného nabíjení. Elektrochemické akumulátory jsou relativně cenově dostupné a zároveň umožňují operativní použití. Nevýhody představuje poměr akumulované energie k hmotnosti akumulátoru, značná nevýhoda nastává v moment hlubokého vybití, při kterém dochází k trvalému poškození na elektrodách, následkem je snižování kapacity.

Akumulátory se nabíjí za předpokladu připojení na elektrický zdroj, reakční produkty se převedou na původní reaktanty. V průběhu nabíjení se dodávaná elektrická energie přeměňuje na energii chemickou, během vybití nastává opačný proces a vyrobený elektrický proud se dodává do elektrického obvodu, ve kterém je akumulátor zapojený. Kladná elektroda při nabíjení představuje katodu a v průběhu vybíjení je anodou. Elektrické napětí elektrochemického článku se pohybuje v rozmezí 1,1 až 2 V. Pro technické účely se používá sériové sestavení akumulátorů do baterií. Akumulátory umožňují stovky až tisíce opětovných nabíjecích cyklů.



Obrázek 15 Princip vybíjení a nabíjení olověného akumulátoru (Mareš 2011)

Nejvyužívanější akumulátory jsou olovněné, další akumulátory jsou např. Ni-MH, Li-Ion, Ni-Cd, Ni-Zn. Princip všech je analogický. Nabíječky akumulátorů jsou běžně k sehnání, používají se od malých jednoduchých s výkony několika wattů až po velké, které jsou osazené senzory na teplotu a řídí se za pomoci počítače. Velké nabíječky mají výkon několika kilowattů a mají možnost monitorování stavu nabití. (Mareš 2011)

Lithium-iontové baterie se vyrábějí v odlišných formátech i chemickém složení, jednotlivé baterie s daným chemickým složením se také vyrábějí v provedeních s vysokou energetickou nebo výkonovou hustotou.

Článek lithium-iontové baterie se skládá z obalu, katody, anody, elektrolytu a separátoru. Anoda dodává do vnějšího obvodu elektrony, které přijímá katoda, funkci separátoru je oddělení dvou elektrod, aby nedošlo ke zkratu, ale umožňuje průchod lithiových iontů z elektrody na elektrodu.

Anoda se skládá z více vrstev, první vrstvu tvoří materiál proudového sběrače, nejčastěji se využívá měděná folie, která má na sobě nanosenou aktivní hmotu. Aktivní hmota má schopnost pojímat lithiové ionty při nabíjení a při vybíjení je vydávat. Aktivní hmota je převážně vyráběna ze 3 materiálů, jedním z nich je uhlík, který se využíval pro vývojové a experimentální účely, následně se dostal i do komerčních článků, ale jeho využití nebylo zcela vhodné, protože při zátěži zaznamenal relativně velký pokles napětí. Hlavní náhradou uhlíku se stal grafit, který tvoří stále většinu podílu aktivních anodových hmot. Grafit přinesl snížení vnitřního odporu a zároveň zvýšení měrné kapacity, v dnešní době se do grafitu přidává křemík. Samotný křemík je považován za nástupce grafitu, má 5krát vyšší měrnou kapacitu, ale nastává u něj zásadní problém, jelikož má silnou objemovou roztažnost v nabitém stavu oproti vybitému, rozdíl dosahuje až devítinásobku, proto je nutné při konstrukci baterií brát ohled na daný problém a baterie musí odolat periodickému namáhání.

Katoda je stejně jako anoda vrstvená struktura. Prvním materiálem je proudový sběrač, nejčastěji se využívá hliníková folie. Druhá vrstva je tvořena aktivní hmotou, při nabíjení jsou z ní vytrhávány ionty, které putují k anodě, v průběhu vybíjení aktivní hmota pojímá ionty. Aktivní vrstva katody se vyrábí ve více variantách, ale všechny mají stanovené nominální napětí na 3,6 – 3,8 V a nabíjecí napětí maximálně na 4,2 V (výjimkou jsou Li-ion HV a podobně), minimální vybíjecí napětí je 2,5 V na článek. Nejstarší variantou je LCO (Lithium kobalt), dosahuje dobrých měrných kapacit, jmenovité napětí 3,6 V, nevýhodou je relativně krátká životnost (300–500 cyklů), nízký měrný výkon a může dojít k snížení bezpečnosti, když katoda dosáhne 150 °C. V dnešní době už není skoro využívána, cena kobaltu je vysoká a byly nalezeny dokonalejší materiály. Další variantou je LMO (Lithium mangan), který dokázal zlepšit slabé stránky kobaltu, počet možných cyklů se zvýšil až na 700 a teplota tavení katody nastává kolem teploty 250 °C. Kombinace lithium mangan našla uplatnění převážně v medicíně z důvodu vyššího měrného výkonu. Jedna z nejuspěšnějších variant je NMC (Lithium nikl mangan kobalt), která nabízí dobrou stabilitu, energetickou hustotu i měrný výkon, životnost NMC je až 2000 cyklů. Varianta NMC umožňuje různý poměr jednotlivých složek, je možné baterii ladit tak, aby dosahovala požadovaných vlastností. Využívá se převážně v elektrokolech, akumulátorovém nářadí nebo v trakčních systémech. Baterie LFP (Lithium železo fosfát) jejichž užívání zvolila například automobilka Tesla nebo se využívají v UPS (Uninterruptible Power Supply), mají vysoký měrný výkon, ale nižší nominální napětí 3,2 V. Baterie disponuje excelentní stabilitou systému, rozklad nastává až při teplotě 270 °C. Životnost je 2000-5000 cyklů, baterie má nulový obsah kobaltu a vzácných prvků, proto je finančně dostupná a její prodeje se stále zvyšují. Přímým konkurentem baterie LFP je baterie NCA (Lithium nikl kobalt aluminium), která nabízí vyšší měrnou energetickou hustotu, ale nižší bezpečnost. Automobilka Tesla využívá i tento typ baterií, ale musí se pečlivě monitorovat napětí a teplota jednotlivých článků.

Různé Li-ion baterie mají své výhody a nevýhody, pro každé technické řešení se může vybrat varianta, která splňuje dané požadované vlastnosti. V oblasti Li-ion baterií se stále objevují nové zlepšení a možnosti každý den. Jejich využití stoupá a ceny dlouhodobě klesají. V budoucnosti se nabízí varianta bez elektrolytu nebo baterie na bázi lithium-síra a lithium-vzduch. Za pomoci takových systémů budou baterie dosahovat vyšších měrných kapacit. (Špina, 2021)

Největší výhodou akumulátorů je cena zařízení a vysoká bezpečnost provozu, bezpečnost se odvíjí od schopnosti baterie tolerovat přebíjení, olovněné baterie jsou buď otevřené atmosféře nebo jsou řízeny ventilem, tím se skoro eliminuje šance na explozi baterie.

V dnešní době se považuje za významnou výhodu možnost recyklace baterie, při které dochází k oddělení plastů, olova a materiálu elektrod, materiál jsou výrobci schopni znovu využít pro další výrobu baterií. Olovněné baterie mají jednodušší výrobní proces než baterie lithiové, ale lithiové baterie disponují větší možností nabíjecích cyklů.

Baterie je nutné udržovat neustále v nabitém stavu, aby nedocházelo k sulfataci elektrod, což je považováno za významnou nevýhodu. Konkrétně olovněné baterie jsou náchylné na teplotu, která ovlivňuje chemické reakce uvnitř baterie a při vyšších teplotách se snižuje životnost baterie. Olovněné baterie mají ve srovnání s Li-Ion nebo Ni-Cd dlouhou dobu nabíjení, v případě rychlého nabíjení se snižuje životnost a v praxi proto není využívána. (Špina, 2021)



Obrázek 16 Li-Ion baterie (Jmfshop)

## 1.6 Superkapacitor

Pojem superkapacitor je známý také pod jinými názvy, nazývá se také jako ultrakapacitor či dvouvrstvý kondenzátor. Samotný název napovídá, že se odlišuje od klasických kondenzátorů svoji velmi vysokou elektrickou kapacitou. Kondenzátory využívají k uložení energie statický náboj, který vzniká při vzniku rozdílu elektrických potenciálů mezi kladnou a zápornou elektrodou. Fyzikální jednotka využívaná pro vyjádření elektrické kapacity je farad, jeden farad uloží jeden coulomb elektrického náboje při použití napětí ve výši jednoho voltu. Kondenzátory se dělí na tři základní skupiny, první skupinou jsou elektrostatické kondenzátory se suchým separátorem, jedná se o typ kondenzátorů s velmi nízkou kapacitou (pF až  $\mu$ F) a jeho uplatnění je například při ladění rádiových frekvencí. (Šrubařová, 2018)



Druhým typem jsou elektrolytické kondenzátory s kapacitou  $\mu\text{F}$ , obsahují vlhký separátor, využívají se hlavně pro filtraci a vyrovnání napětí či přenos signálu. Třetím typem jsou superkapacity, které mají kapacitu více než 1000 F, primárně se využívají k ukládání energie tam, kde dochází k pravidelnému vybíjení a zpětnému nabíjení pod vysokým proudem.

Obrovská hodnota kapacity se získává pomocí speciální pórovité elektrody, která zajišťuje obrovskou plochu. Elektrody jsou potaženy hliníkovou fólií a mají na sobě nanesený práškový aktivní uhlík. Jeden gram práškové uhlíky zaujímá plochu až  $2000 \text{ m}^2$ , plochu je možné zvětšovat při využití nanomateriálů. Samotné elektrody jsou odděleny vzájemně odděleny dielektrikem o tloušťce nanometrů, z důvodu malé tloušťky je také malé průrazné napětí, proto se napětí superkapacitorů pohybuje v rozmezí 2,3 až 2,7 V.

Superkapacity nabízejí vysoké množství uložené energie, disponují rychlým nabíjením a jsou schopny provozu v rozmezí teplot  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Životnost superkapacitorů je delší ve srovnání s baterkami, 10-15 let provozu s následnou možností recyklace a znovuvyužití materiálů.

Hlavní nevýhodou ve srovnání s bateriemi je vyšší samovybíjení, samotný superkapacitor má nízké napětí, proto je nutné využít sériové zapojení k dosažení vyššího napětí. Ultrakapacity nelze využívat ve střídavých a vysokofrekvenčních obvodech. (Michalec, 2018)



Obrázek 17 Superkapacity (Šrubařová, 2018)

## 1.7 Průtokové baterie

Představují typ baterií, u kterých vybití a nabití umožňují reakce dvou chemických látek rozpuštěných v kapalině systému ve dvou nádržích, které jsou rozdělené nejčastěji membránou. Jedna nádrž obsahuje pozitivní elektrolyt a druhá negativní. Technologicky průtokové baterie můžeme přirovnat k palivovým článkům nebo standartním bateriím. Jednou z hlavních výhod je snadná výměna elektrolytové kapaliny a její opětovné využívání. Kritickou slabinou je membrána, jež nemá vysokou životnost. Průtokové baterie se dělí například na redoxní, hybridní a bez membrány.

Hybridní systémy nefungují na systému využití dvou kapalin, ale jednu ze složek mají v pevné podobě, využívá se kombinace zinku s brómem nebo chlórem. V současné době se tento systém zaměřuje na masivní ukládání energie, jeho výhodou je jednoduchost rozšíření

kapacit. Největší uložště se nachází v Číně u města Ta-lien, cílem projektu je skladování energie z větrných elektráren. Pro soukromé účely se zatím nejedná o příliš zajímavou variantu, proto se s ní skoro vůbec nesečkáme. (Wagner, 2018)

## 1.8 Supravodivé indukční akumulátory

K možnosti akumulace energie se přidává supravodivost, jedná se o stav, při kterém praktický zcela zmizí elektrický odpor v látkách. V současné době se nabízejí dvě varianty supravodivosti, jedné se dosahuje při teplotách tekutého helia a druhá se nazývá vysokoteplotní supravodivost, která je stále spíše ve stádiu výzkumu. Supravodivé indukční materiály fungují na principu ponořené cívky v kapalném heliu, zařízení tohoto typu mají označení SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage).

Hlavní výhodou této možnosti je velmi rychlá reakce a vysoká účinnost. Účinnost je i přes 95 % a doba nabíjení nebo vybíjení je extrémně krátká. V současné době existuje několik malých jednotek s kapacitou v řádu MWh. (Wagner, 2018)



Obrázek 18 Průtočné baterie (Wagner, 2018)

## 1.9 Mechanické ukládání energie

Mechanické systémy ukládání energie převážně tvoří přečerpávací vodní elektrárny. V režimu výroby elektrické energie vodní turbína přeměňuje potenciální energii vody z horní nádrže na energii kinetickou, která roztáčí vodní turbínu, roztočená turbína pohání elektrický generátor. V časovém období, kdy je elektrina levnější, se pomocí čerpadel



Obrázek 19 Princip fungování přečerpávací vodní elektrárny (Králová)



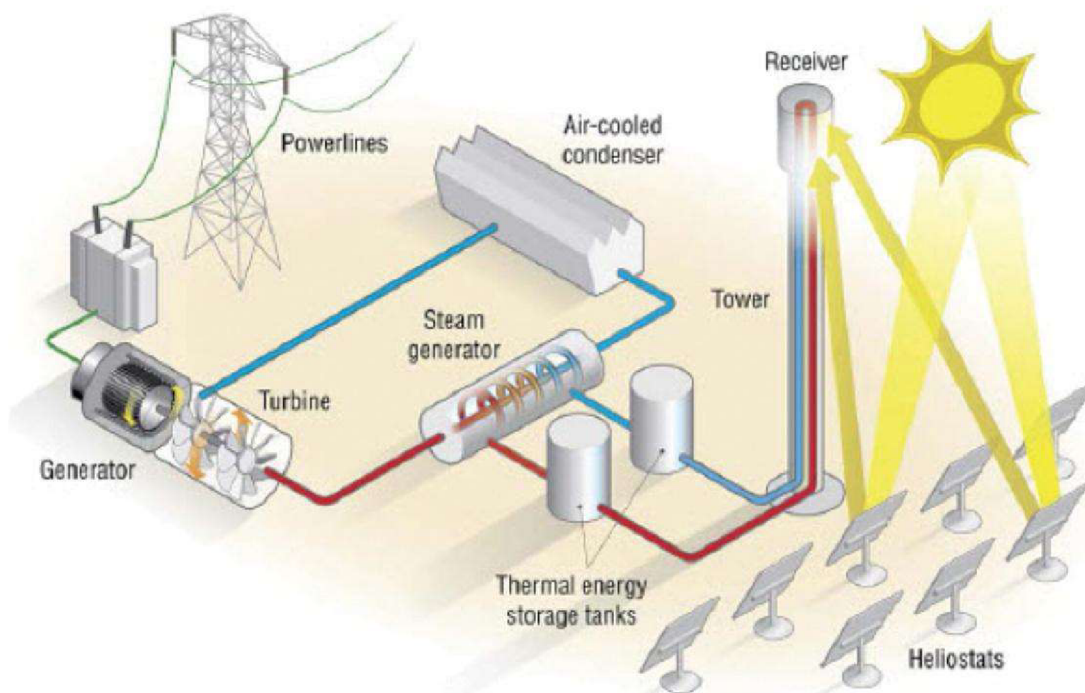
přečerpává voda zpátky z dolní nádrže do horní, tento princip se nazývá jako „nabíjení“, protože se zvyšuje potenciální energie vody. Výhodou je počet cyklů, které by měla elektrárna zvládnout, jedná se o desítky tisíc opakování. Přečerpávací vodní elektrárny jsou schopné poměrně rychle přejít z režimu čerpání do režimu výroby elektřiny (řádově se jedná o minuty). Efektivita akumulace přečerpávacích vodních elektráren je asi 75 %. (Svetenergie)

Princip přečerpávacích vodních elektráren se využívá i jiných případech mechanického ukládání energie. Místo vody jsou využívány betonové bloky o váze 35 tun, které jsou při přebytku energie zvedány jeřábem do výšky a je z nich tvořena válcovitá věž. Při dodávání elektřiny do sítě se postupně betonové bloky spouštějí zpět na zem a jejich kinetická energie se mění na elektrickou energii. Další možností je využití masivního setrvačnicku spojeného s motorgenerátorem. V čase přebytku se setrvačnick roztáčí, v případě potřeby získávání elektrické energie se akumulovaná kinetická energie mění v generátoru na elektrickou. Setrvačnickové systémy mají účinnost až 90 % a vydrží až 180 000 cyklů, dodávat elektřinu vydrží pouze několik sekund. Poslední využívanou metodou je skladování stlačeným vzduchem (CAES – Compressed Air Energy Storage). V průběhu ukládání je vzduch stlačen na přibližně 6 MPa a uložen do tlakových nádrží. Při nedostatku elektrické energie je stlačený vzduch smícháván se zemním plynem a je spalován v paroplynové turbíně. Výhodou je možnost dlouhého skladování a vybijecí doba v řádu několika hodin. (Svetenergie)

## **1.10 Systémy využívající ukládání tepelné energie**

Elektřinu je možné ukládat i ve formě tepelné energie do hmoty určitých materiálů. Možnost akumulace tepla daného materiálu určuje jeho tepelná kapacita. Ukládání často probíhá do roztavených solí a eutektických slitin (slitin s nižší teplotou tání, než jsou teploty tání samostatných kovů).

Často jsou využívány fázové přechody speciálních materiálů, při kterém je zachována konstantní teplota a látka mění pouze své skupenství. Při procesu ochlazování je akumulované latentní teplo využito k výrobě páry, která roztáčí turbínu s generátorem. V současné době se nejedná o významný způsob uskladňování energie. (Svetenergie)



Obrázek 20 Princip ukládání energie ve formě tepla do soli (Zeman, 2020)

## 1.11 Porovnání možností akumulace

Srovnávat možnosti akumulace lze z více vlastností, například z účinnosti, ztrát v průběhu času nebo podle životnosti systému. Data v tabulkách 3, 4, 5 a 6 jsou převzata z portálu energy.at-site.be. (Cappelle, 2022)

Tabulka 3 Porovnání typů systému na akumulaci energie z pohledu účinnosti, ztrát, cyklů – vlastní úprava

Typ systému	Účinnost	Ztráta/den	Ztráta/měsíc	Životnost: cykly (c) nebo rok (r)
<b>Olovněné baterie</b>	87-92 %	0,067-0,1 %	2-3 %	3000 (c)
<b>Lithium-ion baterie</b>	90-98 %	0,067 %	2 %	10000 (c)
<b>Přečerpávací el.</b>	70-80 %	0 %	0 %	>20000 (c)
<b>Stlačený vzduch</b>	60-70 %	0,5-1 %	14-26 %	30-40 (r)
<b>Setrvačníky</b>	80-95 %	71 %	100 %	100000 (c) 15 (r)
<b>Tepelná akumulace v materiálu</b>	98 %	2-4 %	45-71 %	10000 (c) 20 (r)
<b>Roztavené soli</b>	90-99 %	1-5 %	26-79 %	10000 (c) 20 (r)

Z tabulky lze vyčíst, že největší účinnosti dosahují systémy ukládání energie v podobě tepla. Nejlepším systémem z pohledu kombinace účinnosti a ztrát jsou akumulátorové baterie.

Jedním z nejdůležitějších parametrů při rozhodování zvolení systému je také pořizovací cena, náročnost na prostor a hustota akumulované energie.

Tabulka 4 Srovnání typů mechanického uložení energie podle hustoty akumulované energie, potřebného prostoru k instalaci, ceny na uložení 1 kWh – vlastní úprava

Mechanické uložení energie	Hustota akumulované energie (Wh/kg)	Prostor potřebný k uložení 1 TWh (v milionech m <sup>3</sup> )	Náklady na uložení \$/kWh
<b>Přečerpávací elektrárna 100m spád</b>	0,273	3 670	106-200
<b>Přečerpávací elektrárna 200m spád</b>	0,545	1 840	106-200
<b>Přečerpávací elektrárna 500m spád</b>	1,36	734	106-200
<b>Stlačený vzduch (30 MPa)</b>	139	18	94-229
<b>Setrvačnickové systémy</b>	100	0,67	4 320-11 520

Tabulka 5 Srovnání typů tepelného uložení energie podle hustoty akumulované energie, potřebného prostoru k instalaci, ceny na uložení 1 kWh – vlastní úprava

Tepelná akumulace	Hustota akumulované energie (Wh/kg)	Prostor potřebný k uložení 1 TWh (v milionech m <sup>3</sup> )	Náklady na uložení \$/kWh
<b>Akumulace v materiálu</b>	50-100	14,3-6,67	16-43
<b>Roztavené soli</b>	40-110	13,3-5	27-75

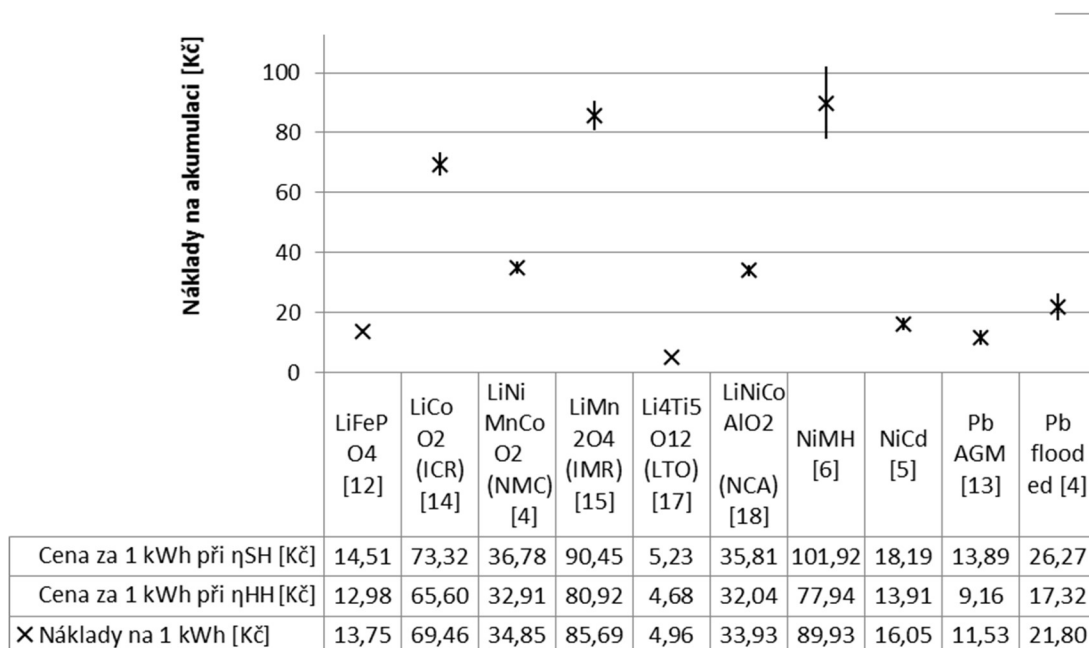
Tabulka 6 Srovnání olověných a Lithium-ion baterií podle hustoty akumulované energie, potřebného prostoru k instalaci, ceny na uložení 1 kWh – vlastní úprava

Bateriové uložení	Hustota akumulované energie (Wh/kg)	Prostor potřebný k uložení 1 TWh (v milionech m <sup>3</sup> )	Náklady na uložení \$/kWh
Olověné baterie	47,2	6,45	319-540
Lithium-ion baterie	100-243	4-1,36	308-419

U vodních přečerpávacích elektráren je zásadní jejich spád, při vyšším spádu je možnost uložení více energie a zároveň se snižuje potřebný prostor. Setrvačnickové systémy a stlačený vzduch umožňují akumulovat energii o vysoké hustotě na relativně malém prostoru. Ukládání energie v podobě tepla je finančně nejméně náročné, dosahuje se i relativně vysoké hustoty akumulované energie, z tohoto pohledu představuje ideální možnost na akumulování energie, ale dochází zde k vysokým ztrátám. Nejčastěji využívané akumulátorové baterie nejsou náročné na prostor a dosahují jednu z nejvyšších hustot akumulované energie, aktuálně se v komerčním sektoru o nejrozšířenější variantu.

Veliké množství možností akumulátorových baterií představuje i různé náklady na akumulaci (viz Tabulka 7), jedním z nejvyužívanějších akumulátorů je typ LiFePO<sub>4</sub>, z tabulky vychází jako třetí s nejmenšími náklady. Baterie typu LiFePO<sub>4</sub> jsou vhodnou variantou při spojení s fotovoltaikou, disponují vysokou kapacitou, životností a přijatelnou cenou. Jednou z dalších variant k fotovoltaice jsou olověné baterie. (Vaculík, 2020)

Tabulka 7 Porovnání nákladů na akumulaci 1 kWh elektřiny u různých typů bateriových akumulátorů o kapacitě řádově 10 Ah



## **6. Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům**

Hlavní úlohou fotovoltaické elektrárny je výroba elektřiny. Smyslem její instalace je snížení dodávek elektřiny ze spotřebitelské sítě, určitá úspora peněz na jejím provozu a v neposlední řadě i jistá nezávislost na dodavatelích, například v případě výpadku elektřiny.

U některých lidí se může jednat o jednu z možných variant, která je šetrnější k životnímu prostředí. Fotovoltaické panely neprodukují oxid uhličitý a nezatěžují planetu při jejich využívání. Jedné tuně vyrobených skleníkových plynů každý rok je možné zamezit instalací 3 fotovoltaických panelů na střechu.

Fotovoltaická elektrárna představuje velikou investici, její návratnost může trvat několik desítek let, proto je zapotřebí si rozmyslet, jestli takový projekt chceme realizovat nebo nikoliv. Dobu návratnosti snižují dotace, které je možné získat od státu.

Můžeme konstatovat, že fotovoltaický systém v dnešní době není určen pro lidi, kteří by chtěli ušetřit peníze na provozu domácnosti. V lepším případě se nám systém na konci živostnosti zaplatí, a tím pádem jsme elektřinu čerpali po celou dobu zadarmo.

### **1.12 Zvolený rodinný dům**

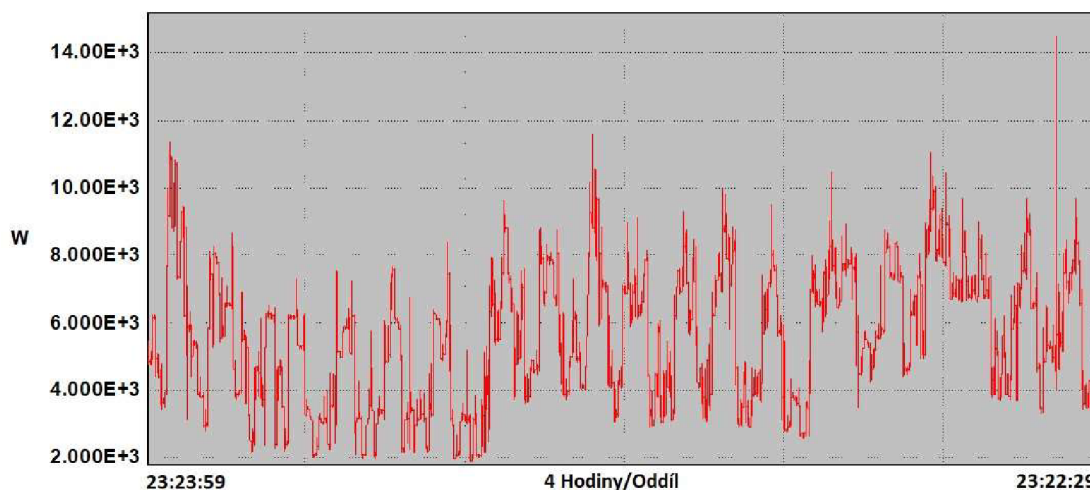
Zvolil jsem rodinný dům v severní části Prahy, dům byl dostavěný v roce 2012. Jedná se o dvoupatrový dům se sedlovým tvarem střechy. Sklon střechy je  $30^\circ$  a umožňuje instalaci panelů. V okolí rodinného domu se nenachází žádný objekt, který by výrazně zabraňoval dopadu slunečního záření na střechu. Nejvhodnější části pro instalaci fotovoltaických panelů by byly části střechy směřující na jih a na západ. První část směřuje pod azimutem  $171^\circ$  (jižní) a druhá část pod azimutem  $260^\circ$  (západní), celková plocha těchto dvou částí je přibližně  $80 \text{ m}^2$ , obě části jsou přibližně stejně veliké. Do objektu rodinného domu jsou přivedeny dva zdroje možné energie (elektřina a plyn), jediným využívaným zdrojem je elektřina. K ohřevu vody a vytápění rodinného domu se využívá tepelné čerpadlo. V domácnosti žije tříčlenná rodina, ale dochází k častým návštěvám rodinných členů nebo kamarádů.

### 1.13 Spotřeba rodinného domu

K návrhu fotovoltaického systému je zapotřebí znát spotřebu daného objektu. Pomocí měřicího přístroje Chauvin Arnoux byl naměřen průměrný odběr v průběhu jednoho dne. Hodnota průměrného trvalého odběru je 5,494 kW (viz Tabulka 8), tím pádem průměrná denní spotřeba činí 131,856 kWh (průměrný odběr×24 hodin). Z průměrné denní spotřeby lze vypočítat přibližnou roční spotřebu, která se rovná 48 127,44 kWh (průměrná denní spotřeba×365). Vypočtená průměrná hodnota roční spotřeby byla srovnána s vyúčtováním za spotřebu elektřiny v období od 7.5.2020 do 5.5.2021, množství spotřebované energie v daném období bylo 55 446 kWh. Rozdíl mezi vypočítanou a reálnou hodnotou mohl nastat z vícero důvodů, za hlavní považují období měření, které probíhalo začátkem listopadu, kdy ještě není tak vysoká potřeba vytápění. Spotřeba mohla klesnout z důvodu změny počtu osob žijících v domácnosti (klesl jejich počet).

Tabulka 8 Hodnoty odběrů domácnosti v průběhu 24 h na jednotlivých fázích

Jméno	Datum	Čas	Průměr	Min	Max	Jednotka
W Line1	1.11.2022	23:23:59	2,588E+3	966,5	6,426E+3	W
W Line2	1.11.2022	23:23:59	1,15WE+3	283,8	4,343E+3	W
W Line3	1.11.2022	23:23:59	1,754E+3	379,7	4,720E+3	W
W suma fází	1.11.2022	23:23:59	5,494E+3	1,854E+3	14,46E+E	W



Obrázek 21 Průběh denního odběru elektřiny v domácnosti



Průměrná denní spotřeba byla ověřena výpočtem na základě předpokládaného odběru instalovaných spotřebičů (viz Tabulka 11). Výpočet vycházel ze štitkových hodnot a průměrné doby provozu.

Výpočet potřebného tepla pro přípravu TUV (teplé užitkové vody). Potřebné teplo získáme podle následujících vzorců:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \times \frac{\rho \times c \times V_{2p} \times (t_2 - t_1)}{3600}$$

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \times d + 0,8 \times Q_{TUV,d} \times \frac{(t_2 - t_{svl})}{(t_2 - t_{svz})} \times (N - d)$$

Kde:

$Q_{TUV,r}$  – denní spotřeba tepla pro ohřev TUV

$z$  – koeficient energetických ztrát systému (u nových rozvodů úvaha max. 0,5)

$\rho$  – měrná hmotnost vody

$c$  – měrná tepelná kapacita vody

$V_{2p}$  – potřeba teplé vody na 1 den

$t_2$  – teplota ohřáté vody

$t_1$  – teplota studené vody

$Q_{TUV,r}$  – roční potřeba tepla pro ohřev TUV

$d$  – délka topného období

$t_{svl}$  – teplota studené vody v létě

$t_{svz}$  – teplota studené vody v zimě

$N$  – počet pracovních dní soustavy v roce

Z portálu TZB-info (Reinberk) jsou převzaty vzorce a ostatní vztažné hodnoty. Doba topného období pro Prahu (podle stránky) je 225 dní. Objem zásobníku TUV je 400 litrů.

Tabulka 9 Výpočet energie pro ohřev TUV – vlastní zpracování

$t_1 = 10 \text{ °C}$	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	$V_{2p} = 0,4 \text{ m}^3$	$t_{svl} = 15 \text{ °C}$	$d = 225 \text{ dní}$
$t_2 = 45 \text{ °C}$	$c = 4186 \text{ J/kgK}$	$z = 0,5$	$t_{svz} = 5 \text{ °C}$	$N = 365 \text{ dní}$
$Q_{TUV,d} = 24,42 \text{ kWh}$				
$Q_{TUV,r} = 7,55 \text{ MWh}$				

Potřebná energie pro ohřev TUV za celý rok je 7,55 MWh (viz Tabulka 9). Tato energie je v letním období převážně dodávána tepelným čerpadlem, v přechodném a zimním období je dodávána kombinací tepelného čerpadla a přímotopné patry. Tepelné čerpadlo snižuje energetickou náročnost, průměrný roční topný faktor je uvažován ve výši 2,5. S přihlédnutím na občasné využití přímotopné patry je uvažována denní spotřeba 13 kWh.

Výpočet potřebné energie na vytápění rodinného domu. Potřebnou energii získáme podle vzorců:

$$D = d \times (t_{is} - t_{es})$$

$$\varepsilon = e_i \times e_t \times e_d$$

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \times \eta_r} \times \frac{24 \times Q_C \times D}{(t_{is} - t_e)} \times 3,6 \times 10^{-3}$$

Kde:

D – vytápěcí denostupně

d – délka topného období

t<sub>is</sub> – průměrná vnitřní výpočtová teplota

t<sub>es</sub> – průměrná teplota během topného období

ε – opravný součinitel

ε<sub>i</sub> – nesoučasnost tepelné ztráty větráním (v rozmezí 0,6-0,9)

ε<sub>t</sub> – snížení teploty během noci (volí se 0,8-1)

ε<sub>d</sub> – zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu (v tomto případě 1)

Q<sub>VYT,r</sub> – roční potřeba tepla pro vytápění

η<sub>o</sub> – možnosti regulace soustavy (volí se 0,9-1)

η<sub>r</sub> – účinnost rozvodů vytápění (volí se 0,95-0,98)

Q<sub>C</sub> – tepelná ztráta objektu

Tabulka 10 Výpočet energie pro vytápění – vlastní zpracování

d = 225 dní	ε <sub>i</sub> = 0,75	η <sub>o</sub> = 0,95
t <sub>is</sub> = 21 °C	ε <sub>t</sub> = 0,9	η <sub>r</sub> = 0,95
t <sub>es</sub> = -12 °C	ε <sub>d</sub> = 1	Q <sub>C</sub> = 12,5 kW
D = 3758 K × dny	ε = 0,675	Q <sub>VYT,r</sub> = 25,5 MWh

Z portálu TZB-info (Reinberk) jsou převzaty vzorce a ostatní vztažné hodnoty.



Potřebná energie pro vytápění rodinné domu je 25,5 MWh (viz Tabulka 10). Tepelné čerpadlo opět snižuje energetickou náročnost (stejně jak v případě TUV). Výsledná potřebná energie pro denní vytápění je 27,9 kWh.

Tabulka 11 Využití a spotřeba nejfrekventovanějších spotřebičů – vlastní zpracování

Spotřebič	Spotřeba za 1 h provozu [kWh]	Čas využívání [h]	Délka provozu denně	Celková spotřeba za den [kWh]
Mrazák 1	0,04	0-24	24 hodin	0,96
Lednice 1	0,04	0-24	24 hodin	0,96
Lednice 2	0,04	0-24	24 hodin	0,96
Lednice 3	0,04	0-24	24 hodin	0,96
Vinotéka 1	0,03	0-24	24 hodin	0,72
Vinotéka 2	0,03	0-24	24 hodin	0,72
Televize	0,27	17-24	7 hodin	1,89
El. trouba	1,15	-	15 min (průměr z týdnu)	0,29
Indukční varná deska	1,2	11-12, 18-19	2 hodiny	2,4
Digestoř	0,4	11-12, 18-19	2 hodiny	0,8
Kávovar	1,6	-	30 min	0,8
Výrobník ledu	0,12	-	12 hodin	1,44
Myčka program 60°	0,37	0-2, 14-16	4 hodiny	0,74
PC 1	0,45	15-24	9 hodin	4,05
PC 2	0,2	18-23	5 hodiny	1
Technické zázemí baráku (kamerový systém, datové uložení, wifi)	0,38	0-24	24 hodin	9,12

Spotřebič	Spotřeba za 1 h provozu [kWh]	Čas využívání [h]	Délka provozu denně	Celková spotřeba za den [kWh]
Světla akvárium	0,42	8-23	15 hodin	6,3
Technologické zázemí k akváriu	0,525	0-24	24 hodin	12,6
Čerpadlo	0,55	0-24	24 hodin	13,2
Osvětlení uvnitř rodinného domu	0,92	18-24	6 hodin	5,52
Venkovní osvětlení	0,25	20-5:30	9 h a 30 min	2,38
Centrální Vysavač	1,6	14 – 15:30	30 min	0,8
Žehlička	0,63	8-10	2 hodiny	1,26
Pračka	0,41	8-10, 16-18	4 hodiny	1,64
Sušička	0,9	10-12, 18-20	4 hodiny	3,6
TUV	-	-	-	13
Vytápění	-	-	-	27,9
Bazénová technika (čerpadlo, odvlhčovač)	1,65	-	4 hodiny	6,6
Celkem	-	-	-	122,61

Celková odhadovaná spotřeba rodinného domu je 122,61 kWh. Rozdíl odhadované a naměřené spotřeby se liší o 9,246 kWh (131,956-122,61). Rozdíl mohl nastat v důsledku delšího využívání spotřebičů.

V průběhu roku by nemělo docházet k velikým rozdílům spotřeby, v zimním období dochází k vytápění rodinného domu a v letních dnech se využívají klimatizace. Energetická náročnost vytápění a chlazení je přibližně stejná. K největší spotřebě elektrické energie (mimo vytápění, chlazení a přípravě TUV) dochází ve dvou vodních čerpadlech, jedno je

připojené k mořskému akváriu a druhé je využíváno u venkovního jezírka. K mořskému akváriu se také váže jeho osvětlení, kde se využívají 3 stejné zdroje světla, každé z nich má příkon 140 W.

### 1.14 Návrh fotovoltaického systému

Fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům byla teoreticky navržena ve spolupráci s akciovou společností PERSOLA Czech. Společnost využívá vlastní systém k vytvoření návrhu, zadávají se vstupní parametry, podle kterých se určí doporučený minimální instalovaný výkon FVE. Minimální výkon by měl být minimálně 1,3násobkem roční spotřeby elektřiny pro běžnou spotřebu a přípravu teplé vody. Kapacita bateriového úložiště by měla být ve výši 60 % z průměrné roční spotřeby. Společnost PERSOLA nedimenzuje FVE pro vytápění, jelikož je to neekonomické (v letních dnech se topení nevyužívá, ale FVE vyrábí nejvíce energie).

Vstupní parametry:

1. Využívání tepelného čerpadla – 3 508 kWh
2. Roční spotřeba elektřiny pro běžnou spotřebu – přibližně 34 000 kWh
3. Počet osob v domácnosti – 3
4. Celková roční spotřeba elektřiny – přibližně 55 000 kWh
5. Distribuční sazba – D56d

Ze vstupních parametrů se vypočítá roční spotřeba elektřiny pro dimenzování FVE. Výsledkem je 37 508 kWh (roční spotřeba elektřiny pro běžnou spotřebu + využívání tepelného čerpadla).

Minimální skutečný výkon FVE se následně rovná 1,3násobku roční spotřeby pro dimenzování FVE, tedy minimální skutečný výkon FVE by měl být 48,76 kWp ( $1,3 \times 37\,508 \div 1\,000$ ).

Velikost bateriového úložiště se vypočítá jako 60 % z průměrné roční spotřeby elektřiny pro dimenzování FVE. Bateriové úložiště by mělo mít 61,66 kWh ( $(37\,508 \div 365) \times 0,6$ ).

Podle společnosti PERSOLA Czech a.s. by ideální FVE pro rodinný dům měla mít minimální instalovaný výkon 48,76 kWp a velikost bateriového úložiště 61,66 kWh.

Dosažení instalovaného výkonu 48,76 kWp nebude v tomto případě možné, protože rodinný dům nemá dostatečně velký prostor střechy k instalaci potřebného množství solárních panelů. K maximalizaci vyrobené energie dojde při pokrytí větší části střechy, jeden fotovoltaický panel má přibližně rozměry 1x2,1 m, tedy zabírá plochu 2,1 m<sup>2</sup>. Vzhledem ke skosení střechy není možné využít celou její plochu, tedy maximální počet panelů je 36. Panely by byly rozděleny do dvou samostatných okruhů, každý okruh by se skládal z 18 panelů. Při vysoké hodnotě průměrné spotřeby se dá předpokládat, že ve většině dnech nebude docházet k ukládání velkého množství vyrobené elektřiny, k ukládání bude docházet převážně v letním období.

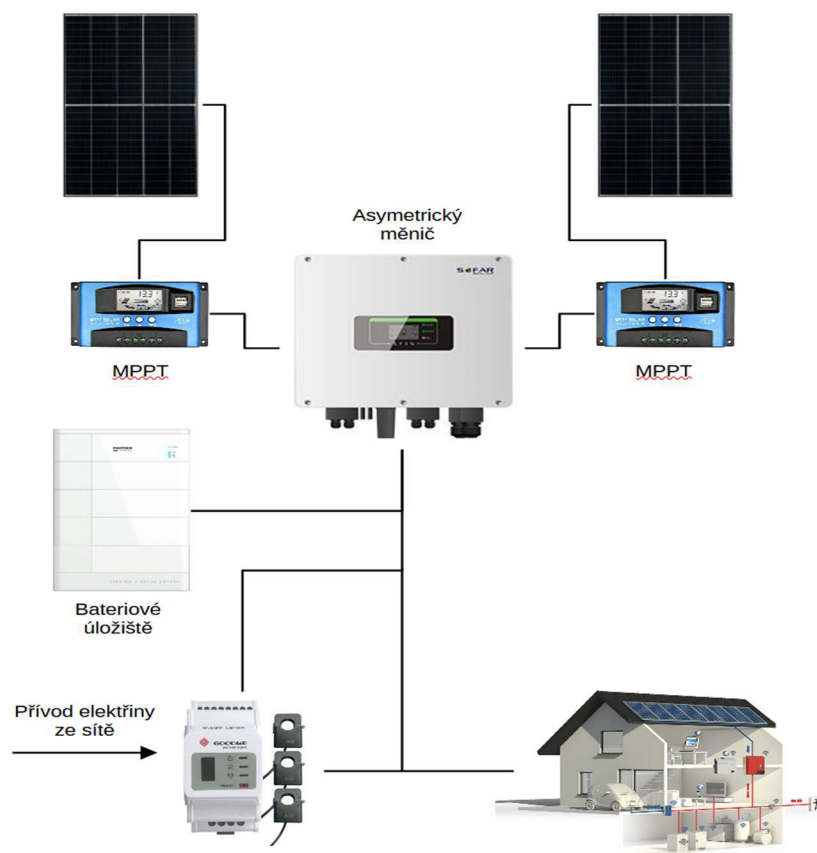
Běžný fotovoltaický systém pro rodinné domy se skládá z následujících částí: fotovoltaické panely, nosné konstrukce pro panely, měnič (inverter), baterie (volitelný prvek) a kabelové rozvody. Při výběru byl kladen důraz na kvalitu a životnost jednotlivých částí solární elektrárny, z tohoto důvodu nebyly vybrány nejlevnější varianty jednotlivých komponent.

Pro návrh fotovoltaického systému je vhodné vybrat třífázový asymetrický měnič, protože na jednotlivých fázích rodinný objekt nemá stejný odběr. Tento typ měniče zajistí minimalizaci přetoků do sítě a využije maximum vyrobené energie pro pokrytí spotřeby. Zároveň je vhodné zvolení měniče, který disponuje dvěma vstupy pro připojení samostatných okruhů na straně fotovoltaických panelů (MPPT – Maximum Power Point Tracking). Při plánovaném zapojení 18 panelů je nutné zkontrolovat pracovní rozsah stejnosměrných napětí měniče a celkového napětí sériově zapojených fotovoltaických panelů. Na základě výše uvedených požadavků byl vybrán třífázový měnič SOFAR Solar, HYD 8KTL-3PH (viz příloha 1), který splňuje požadované vlastnosti.

Solární panely byly vybrány Canadian Solar 460Wp CS3W-460MS (viz příloha 2), jedná se o monokrystalický typ s účinností 20,8 %. Nominální výkon panelu je 460 Wp a maximální systémové napětí 1000V / 1500V. Optimální provozní napětí panelu je 41,5 V, předem vybraný měnič má rozsah napětí 180 ~ 850 V, při sériovém zapojení je provozní napětí přibližně 747 V ( $18 \times 41,5$ ). Při instalaci 36 panelů by byl instalovaný výkon solární elektrárny 16,56 kWp.

Vzhledem k vysoké a trvalé spotřebě energie není zapotřebí bateriové úložiště s vysokou kapacitou, proto byla vybrána 2x baterie SOFAR Solar AMASSTORE GTX 3000 H 2,5 kWh (viz příloha 3) (pro případ získání maximální výše dotací musí být použito 7 baterií). Baterie by měla splňovat požadavky na uložení v daném čase nevyužité energie. Baterie jsou typu LiFePO<sub>4</sub>, maximální nabíjecí a vybíjecí proud je 30 A. Baterii je nutné instalovat ve spojení s řídicím modulem SOFAR Solar GTX 3000 BCU, který obsahuje BMS (battery management systém), jistič, dc pojistku, a tak dále.

K instalaci fotovoltaické elektrárny bude ještě zapotřebí 36x konstrukce pro upevnění fotovoltaických panelů na střechu, propojovací kabeláž a 3fázový smart meter od společnosti GoodWe (viz příloha 5).

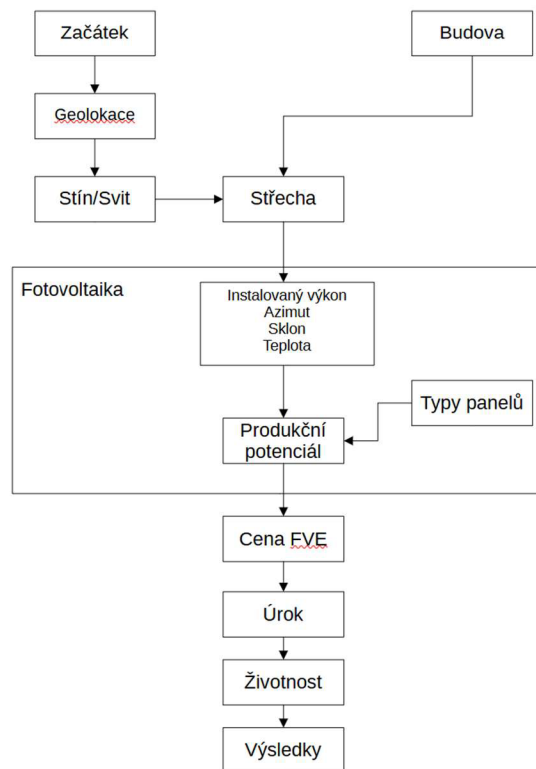


Obrázek 22 Návrh fotovoltaického systému

## 1.15 Funkčnost fotovoltaické elektrárny

K zjištění přibližného množství vyrobené energie byla použita aplikace PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), která byla vyvinuta v European Commission Joint Research Centre v Itálii. Aplikace od roku 2001 prošla mnohými aktualizacemi a vylepšeními, poslední verze, která byla využita pro získávání dat v této práci, je 5.2 (rozhraní aplikace viz příloha 4)

Aplikace PVGIS využívá vysoce kvalitní data o slunečním záření z geostacionárních meteorologických družic Meteosat. Aplikace nám umožňuje volný přístup k zjištění potenciálu pro různé konfigurace a technologie, více než 30. letá data o slunečním záření, teplotě, koncentraci prachových částic nebo vodní páře. PVGIS bere v potaz i stínění terénem, ale nejedná se o přesný model, proto je možné nahrát tvar horizontu, který odpovídá skutečnosti. Aplikace nepočítá s pokrytím fotovoltaických panelů sněhem, prachem a špínou na panelech a částečným zastíněním.



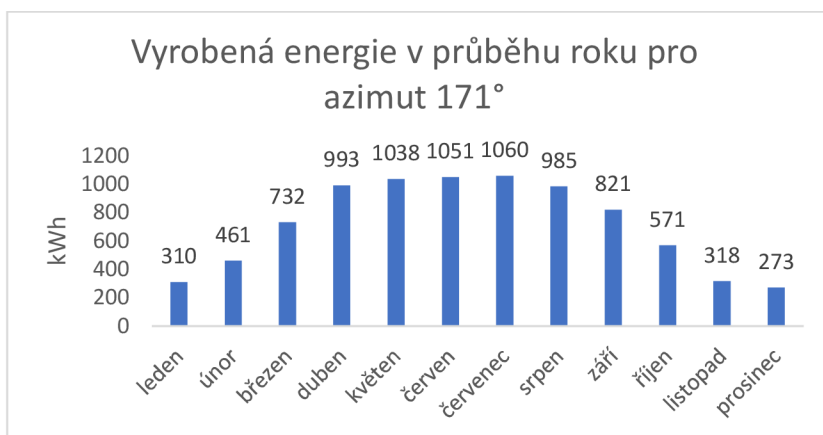
Obrázek 23 Vývojový diagram PVGIS

Výpočet pro zjištění přibližného množství vyrobené energie probíhá v režimu grid connected (připojeno k síti), jedná se o dva výpočty, oba výpočty se liší pouze v azimutu střechy.

Vstupní parametry jsou:

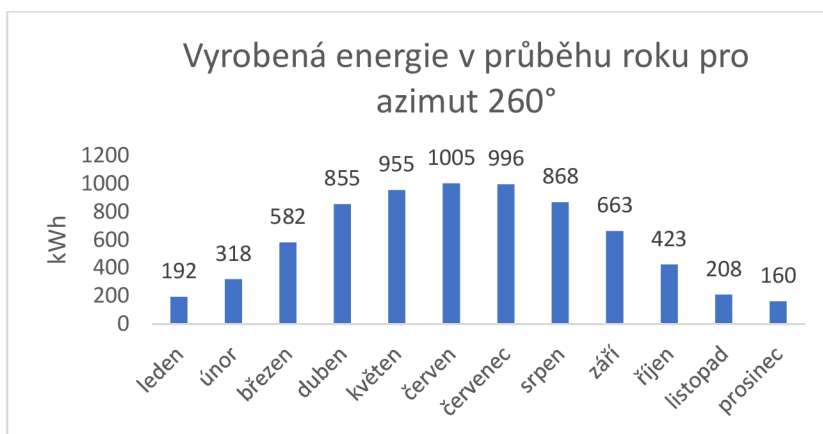
- 1) Instalovaný výkon 8 280 Wp
- 2) Přibližné ztráty 14 %
- 3) Sklon střechy 30°
- 4) Azimut:
  - a) 171°
  - b) 260°

V případě azimutu a)  $171^\circ$  je ročně vyrobeno přibližně 8 619 kWh, vyrobenou energii v jednotlivých měsících je možné vidět v obrázku 26.



Obrázek 24 Graf vyrobené energie v průběhu roku pro azimut  $171^\circ$  - vlastní úprava (European Commission, 2019)

V případě azimutu b)  $260^\circ$  je ročně vyrobeno přibližně 7 225 kWh, vyrobenou energii v jednotlivých měsících je možné vidět na obrázku 27.



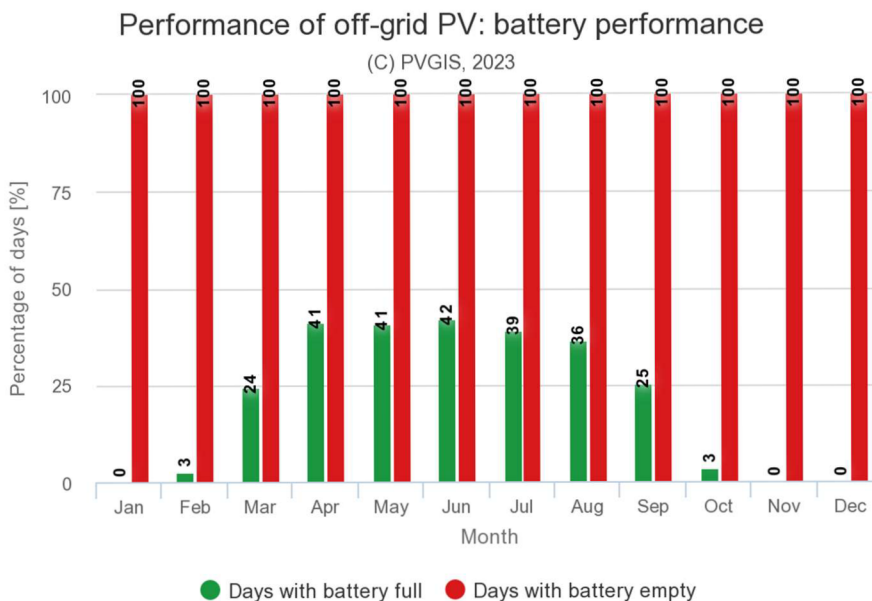
Obrázek 25 Graf vyrobené energie v průběhu roku pro azimut  $260^\circ$  - vlastní úprava (European Commission, 2019)

Po sečtení obou hodnot se vypočítá celková přibližná produkce solární elektrárny za rok, u návrhu tohoto systému se jedná o 15 844 kWh vyrobené elektřiny. Z výsledku došlo k potvrzení, že fotovoltaická elektrárna nebude stačit jako samostatný zdroj a bude muset být doplněna o energii ze spotřebitelské sítě.

Na získání dat o využití baterií je potřebné nastavit aplikaci PVGIS do systému off-grid (bez připojení k síti), v aplikaci nelze kombinovat dva objekty elektrárny, které jsou připojené do jednoho úložiště, z tohoto důvodu byla elektrárna teoreticky spojena a azimut je zvolen jako střední hodnota, tedy  $215^\circ$ . Je nutné provést dva výsledky, první pro návrh s maximální dotací a druhý pro návrh s menší dotací.

Vstupní parametry jsou:

- 1) Instalovaný výkon 16 560 Wp
- 2) Kapacita úložiště 17 500 Wh
- 3) Mezní hodnota vybíjení akumulátoru 20 %
- 4) Denní spotřeba 131 856 Wh (vlastní profil spotřeby)
- 5) Sklon střechy 30°
- 6) Azimut 215°



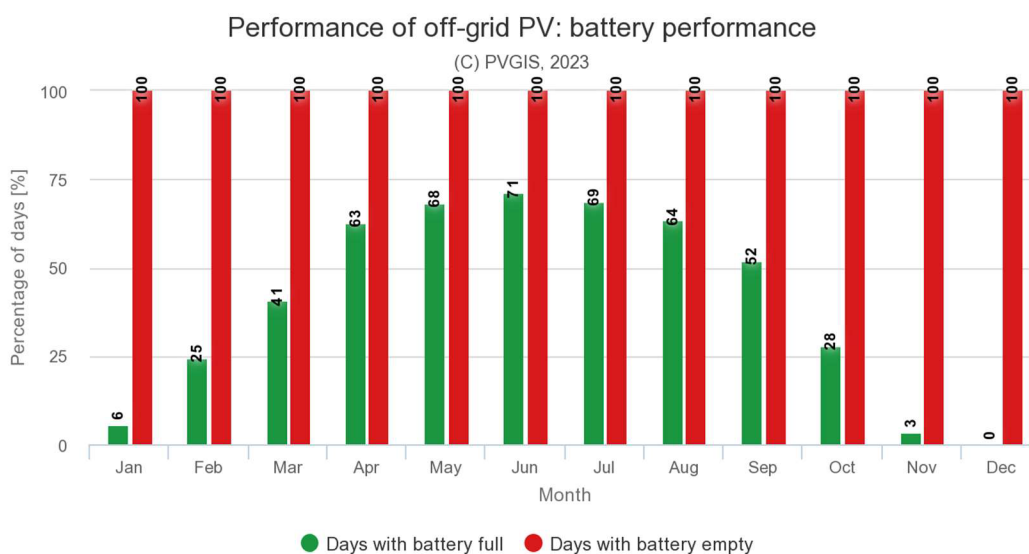
Obrázek 26 Výsledek zadání ze vstupních hodnot (European Commission, 2019)

V obrázku 28 je možné vidět, že bateriové úložiště bude i v letních dnech využíváno minimálně a nebude docházet k jeho plnému nabíjení. Z tohoto pohledu je bateriové úložiště příliš veliké.

Vstupní parametry jsou:

- 7) Instalovaný výkon 16 560 Wp
- 8) Kapacita úložiště 5000 Wh
- 9) Mezní hodnota vybíjení akumulátoru 20 %
- 10) Denní spotřeba 131 856 Wh (vlastní profil spotřeby)
- 11) Sklon střechy 30°
- 12) Azimut 215°





Obrázek 27 Výsledek zadání ze vstupních hodnot (European Commission, 2019)

Z grafu lze vyčíst, že k vybití baterií by docházelo každý den, v letních dnech by byla relativně vysoká šance na plné nabití baterií a ve večerních hodinách by docházelo k využívání akumulované energie, kdy by už fotovoltaická elektrárna neprodukovala další energii. Nejhorší období představuje prosinec, ve kterém by nedošlo k nabití baterií vůbec, nejlepší měsíce podle předpokladů jsou v letním období.

## 1.16 Ekonomické zhodnocení projektu

Celkové náklady spojené s pořízením navržené fotovoltaické elektrárny je možné vidět v tabulkách 12 a 13, jednotlivé položky jsou rozepsané a všechny ceny jsou uvedeny včetně DPH. Při pořízení fotovoltaické elektrárny je možné žádat o dotaci v rámci dotačního titulu NZÚ (Nová Zelená Úsporám), výše dotace se odvíjí od velikosti instalovaného výkonu a vybavení systémů. K získání maximálně možných dotací je nutné mít návrh, který splňuje podmínku o velikosti bateriového úložiště, nominální kapacita bateriového úložiště se musí rovnat nebo být větší než instalovaný výkon FVE. Jeden z návrhů v této práci by dosahoval na nejvyšší možnou dotaci v hodnotě 205 000 Kč.

Tabulka 12 Náklady na pořízení FVE s maximální dotací

Komponenta	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Celková cena [Kč]
<b>Solární panel 460 Wp</b>	5 968	36	214 848
<b>Asymetrický měnič</b>	72 948	1	72 948
<b>Akumulátorová baterie</b>	33 759	7	236 313
<b>Řídící modul</b>	34 990	1	34 990
<b>Nosná konstrukce k panelům</b>	879	36	31 644
<b>Smart meter</b>	7 176	1	7 176
<b>Kabeláž (elektromateriál)</b>			35 000
<b>Instalace</b>			50 000
<b>Dotace</b>			-205 000
<b>Celková cena fotovoltaiky</b>			477 919

Tabulka 13 Náklady na pořízení FVE s dotací

Komponenta	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Celková cena [Kč]
<b>Solární panel 460 Wp</b>	5 968	36	214 848
<b>Asymetrický měnič</b>	72 948	1	72 948
<b>Akumulátorová baterie</b>	33 759	2	67 518
<b>Řídící modul</b>	34 990	1	34 990
<b>Nosná konstrukce k panelům</b>	879	36	31 644
<b>Smart meter</b>	7 176	1	7 176
<b>Kabeláž (elektromateriál)</b>			35 000
<b>Instalace</b>			45 000
<b>Dotace</b>			-180 000
<b>Celková cena fotovoltaiky</b>			329 124

Ekonomický model FVE je počítán pro dobu 20 let, jedná se o délku záruky na baterie. Po uplynutí této doby, může dojít k poškození bateriového systému a byla by zapotřebí opětovná investice. Na samotné pořízení nebude potřeba úvěru, FVE bude zaplacená v hotovosti.

Pro výpočet lze zvolit diskontní sazbu jako úrokovou sazbu termínovaných vkladů. V současné době se úroková sazba pohybuje v rozmezí 5-7 %, v této práci se uvažuje diskont 6 %. Výkupní cena elektřiny je uvažována 3,5 Kč/kWh. Průměrné roční přetoky do DS (distribuční sítě) jsou přibližně 240 kWh (pro návrh s menší kapacitou bateriového úložiště, u většího jsou přetoky zanedbatelné). Pro zjednodušení bude roční výroba stejná.

Přibližné množství peněz, které fotovoltaická elektrárna uspoří (ceny elektřiny od společnosti ČEZ k datu 27.2.2023, distribuční sazba D56d viz Příloha 5).

Roční úspora nákladů:

$$CU = R_V \times C + DS \times C_p$$

Kde:

CU – Roční úspora nákladu

R<sub>V</sub> – Roční výroba [kWh]

C – Cena za kWh [Kč]

DS – Přetoky do distribuční sítě [kWh]

C<sub>P</sub> – Cena za prodej energie [Kč]

Tabulka 14 Výpočet úspory za 1 rok

	Roční výroba [kWh]	Cena za kWh [Kč]	Přetoky do DS [kWh]	Cena za kWh (prodej) [Kč]	Příjem z přetoků [Kč]	Celková cena [Kč]
<b>Celkové úspory za 1 rok</b>	15 844	6,539	240	3,5	840	104 443

Výpočet návratnosti s údržbou, uvažovaná cena roční údržby 4 000 Kč (pro menší bateriové úložiště).

Tabulka 15 Výpočet doby návratnosti – vlastní zpracování

Rok	Příjmy [Kč]	Výdaje [Kč]	CF [Kč]	DCF [Kč]	KDCF [Kč]
1	104 443	4 000	100 443	94 748	-234 376
2	104 443	4 000	100 433	89 385	-144 991
3	104 443	4 000	100 433	84 325	-60 666
4	104 443	4 000	100 433	79 552	18 585
5	104 433	4000	100 433	75 049	93 905

Rok	Příjmy [Kč]	Výdaje [Kč]	CF [Kč]	DCF [Kč]	KDCF [Kč]
6	104 433	4000	100 433	70 801	164 706
7	104 433	4000	100 433	66 793	231 499
8	104 433	4000	100 433	63 012	294 511
9	104 433	4000	100 433	59 446	353 957
10	104 433	4000	100 433	56 081	410 038
11	104 433	4000	100 433	52 906	462 944
12	104 433	4000	100 433	49 912	512 856
13	104 433	4000	100 433	47 086	559 942
14	104 433	4000	100 433	44 421	604 363
15	104 433	4000	100 433	41 907	646 270
16	104 433	4000	100 433	39 535	685 805
17	104 433	4000	100 433	37 297	723 102
18	104 433	4000	100 433	35 186	758 288
19	104 433	4000	100 433	33 194	791 481
20	104 433	4000	100 433	31 315	822 797

Kde:

CF – cash flow

DCF – diskontovaný cash flow

KDCF = kumulovaný diskontovaný cash flow

Vzorce pro výpočet hodnot v Tabulce 15:

Kde:  $r$  = daný rok,  $d$  = diskont (6 %)

$$CF = \text{příjmy} - \text{výdaje}$$

$$DCF = \frac{CF}{(1 + d)^r}$$

$$KDCF = -\text{Investice} + \sum_{r=0}^{20} DCF_r$$

Prostá návratnost investice:

$$T_s = \frac{IN}{CU}$$

Kde:

$T_s$  – doba návratnosti

IN – investiční výdaj [Kč]

CU – roční úspora nákladů [Kč]

Prostá návratnost návrhu s maximální dotací (dochází k zanedbatelným přetokům):

$$T_{s1} = \frac{477\,919}{103\,603} = 4,61 \text{ let}$$

Prostá návratnost návrhu s dotací:

$$T_{s2} = \frac{329\,124}{104\,443} = 3,17 \text{ let}$$

Roční zhodnocení investice:

$$ROI = \frac{CU}{CI} \times 100$$

Kde:

ROI – roční zhodnocení investice [%]

CI – cena investice [Kč]

CU – roční zisk [Kč]

Roční zhodnocení investice s maximální dotací:

$$ROI = \frac{103\,603}{477\,919} \times 100 = 21,7 \%$$

Roční zhodnocení investice s dotací:

$$ROI = \frac{104\,443}{329\,124} \times 100 = 31,7 \%$$

## 7. Výsledky a diskuse

V současné době se jedná z pohledu prosté návratnosti o zajímavou investici, návratnost v obou případech je pod 5 let. Nízká doba návratnosti je z velké části způsobena vysokou aktuální cenou energií, dá se předpokládat, že v budoucnosti budou ceny energií klesat a doba návratnosti by byla větší.

Varianta s menší bateriovým úložištěm, tedy i s menší dotací, vychází z finančního hlediska lépe než návrh s nejvyšší možnou dotací. Nominální kapacita úložiště je 5 kWh, která by měla být dostačující, aby docházelo k nabíjení baterií. V případě nejvyšší možné dotace je bateriové úložiště příliš veliké a ve většině dnech by nedocházelo k plnému nabíjení. S větším počtem baterií stoupají i roční náklady na údržbu. Z toho vyplývá, že by se vyplatila více FVE s menším bateriovým úložištěm a návratností 3,17 let.

Budeme-li uvažovat, že u FVE nebude docházet ke ztrátám z opotřebení v průběhu její životnosti, při současných cenách energií by nám v horizontu 20 let ušetřila více než 800 000 Kč. V tomto případě by se pořízení FVE výrazně vyplatilo, ale zásadní vliv bude mít vývoj cen energií.

Pokrytí celkové spotřeby rodinného domu a dosažení energetické samostatnosti v současné době není možné, muselo by dojít k instalaci jiných systému založených na zdrojích obnovitelné energie, v oblasti nelze využívat vodní elektrárnu a nejsou zde vhodné podmínky na větrnou elektrárnu, jedním z možných způsobů doplnění by představovalo spalování biomasy.

## Závěr

Bakalářská práce v teoretické části představuje možnosti využití obnovitelných zdrojů, jedná se o slunce, vodu, vítr a biomasu. Kromě samotného popisu zdrojů se zaměřuje na možnost výroby energie, využití na území České republiky a na výhody nebo nevýhody. V teoretické části bakalářské práce se také nachází možnosti akumulace energie. Možnosti jsou rozděleny do skupin podle technologie akumulace, jedná se o mechanickou, elektrochemickou, tepelnou a elektromagnetickou technologii. Práce se převážně zaměřuje na elektrochemickou technologii, která je následně využívána v praktické části. Možnosti akumulace jsou srovnávány z pohledu technologického i ekonomického.

Praktická část je zaměřená na návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům. Návrh FVE není koncipován, aby domácnost fungovala v ostrovním režimu, FVE má pouze fungovat jako doplněk k dodávané energii ze sítě. Při návrhu bylo nutné zjistit energetickou náročnost objektu a navrhnout vhodné řešení. Vzhledem k vysoké denní spotřebě domácnosti byla zvolena největší možná plocha střechy, která byla pokryta fotovoltaickými panely, celkový instalovaný výkon elektrárny je 16,56 kWh. V průběhu dne bude docházet ke spotřebě vyrobené energie a nevyužitá energie se bude ukládat do baterií. V bakalářské práci jsou navrženy dvě úložiště, jedno s nejvyšší možnou dotací z programu NZÚ a druhá varianta s menší dotací, ve které je zvoleno bateriové úložiště s kapacitou 5 kWh. Menší celková kapacita baterií by pro rodinný dům stačila, protože vzhledem k průměrné vysoké spotřebě nedochází k ukládání velkého množství energie.

Cena kompletního systému s nejvyšší možnou dotací je 477 919 Kč, prostá doba návratnosti je 4,61 let. Cena systému s menší dotací je 329 124 Kč, prostá doba návratnosti je 3,17 let. Varianta s menším bateriovým úložištěm je v aktuální situaci výhodnější, ale obě varianty nabízejí v současné době zajímavou možnost investice, doba návratnosti v dalších letech se bude odvíjet od cen energií.



## 8. Seznam použitých zdrojů

What is renewable energy?. *Un.org* [online]. [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>

ČESKO MÁ POTENCIÁL KRÝT SPOTŘEBU ELEKTRINU JEN Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ, 2022. *Wonderinteresttrading.cz* [online]. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://wonderinteresttrading.cz/news/cesko-ma-potencial-kryt-spotrebu-elektroinu-jen-z-obnovitelnych-zdroju>

Fotovoltaika v podmínkách České republiky, 2009. In: *Isoftenergy.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <http://www.isofenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>

KUSALA, Jaroslav, 2006. Solární energie: Životodárné Slunce. *Cez.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k12.htm>

RUSSELL, Randy, 2010. Solar Energy in Earth's Atmosphere: Solar EM Radiation Penetration into Earth's Atmosphere. In: *Windows2universe.org* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: [https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/earth\\_atmosph\\_radiation\\_budget.html](https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/earth_atmosph_radiation_budget.html)

SEDLÁK, Martin, 2017. 1883: rok, kdy byla namontována první střešní solární elektrárna. *Obnovitelne.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/53/1883-rok-kdy-byla-namontovana-prvni-stresni-solarni-elektrarna>

Sluneční energie – pro a proti. *Ekolist.cz* [online]. 2000 [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/slunecni-energie-pro-a-proti>

Aktivní solární systémy. *Usetreno.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/slovník-pojmu/aktivni-solarni-systemy/>

CIHLÁŘ, Jan. *Investice do decentralních zdrojů energie – 2. díl: Fototermický systém* [online]. In: . 2015 [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/investice-do-distribuvanych-zdroju-energie-2-dil-fototermicky-system>

Fotovoltaický polykrystalický solární panel 80W 12V/4,4A (MPPT18V). Rozměry 770×670×30mm. In: *Elektro-hofman.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.elektro-hofman.cz/fotovoltaicky-polykrystalicky-solarni-panel-80w-12v-4-4a-mppt18v-rozmary-770-670-3-0mm/>

KUSALA, Jaroslav, 2006. Solární (fotovoltaické) články. *Cez.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>

Jaký je potenciál fotovoltaiky v Česku?, 2019. *Solarniasociace.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/15156-jaky-je-potencial-fotovoltaiky-v-cesku>

GREEN, Martin A., 2019. How Did Solar Cells Get So Cheap?. In: *Sciencedirect.com* [online]. [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243511930090X>

KING, Anthony, 2020. Lightweight, bendy, cheaper – the promise of organic solar panels. *Ec.europa.eu* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/lightweight-bendy-cheaper-promise-organic-solar-panels>

*Sluneční energie: Výhody, využití i největší producenti* [online], 2021. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.epet.cz/slunecni-energie-vyhody-vyuziti-i-nejvetsi-producenti/>

RECYKLACE SOLÁRNÍCH PANELŮ V ČESKÉ REPUBLICĚ, 2018. *Purumkraft.cz* [online]. [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://www.purumkraft.cz/cs/novinky/85-recyklace-solarnich-panelu-v-ceske-republice>

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

RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK, 1997. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 80-010-1563-7.

MENTLIK, Pavel. EXOGENNÍ DYNAMIKA. In: *Zcu.cz* [online]. [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: <https://kge.zcu.cz/vyuka2/mentlik/geol/exogen.pdf>

TABAČKOVÁ, Martina, 2009. Anemometer. *Leteckafakulta.sk* [online]. [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: <http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/133>

ČEZ. VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA. *Svetenergie.cz* [online]. [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/vetrna-energie-pro-deti/vetrna-elektrarna/jak-funguje>

VOBOŘIL, David, 2016. Vodní elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

Vodní kolo, 2013. *Multimediaexpo.cz* [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: [http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/Vodn%C3%AD\\_kolo](http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/Vodn%C3%AD_kolo)

Vodní elektrárna, 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD\\_elektr%C3%A1rna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna)

- VOBOŘIL, David, 2017. Přečerpávací vodní elektrárny v České republice. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrarny-v-ceske-republice>
- GIAQUINTO, Robert, 2020. Advantages And Disadvantages Of Hydroelectric Energy. *Greengeek.com* [online]. [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.greengeeks.com/blog/hydroelectric-energy/>
- WAGNER, Vladimír, 2018. Velký přehled: Využívané i perspektivní technologie akumulace energie. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/velky-prehled-vyuzivane-i-perspektivni-technologie-akumulace-energie>
- HRADEBNÍ. Akumulace elektrické energie. *Hradebni.cz* [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/305/OZE\\_akumulace\\_energie\\_kap.10.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/305/OZE_akumulace_energie_kap.10.pdf)
- MAREŠ, Jan, Martin LIBRA a Vladislav POULEK, 2011. *Akumulace elektrické energie* [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>
- ŠPINA, Martin, 2021. Olověné baterie: Stálice na poli akumulace již více než půldruhého století. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/olovene-baterie-stalice-poli-akumulace-jiz-vice-nez-puldruheho-stoleti>
- ŠPINA, Martin, 2021. Li-ion baterie: Porovnání nepoužívanějších typů. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/li-ion-baterie-porovnaní-nepouzivanejsich-typu>
- Nabíjecí Li-ion baterie. In: *Jmfshop.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.jmfshop.cz/Nabijeci-Li-ion-baterie-18500-NCR18500A-3-7V-2000mAh-d906.htm>
- ŠRUBAŘOVÁ, Petra, 2018. Jak funguje superkapacitor? A jak může vylepšit baterie?. *Tzb-info.cz* [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16916-jak-funguje-superkapacitor>
- KRÁLOVÁ, Magda. ČINNOST PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNÝ. In: *Edu.techmania.cz* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/663>
- AKUMULACE ENERGIE. *Svetenergie.cz* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika/decentralizovane-energeticke-zdroje-podrobne/akumulace-energie/vyklad>

AKUMULACE ENERGIE. *Svetenergie.cz* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika/decentralizovane-energeticke-zdroje-podrobne/akumulace-energie/vyklad>

CAPPELLE, Hans, 2022. *Energy storage – a cost, size and efficiency comparison* [online]. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: [https://energy.at-site.be/storage/?fbclid=IwAR1eZ18QMTRhTcR3GuzF-XTFy2O8SwLPhkr2y60P89iO6MOeUviHq\\_56Nok](https://energy.at-site.be/storage/?fbclid=IwAR1eZ18QMTRhTcR3GuzF-XTFy2O8SwLPhkr2y60P89iO6MOeUviHq_56Nok)

VACULÍK, Sebastian, Petr BAČA a Josef MÁČA, 2020. Náklady na akumulaci elektrické energie v komerčních sekundárních člancích. In: *Tzb-info.cz* [online]. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/20319-naklady-na-akumulaci-elektricke-energie-v-komercnich-sekundarnich-clancich>

REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. *Tzb-info.cz* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>

Photovoltaic Geographical Information System, 2019. *Joint-research-centre.ec.europa.eu* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en)

## 9. Přílohy

Příloha 1 Datasheet třífázový měnič SOFAR Solar HYD 8KTL-3PH.....	I
Příloha 2 Datasheet Canadian Solar 460Wp CS3W-460MS .....	II
Příloha 3 Datasheet SOFAR Solar AMASSTORE GTX 3000 H 2,5 kWh.....	IV
Příloha 4 Rozhraní aplikace PVGIS .....	VI
Příloha 5 Aktuální ceny energií společnosti ČEZ.....	VII

# Příloha 1: Datasheet třífázový měnič SOFAR Solar HYD 8KTL-3PH

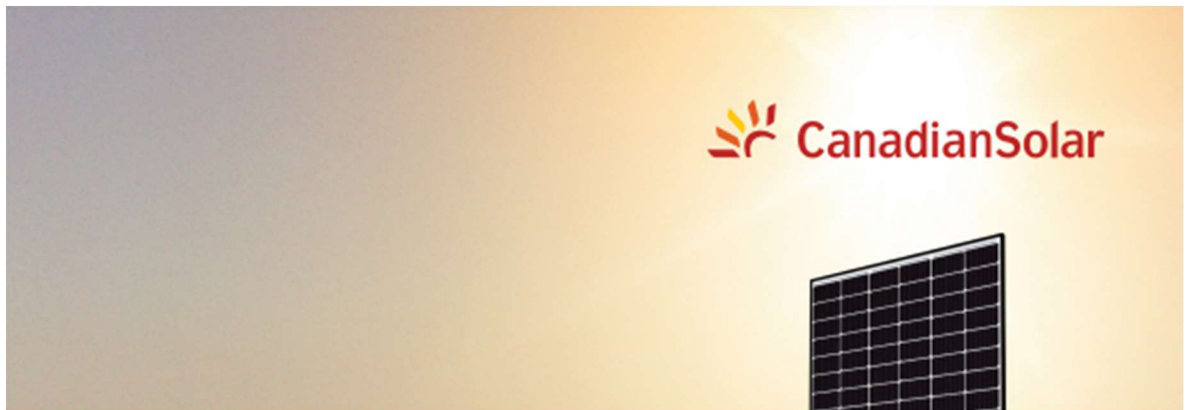
27

Datový list	HYD SKTL-3PH	HYD 6KTL-3PH	HYD 8KTL-3PH	HYD 10KTL-3PH	HYD 15KTL-3PH	HYD 20KTL-3PH
<b>Specifikace baterie</b>						
Typ baterie	Lithium-iontová, olověná					
Počet bateriových vstupů	1			2		
Rozsah napětí baterie (V)	180 – 800					
Rozsah napětí baterie pro maximální nabití (V)	200 – 800	240 – 800	320 – 800	200 – 800	300 – 800	400 – 800
Jmenovitý nabíječ / vybiječ výkon (W)	5000	6000	8000	10000	15000	20000
Maximální nabíječ / vybiječ proud (A)	25			50 (25 / 25)		
Špičkový nabíječ/vybiječ proud, čas (A, s)	40, 60			70 (35 / 35), 60		
Strategie nabíjení baterie	Vlastní adaptace na BMS					
Komunikační rozhraní	CAN (RS485)					
<b>Vstupní parametry z FV</b>						
Doporučený max. vstupní výkon fotovoltaiky (Wp)	7500 (6000 / 6000)	9000 (6600 / 6600)	12000 (6600 / 6600)	15000 (7500 / 7500)	22500 (11250 / 11250)	30000 (15000 / 15000)
Max. stejnosměrné napětí (V)	1000					
Provozní napětí při spuštění (V)	200					
Rozsah napětí MPPT (V)	180 – 960					
Jmenovité stejnosměrné napětí (V)	600					
Rozsah provozního napětí MPPT při plném zatížení (V)	250 – 850	320 – 850	360 – 850	220 – 850	350 – 850	450 – 850
Max. vstupní proud (A)	12,5 / 12,5			25 / 25		
Max. zkratový proud (A)	15 / 15			30 / 30		
Počet trackerů MPP	2					
Počet stringů na jeden MPP tracker	1			2		
<b>AC výstupní parametry (při připojení k síti)</b>						
Jmenovitý výkon střídavého proudu (W)	5000	6000	8000	10000	15000	20000
Max. výstupní výkon střídavého proudu do sítě (VA)	5500	6600	8800	11000	16500	22000
Max. střídavý výkon z rozvodné sítě (VA)	10000	12000	16000	20000	30000	40000
Max. výstupní střídavý proud do sítě (A)	8	10	13	16	24	32
Max. střídavý proud ze sítě (A)	15	17	24	29	44	58
Jmenovité napětí sítě	3 / N / PE, 230 / 400					
Rozsah síťového napětí	184 Vac ... 276 Vac					
Jmenovité napětí sítě	50 / 60 Hz					
Rozsah výstupní frekvence	45 – 55 Hz / 55 – 65 Hz					
Výstupní účinnost	1 výchozí (+/-0,8 nastavitelné)					
Výstup THDi (při jmenovitém výkonu)	< 3%					
<b>AC výstupní data (back-up)</b>						
Jmenovitý výstupní výkon (W)	5000	6000	8000	10000	15000	20000
Maximální výstupní výkon (VA)	5500	6600	8800	11000	16500	22000
Špičkový zdanitelný výkon, čas (VA, s)	10000, 60	12000, 60	16000, 60	20000, 60	22000, 60	22000, 60
Jmenovitý výstupní proud (A)	7,2	8,7	11,6	14,5	21,7	29
Max. výstupní proud (A)	8	10	13	16	24	32
Špička výstupního proudu, doba trvání (A, s)	15, 60	18, 60	24, 60	30, 60	32, 60	32, 60
Jmenovité výstupní napětí	3 / N / PE, 230 / 400					
Jmenovitá výstupní frekvence	50 / 60 Hz					
Výstup THDv (@ symetrická zátěž)	< 3%					
Čas přepnutí	< 10 ms					
<b>Účinnost</b>						
Účinnost MPPT				99,9%		
Evropská účinnost	97,5%			97,7%		
Maximální účinnost	98,0%			98,2%		
Max. nabíječ / vybiječ účinnost baterie	97,6%			97,8%		
<b>Ochrana</b>						
Odpovač stejnosměrného proudu	Ano					
Ochrana proti přepólování fotovoltaiky	Ano					
Ochrana proti výstupnímu přetížení	Ano					
Ochrana proti výstupnímu přepětí	Ano					
Ochrana proti ostrovnímu systému	Ano					
Detekce zbytkového proudu	Ano					
Detekce izolačního odporu	Ano					
Úroveň přepětíové ochrany	PV: standard typu II, AC: standard typu II					
Ochrana proti zpětnému chodu baterie	Ano					
<b>Obecné údaje</b>						
Rozměry (mm)	571,4*915*264,1					
Hmotnost (kg)	33			37		
Topologie měniče	Bez transformátoru					
Vlastní spotřeba v pohotovostním režimu (W)	< 10					
Rozsah provozních teplot	-30°C ... +60°C					
Relativní vlhkost	0 – 100%					
Hlučnost	< 45 dB					
Provozní nadmořská výška	< 4000 m					
Chlazení	Pasivní			Aktivní		
Stupeň krytí	IP66					
<b>Vlastnosti</b>						
Stejnoseměrná svorka DC	MC4					
Síťová svorka AC	Konektor 5P					
Back-up svorka střídavého proudu	Konektor 5P					
Displej	LCD					
Monitorovací rozhraní	RS485 / WiFi / CAN2.0 / Ethernet / Bluetooth					
Paralelní provoz	Ano					
Záruka	5 let, volitelně: až 20 let					
<b>Certifikace a normy</b>						
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-3					
Bezpečnostní normy	IEC 62109-1, IEC 62109-2, IEC 62040 – 1					
Síťové normy	VDE V 0124-100, V0126-1-1, VDE-AR-N 4105, CEI 0-16 / CEI 0-21, EN 50549, G88 / G99, UTE C15-712-1					

HYD 5 / 6 / 8 / 10 / 15 / 20KTL-3PH\_CZ\_202208







## Příloha 2: Datasheet Canadian Solar 460Wp CS3W-460MS






### **HiKu** Black Frame HIGH POWER MONO PERC MODULE 435 W ~ 465W CS3W-435 | 440 | 445 | 450 | 455 | 460 | 465MS

#### MORE POWER

-  26 % more power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 2.7 % lower system cost
-  41°C Low NMOT:  $41 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  
-0.34 % / °C
-  Better shading tolerance

#### MORE RELIABLE

-  Lower internal current,  
lower hot spot temperature
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 3600 Pa\*

**12**  
Years  
Enhanced Product Warranty on Materials  
and Workmanship\*

**25**  
Years  
Linear Power Performance Warranty\*

1<sup>st</sup> year power degradation no more than 2%  
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

#### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

#### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / MCS / INMETRO / UKCA  
FSEC (US Florida) / UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716  
UNF 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



\* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your product and applicable in the regions in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 55 GW deployed around the world since 2001.

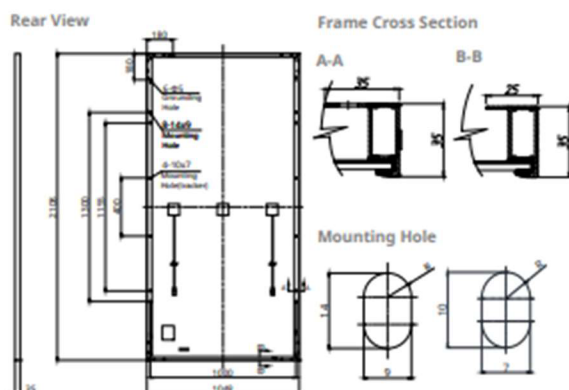
\* For detailed information, please refer to Installation Manual.

CSI Solar Co., Ltd.  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

Příloha 2 Datasheet Canadian Solar 460Wp CS3W-460MS



## ENGINEERING DRAWING (mm)



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3W	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS	460MS	465MS
Nominal Max. Power (Pmax)	435 W	440 W	445 W	450 W	455 W	460 W	465 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.5 V	40.7 V	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.75 A	10.82 A	10.89 A	10.96 A	11.02 A	11.09 A	11.16 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.5 V	48.7 V	48.9 V	49.1 V	49.3 V	49.5 V	49.7 V
Short Circuit Current (Isc)	11.42 A	11.48 A	11.54 A	11.60 A	11.66 A	11.72 A	11.78 A
Module Efficiency	19.7%	19.9%	20.1%	20.4%	20.6%	20.8%	21.1%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	20 A						
Application Classification	Class A						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

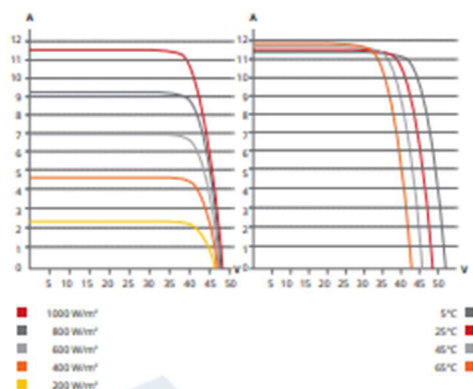
CS3W	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS	460MS	465MS
Nominal Max. Power (Pmax)	326 W	330 W	334 W	338 W	341 W	345 W	349 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.0 V	38.2 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.59 A	8.65 A	8.71 A	8.76 A	8.82 A	8.87 A	8.92 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.8 V	46.0 V	46.2 V	46.4 V	46.6 V	46.8 V	47.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 V	9.26 A	9.31 A	9.35 A	9.40 A	9.45 A	9.50 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

## CS3W-435MS / I-V CURVES



## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 35 mm (83.0 X 41.3 X 1.38 in)
Weight	24.3 kg (53.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-) (supply additional cable jumper: 2 lines/pallet) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

## PARTNER SECTION

SOLSOL s.r.o.  
Králóva 298/4  
Brno 616 00  
Czech Republic  
Tel: +420 773 576 737  
E-mail: sales@solsol.cz  
www.solsol.cz

## Příloha 3: Datasheet SOFAR Solar AMASSTORE GTX 3000 H 2,5 kWh



### AMASSTORE BATTERY

GTX 3000

- Long life energy storage battery (6000 cycles)
- Supports parallel expansion up to 4 systems
- Supports soft startup
- Supports charging activation from AC
- Han's Laser automated PACK production line, stable and reliable production quality
- Simple stack installation, time and cost saving
- One-button automatic assignment battery module ID, simple and convenient operation
- Certification according to IEC62619, UN38.3, IEC62040-1, SAA etc
- Remote diagnosis and real-time data monitoring

+49 (0) 7121 31767-0

europa@sofarsolar.com

SofarSolar GmbH

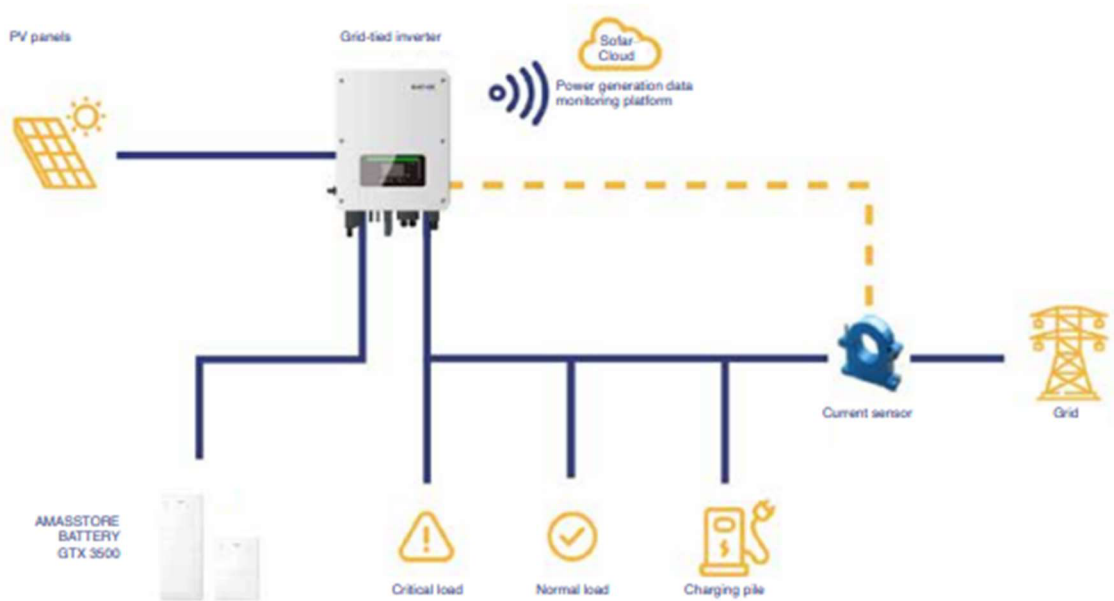
eu.sofarsolar.com

Příloha 3 Datasheet SOFAR Solar AMASSTORE GTX 3000 H 2,5 kWh

Datasheet	GTX 3000-H4	GTX 3000-H5	GTX 3000-H6	GTX 3000-H7	GTX 3000-H8	GTX 3000-H9	GTX 3000-H10
<b>Parameters</b>							
Battery module quantity	4	5	6	7	8	9	10
Nominal voltage	204.8V	256V	307.2V	358.4V	409.6V	460.8V	512V
Max. charge voltage	230.4V	288V	345.6V	403.2V	460.8V	518.4V	576V
Min. discharge voltage	182.4V	228V	273.6V	319.2V	364.8V	410.4V	456V
Nominal energy	10kWh	12.5kWh	15kWh	17.5kWh	20kWh	22.5kWh	25kWh
Available energy (90% DOD)	9kWh	11.25kWh	13.5kWh	15.75kWh	18kWh	20.25kWh	22.5kWh
Dimension (mm)	515*480*770	515*480*895	515*480*1020	515*480*1145	515*480*1270	515*480*1395	515*480*1520
Weight	138kg	168kg	198kg	228kg	258kg	288kg	318kg
Protection class	IP65						
Cooling	Natural						
Nominal charging current	25A						
Max. continuous charging current	30A						
Nominal discharge current	25A						
Max. continuous discharge current	30A						
Working temperature	-20°C - 60°C						
Storage temperature	≈ 25°C: 12 months, ≈ 35°C: 6 months, ≈ 45°C: 3 months						
Environmental humidity	≈ 95%RH (no condensation)						
Operating altitude	≈ 2000m						
Scale	Suggest no more than 4 parallel						
Certificates	UN38.3, IEC62619, IEC62040-1, SAA etc.						
Cycle life	8000 @ 80% DOD / 25°C / 0.5C / 60% EOL						
<b>Battery Module Parameters</b>							
Battery type	LiFePO4, Lithium Iron Phosphate						
Nominal voltage	51.2V						
Nominal capacity	50Ah						
Weight	30kg						
Dimension	515*478.8*125mm						
Protection	IP65						

GTX3000-H4 / 3000-H5 / 3000-H6 / 3000-H7 / 3000-H8 / 3000-H9 / 3000-H10\_EN\_202103\_V1

## HYBRID SOLAR SYSTEM



## Příloha 4: Rozhraní aplikace PVGIS

The screenshot displays the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) web application interface. At the top, the European Commission logo and the text "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM" are visible. Below this is a navigation bar with links for Home, Tools, Downloads, Documentation, and Contact us. The main interface is divided into two main sections: a map and a configuration panel.

**Map Section:** A map of Europe is shown with a cursor over a location in Italy. Below the map, there are input fields for "Address" (with the example "Eg. Ispra, Italy") and "Lat/Lon" (with examples "Eg. 45.815" and "Eg. 8.611").

**Configuration Panel:** This panel is titled "PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV". It includes several settings:

- Cursor:** "Selected: Select location!"
- Elevation (m):** Input field.
- PVGIS ver.:** 5.2, with a "Switch to version 5.1" button.
- Use terrain shadows:**  Calculated horizon,  Upload horizon file.
- Download buttons:** "csv" and "json" buttons, along with "Vybrat soubor" and "Soubor nevybrán".
- GRID CONNECTED:** A sidebar menu with options: TRACKING PV, OFF-GRID, MONTHLY DATA, DAILY DATA, HOURLY DATA, TMY.
- Solar radiation database:** A dropdown menu.
- PV technology:** A dropdown menu set to "Crystalline silicon".
- Installed peak PV power [kWp]:** Input field set to 1.
- System loss [%]:** Input field set to 14.
- Fixed mounting options:**  PV electricity price. Mounting position:  Free-standing,  Optimize slope,  Optimize slope and azimuth.
- Slope [°]:** Input field set to 35.
- Azimuth [°]:** Input field set to 0.
- PV system cost (your currency):** Input field.
- Interest [%/year]:** Input field.
- Lifetime [years]:** Input field.
- Buttons:** "Visualize results", "csv", and "json".

At the bottom of the interface, it says "Last update: 01/03/2022 Top".

Příloha 4 Rozhraní aplikace PVGIS



# Příloha 5: Aktuální ceny energií společnosti ČEZ



## Zastropování účtované od 1. 1. 2023 dle vládního nařízení

Po dobu účinnosti vládního nařízení vám budeme účtovat dle cen níže.  
Po skončení účinnosti nařízení vám budeme účtovat dle platného ceníku.  
Distribuční území E.GD, a.s. | Účinnost distribučních cen od 1. 1. 2022

Ochodní sazba		Standard		Akumulace 8		Elektro- mobilita		Akumulace 16		Přímotop	Teplné čerpadlo	Elektrické topení	Víkend
Distribuční sazba		D01d	D02d	D05d	D06d	D07d	D035d	D045d	D05d	D05d	D07d	D05d	
<b>OBSOBNÍ ČÁST CENY</b>													
Cena za dodávku													
1	Vysoký tarif	Kč/MWh	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)
2	Nízký tarif	Kč/MWh	--	--	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)	6 050,00 (5 000,00)
3	Stálá platba	Kč/měsíc	141,57 (177,03)	141,57 (177,03)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)	127,05 (105,00)
<b>DISTRIBUČNÍ ČÁST CENY</b>													
Cena za distribuci													
4	Vysoký tarif	Kč/MWh	2 742,71 (2 266,70)	2 218,80 (1 833,72)	2 165,66 (1 789,80)	783,73 (647,71)	2 165,66 (1 789,80)	317,60 (262,48)	317,60 (262,48)	317,60 (262,48)	288,67 (238,57)	3 393,54 (2 804,58)	
5	Nízký tarif	Kč/MWh	--	--	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)	229,00 (189,26)
Stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe													
6	do 3+10 A a do 1+25 A včetně	Kč/měsíc	22,99 (19,00)	64,13 (53,00)	73,81 (60,00)	118,58 (98,00)	70,18 (58,00)	130,15 (105,00)	154,88 (128,00)	154,88 (128,00)	154,88 (128,00)	49,61 (40,00)	
7	nad 3+10 A do 3+16 A včetně	Kč/měsíc	36,30 (30,00)	101,64 (84,00)	117,37 (97,00)	189,97 (157,00)	111,32 (92,00)	222,64 (184,00)	248,05 (205,00)	248,05 (205,00)	248,05 (205,00)	79,86 (66,00)	
8	nad 3+16 A do 3+20 A včetně	Kč/měsíc	44,77 (37,00)	128,26 (106,00)	146,41 (121,00)	238,37 (197,00)	139,15 (115,00)	278,30 (230,00)	310,97 (257,00)	310,97 (257,00)	309,76 (256,00)	300,43 (253,00)	
9	nad 3+20 A do 3+25 A včetně	Kč/měsíc	56,87 (47,00)	159,72 (132,00)	182,92 (152,00)	297,66 (246,00)	174,24 (144,00)	348,48 (288,00)	388,41 (321,00)	388,41 (321,00)	387,20 (320,00)	325,84 (264,00)	
10	nad 3+25 A do 3+32 A včetně	Kč/měsíc	72,60 (60,00)	204,49 (169,00)	234,74 (194,00)	381,15 (315,00)	222,64 (184,00)	446,49 (369,00)	497,31 (411,00)	497,31 (411,00)	496,10 (400,00)	399,72 (332,00)	
11	nad 3+32 A do 3+40 A včetně	Kč/měsíc	89,54 (74,00)	255,31 (211,00)	292,82 (242,00)	476,74 (394,00)	278,30 (230,00)	557,81 (461,00)	621,94 (514,00)	621,94 (514,00)	632,83 (523,00)	200,86 (166,00)	
12	nad 3+40 A do 3+50 A včetně	Kč/měsíc	112,53 (93,00)	319,44 (264,00)	366,63 (303,00)	595,32 (492,00)	348,48 (288,00)	696,96 (576,00)	776,82 (642,00)	776,82 (642,00)	945,01 (781,00)	250,47 (207,00)	
13	nad 3+50 A do 3+63 A včetně	Kč/měsíc	141,57 (117,00)	402,93 (333,00)	462,22 (382,00)	750,20 (620,00)	439,23 (363,00)	878,46 (726,00)	978,89 (809,00)	978,89 (809,00)	1 384,24 (1 144,00)	315,81 (261,00)	
14	nad 3+63 A do 3+80 A včetně	Kč/měsíc	--	--	--	--	--	--	--	--	2 270,64 (1 884,00)	--	
15	nad 3+80 A do 3+100 A včetně	Kč/měsíc	--	--	--	--	--	--	--	--	4 192,65 (3 465,00)	--	
16	nad 3+100 A do 3+125 A včetně	Kč/měsíc	--	--	--	--	--	--	--	--	8 644,24 (7 144,00)	--	
17	nad 3+125 A do 3+160 A včetně	Kč/měsíc	--	--	--	--	--	--	--	--	18 007,22 (14 882,00)	--	
18	nad 3+160 A za každý 1 A	Kč/měsíc	--	--	--	--	--	--	--	--	112,54 (93,00)	--	
19	nad 3+63 A za každý 1 A	Kč/měsíc	2,25 (1,86)	6,39 (5,28)	7,33 (6,06)	11,91 (9,84)	6,97 (5,76)	13,94 (11,52)	15,54 (12,84)	15,54 (12,84)	--	5,01 (4,34)	
20	nad 1+25 A za každý 1 A	Kč/měsíc	0,75 (0,62)	2,13 (1,78)	2,44 (2,02)	3,97 (3,28)	2,32 (1,92)	4,65 (3,84)	5,18 (4,28)	5,18 (4,28)	37,51 (30,00)	1,67 (1,38)	
<b>Ostatní poplatky</b>													
21	Daň z elektřiny	Kč/MWh	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)
22	Cena za systémové služby	Kč/MWh	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)	137,37 (113,53)
23	Činnost OTE	Kč/měsíc	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)	5,08 (4,20)
<b>Podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)</b>													
24	Podle jističe	Kč/A, počet fakt	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
25	Podle spotřeby	Kč/MWh	Nespikuje se										
<b>CELKOVÁ CENA</b>													
Celková jednotková cena včetně daně z elektřiny a systémových služeb													
26	Vysoký tarif (řádek 1 + 4 + 21 + 22)	Kč/MWh	8 964,32 (7 408,53)	8 440,41 (6 975,56)	8 387,27 (6 931,63)	7 005,34 (5 789,54)	8 387,27 (6 931,63)	6 539,21 (5 404,31)	6 539,21 (5 404,31)	6 539,21 (5 404,31)	6 510,28 (5 380,40)	9 615,15 (7 946,40)	
27	Nízký tarif (řádek 2 + 5 + 21 + 22)	Kč/MWh	--	--	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)	6 450,81 (5 331,08)
28	Měsíční platby	Kč/měsíc	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23										
<b>Poplatek za podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)</b>													
29	Podle jističe	Kč/měsíc	0,00										
30	Podle spotřeby	Kč/MWh	Nespikuje se										
<b>VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY</b>													
			roční spotřeba v MWh ve vysokém tarifu × řádek 26 + roční spotřeba v MWh v nízkém tarifu × řádek 27 + 12 měsíců × řádek 28 + poplatek POZE, který v období od 1. 10. 2022 do 31. 12. 2023 dle cenového rozhodnutí EPRJ 8/2022 málová hodnota 0,00										

Tučně uvedené ceny jsou s 21% DPH a v závorce bez DPH. Distribuční část ceny a ostatní poplatky jsou určovány Energetickým regulačním úřadem. Chyby tisku jsou vyloučeny.