

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**ZÁVĚREČNÁ  
PRÁCE**

**2024**

**Lukáš  
Čech**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čech** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **502332**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Efektivita akumulace elektrické energie do vodíku**

Název bakalářské práce anglicky:

**Effectivity of electricity accumulation using hydrogen**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vypracování rešerše zpracovávající problematiku produkce elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů a akumulace elektrické energie;
- 2) Vypracování bilance produkce elektrické energie z vybraného obnovitelného zdroje v korelaci s časovým průběhem spotřeby elektrické energie z rozvodné sítě vedoucí k návrhu vhodného výkonu a kapacity technologie akumulace elektrické energie do vodíku;
- 3) Zhodnocení efektivity akumulace elektrické energie do vodíku.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Matěj Vodička, Ph.D. ústav energetiky FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **15.04.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2025**

Ing. Matěj Vodička, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michal Kolovratník, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci na téma „Efektivita akumulace elektrické energie do vodíku“ vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Praze, dne .....

.....

## ANOTACEČNÍ LIST

<b>Jméno autora:</b>	Lukáš Čech
<b>Název BP:</b>	Efektivita akumulace elektrické energie do vodíku
<b>Anglický název:</b>	Effectivity of electricity accumulation using hydrogen
<b>Akademický rok:</b>	2023/2024
<b>Ústav/Odbor:</b>	Ústav energetiky
<b>Vedoucí BP:</b>	Ing. Matěj Vodička, Ph.D.
<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran: 63 Počet obrázků: 32 Počet tabulek: 15
<b>Klíčová slova:</b>	akumulace elektrické energie, vodík, obnovitelné zdroje
<b>Keywords:</b>	accumulation of electricity, hydrogen, renewable sources of electricity
<b>Anotace:</b>	Tato bakalářská práce se zabývá analýzou a návrhem systému generujícího elektrickou energii pomocí fotovoltaických panelů s využitím akumulace elektrické energie do vodíku. Hlavním cílem práce je navrhnout takový systém, který umožní plně uspokojit potřebu elektrické energie zvoleného subjektu v průběhu celého roku s výrobou elektrické energie pouze pomocí fotovoltaických panelů. Výsledkem ekonomické analýzy je, že návratnost investice do navrženého systému je 90 let.
<b>Abstract:</b>	This Bachelor's thesis deals with analysing and designing a system generating electrical energy using photovoltaic panels using the accumulation of electrical energy into hydrogen. The main goal of this dissertation is to create a system that will fully satisfy the electricity needs of the chosen entity throughout the year, with electricity produced only using photovoltaic panels. The result of the economic analysis shows that the return on investment in the proposed system is 90 years.

## **Poděkování**

Rád bych vyjádřil svou vděčnost všem, kteří mě podpořili a motivovali během psaní této bakalářské práce.

Především děkuji svému vedoucímu práce, Ing. Matěji Vodičkovi Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a trpělivost, kterou mi věnoval po celou dobu tvorby této práce. Bez jeho pomoci a podpory by tato práce nebyla možná.

Velké poděkování patří také celé mé rodině a přátelům za jejich neustálou podporu a pochopení průběhu mého studia. Jejich morální podpora pro mě byla neocenitelná.

Děkuji Vám všem.

<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2. OBNOVITELNÉ ZDROJE</b> .....	<b>9</b>
2.1 VĚTRNÁ ENERGIE .....	9
2.1.1 <i>Výhody a nevýhody větrné elektrárny</i> .....	11
2.2 VODNÍ ENERGIE.....	12
2.3 SLUNEČNÍ ENERGIE .....	13
2.4 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE .....	15
2.5 BIOMASA.....	16
<b>3. AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>17</b>
3.1 MECHANICKÉ SYSTÉMY.....	17
3.1.1 <i>Přečerpávací vodní elektrárny</i> .....	17
3.1.2 <i>Akumulace do stlačeného vzduchu</i> .....	20
3.1.3 <i>Akumulace do zkapalněného vzduchu</i> .....	22
3.1.4 <i>Setrvačníky</i> .....	22
3.2 ELEKTROCHEMICKÉ SYSTÉMY .....	24
3.2.1 <i>Olovněné akumulátory</i> .....	24
3.2.2 <i>Li-ion akumulátory</i> .....	25
3.2.3 <i>Sodíkové akumulátory</i> .....	27
3.2.4 <i>Průtokové baterie</i> .....	28
3.3 ELEKTRICKÝ SYSTÉM .....	29
3.4 CHEMICKÉ SYSTÉMY .....	31
3.4.1 <i>Syntetická paliva</i> .....	31
3.4.2 <i>Akumulace do vodíku</i> .....	32
3.5 VODÍK .....	32
<b>4. SKUPENSTVÍ VODÍKU</b> .....	<b>34</b>
4.1 PLYNNÝ VODÍK:.....	34
4.2 KAPALNÝ VODÍK: .....	34
- KAPALNÝ VODÍK MÁ EXTRÉMNĚ NÍZKOU TEPLOTU VARU PŘI ATMOSFÉRICKÉM TLAKU, PŘIBLIŽNĚ -252,87 °C..	34
- VYUŽITÍ: KAPALNÝ VODÍK SE POUŽÍVÁ PRO SKLADOVÁNÍ A PŘEPRAVU VĚTŠÍHO MNOŽSTVÍ VODÍKU NA MENŠÍ PROSTORU, ZEJMÉNA V RAKETOVÝCH PALIVĚCH A V PRŮMYSLOVÝCH PROCESECH [26] .....	34
<b>5. PALIVOVÉ ČLÁNKY</b> .....	<b>35</b>
5.1 PALIVOVÉ ČLÁNKY S POLYMERNÍ MEMBRÁNOU (PEMFC) .....	36
5.2 PALIVOVÉ ČLÁNKY S TUHÝMI OXIDY (SOFC).....	36
5.3 ALKALICKÝ PALIVOVÝ ČLÁNEK (AFC).....	37
5.4 PALIVOVÉ ČLÁNKY S ELEKTROLYTEM TVOŘENÝM KYSELINOU FOSFOREČNOU (PAFC).....	37
5.5 PALIVOVÉ ČLÁNKY S ROZTAVENÝMI UHLIČITANY (MCFC).....	37
<b>6. ELEKTROLYZÉRY</b> .....	<b>39</b>
6.1 ALKALICKÝ ELEKTROLYZÉR .....	39
6.2 PEM ELEKTROLYZÉR .....	39
6.3 ELEKTROLÝZA ZA VYSOKÉ TEPLoty .....	39
<b>7. NÁVRH FVE A AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE DO VODÍKU</b> .....	<b>40</b>
7.1 VÝBĚR LOKALITY A FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY.....	41
7.2 ROČNÍ ZATÍŽENÍ .....	41
7.3 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY .....	43
7.4 DENNÍ BILANCE AKUMULACE .....	44
7.5 ROČNÍ BILANCE AKUMULACE.....	47
7.6 NÁVRH PALIVOVÉHO ČLÁNKU .....	49
7.7 NÁVRH PRO SKLADOVÁNÍ VODÍKU .....	50
<b>8. EKONOMICKÁ ANALÝZA</b> .....	<b>50</b>
8.1 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA.....	50
8.2 NÁVRH ELEKTROLYZÉRU .....	51
8.3 PALIVOVÉ ČLÁNKY [48] .....	52
8.4 SKLADOVÁNÍ VODÍKU [50] .....	52

8.5	PROVOZNÍ NÁKLADY .....	53
8.6	ROČNÍ ZISK.....	55
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>63</b>

# Úvod

V posledních letech roste celosvětový zájem o obnovitelné zdroje energie, a to zejména v souvislosti s rostoucími ekologickými problémy a potřebou snížení závislosti na fosilních palivech. Fotovoltaické elektrárny patří mezi nejoblíbenější způsoby výroby čisté energie díky své relativní jednoduchosti a možnosti instalace na různých typech budov a površích. Nicméně, jedním z hlavních problémů, které brání jejich širšímu využití je nepravidelnost výroby elektrické energie. Sluneční zařízení je proměnlivé jak v denním, tak v ročním cyklu, což vede k nutnosti efektivní akumulace vyrobené energie.

Z tohoto důvodu akumulace elektrické představuje významnou roli k zajištění efektivního vyrovnávání rozdílů mezi výrobou a spotřebou energie. Mezi různými způsoby akumulace se v poslední době stále více diskutuje o možnosti využití vodíku. Vodík lze vyrobit elektrolýzou vody, kdy se elektrická energie přeměňuje na chemickou energii uloženou ve vodíku. Tento vodík pak může být skladován a následně využit například v palivových článcích k výrobě elektrické energie v době, kdy je potřeba vyšší než aktuální produkce z fotovoltaických panelů.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na analýzu a návrh systému, který využívá fotovoltaické panely a akumulaci elektrické energie do vodíku. Cílem práce je dále navrhnout systém, který umožní plně uspokojit potřebu elektrické energie zvoleného subjektu po celý rok, a to pouze s využitím fotovoltaických panelů. Součástí práce je také ekonomická analýza, která hodnotí návratnost investice do tohoto systému.

V rámci práce budou nejprve přehledně popsány různé obnovitelné zdroje energie a možnosti akumulace elektrické energie. Následně se práce zaměří na detaily týkající se vodíku, jeho skupenství a využití v palivových článcích. Dále bude popsán proces elektrolýzy a konkrétní návrh fotovoltaické elektrárny s akumulací do vodíku. V závěru práce bude provedena ekonomická analýza celého systému, která zhodnotí jeho efektivitu a návratnost investice.



# 1. Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou nefosilní přírodní zdroje energie – energie vody, větru, biomasy, slunečního záření, energie okolního prostředí a geotermální energie. Všechny tyto obnovitelné zdroje mají původ ve slunečním záření, jenom geotermální energie vzniká v nitru země.

Potenciál OZE je obrovský, avšak není neomezený. Pro využití větrné, vodní či geotermální energie je potřeba vhodná lokalita s vhodnými přírodními podmínkami. Jediná sluneční energie má skoro neomezený potenciál, ale jedna z nevýhod je vysoká pořizovací cena a poměrně krátká životnost.

Hlavním problémem OZE je nepředvídatelnost a nestabilita, kdy konkrétně větrná a solární energie je závislá na podnebí a počasí. Tato proměnlivost může způsobovat nestabilitu v dodávkách elektrické energie do sítě, což může způsobit problém pro udržování rovnováhy v elektrické síti.[1]

Dalším problémem je s potřebou energetického skladování. Při nepravidelných dodávkách elektrické energie z obnovitelných zdrojů je důležité mít možnosti pro ukládání energie aby bylo možné vyrovnat poptávku a nabídku.

Problém může být také infrastrukturní, environmentální a ekonomické udržitelnosti.

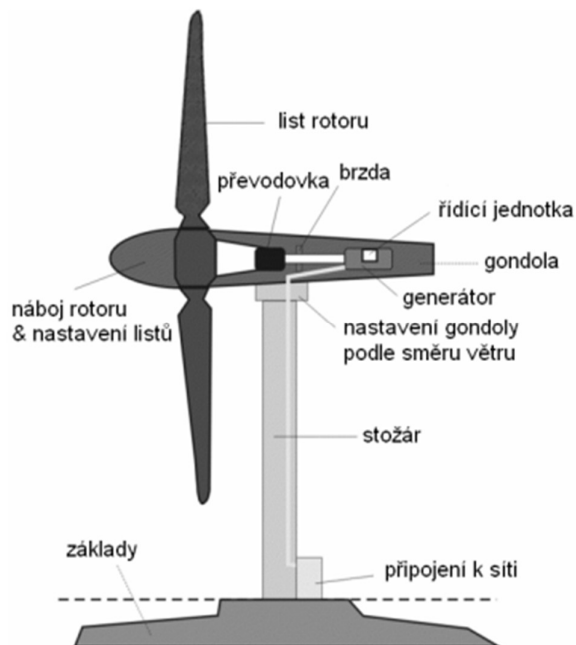
## 1.1 Větrná energie

Vítr je přirozený důsledek nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu slunečním zářením. Při dopadu slunečních paprsků na zemský povrch, různé typy terénu absorbují různou sluneční energii. Tento rozdíl v absorpci tepla vytváří rozdíly v teplotě vzduchu, což způsobuje vznik větru. Větrné elektrárny využívají právě tento přírodní jev k produkci elektrické energie. Větrné elektrárny představují jeden z hlavních přínosů energie z obnovitelných zdrojů.

Princip fungování spočívá v působení aerodynamických sil na lopatky rotoru. Tyto lopatky mají speciální tvar, který je podobný jako profil křídla letadla. Díky lopatkám turbína převádí energii větru na mechanickou energii. Následně je tato energie pomocí generátoru převáděna na elektrickou energii. S rostoucí rychlostí proudu větru rostou vztlakové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou, což ukazuje Betzovo pravidlo:

$$\dot{E} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3 \cdot \left( 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 + \frac{v_2}{v_1} - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^3 \right) \quad (1.1)$$

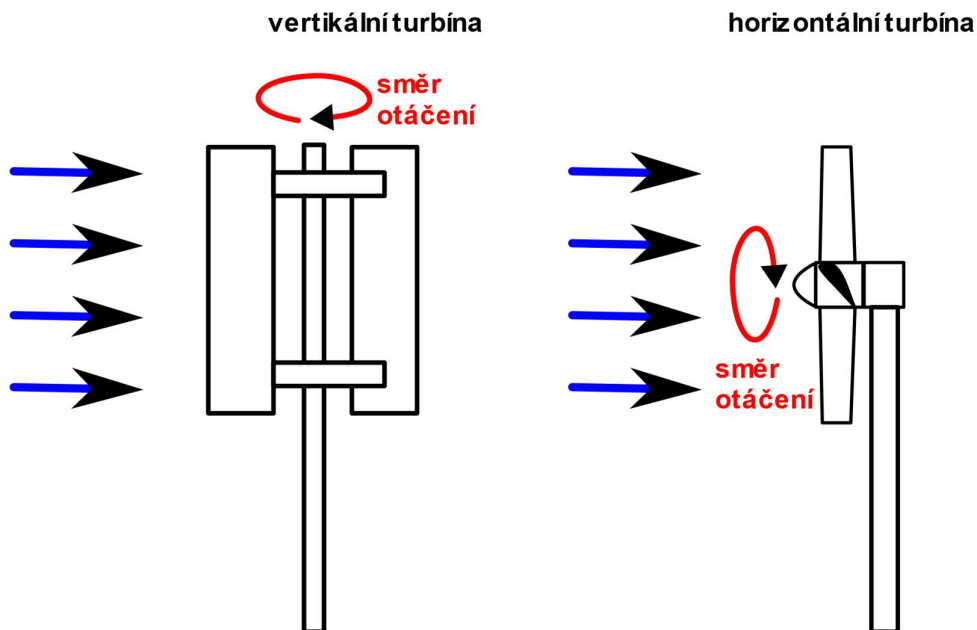
Proto je nutné zařídit efektivní a rychlou regulaci výkonu motoru, aby se zabránilo k mechanickému a zároveň elektrickému přetížení elektrárny.[2]



Obrázek 1 Schéma moderní větrné elektrárny pracující na vztlakovém principu[54]

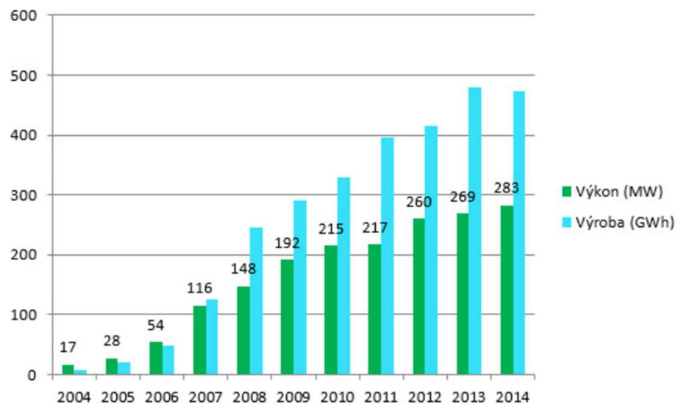
Základní typy větrných turbín:

- Odporové turbíny (drag turbine)
  - Pracují na principu odporové síly, kterou klade plocha (lopatka) proti proudícímu větru – tímto je zařízení uvedeno do rotace
  - Důležité je aby plocha na druhé straně kladla menší odpor vůči proudícímu vzduchu
- Vztlakové turbíny (lift turbine)
  - Dneska nejpoužívanějším typem
  - Využívá sílu vznikající na rotorové lopatce při obtékání vzduchu
  - 2 typy:
    - Horizontální turbína – musí vždy směřovat proti směru větru
    - Vertikální turbína – není nutné měnit jejich směr[3]



Obrázek 2 Vertikální a horizontální větrná turbína[55]

Proměnlivost výroby větrné elektrárny závisí na mnoho faktorech, které často nemůžeme ovlivnit, kdy nejvíce elektrické energie se vyrobí v jarních a podzimních měsících. Proto je pro nás důležité akumulovat elektrickou energii v těchto obdobích, kdy jsme schopni vyrobit více elektrické energie, ale není často tak velká poptávka a nedostatek.



Obrázek 3 Výroba a výkon větrných elektráren v jednotlivých letech[3]

### 1.1.1 Výhody a nevýhody větrné elektrárny

Největší výhodou výroby větrné energie je, že při provozu nevznikají emise, lze je stavět po celém území státu, je to obnovitelný a nevyčerpatelný zdroj energie.

Na druhou stranu nelze získat rovnoměrný výkon, protože jsme závislí na síle a směru větru, elektrárna narušuje rázy krajiny a hlučnost při provozu. A jednou z podstatných nevýhod je vysoká pořizovací cena a v souvislosti na to relativně krátká životnost turbín.[2]

## 1.2 Vodní energie

Jednou z největších výhod vodních elektráren je, že neznečišťují ovzduší při provozu elektrárny. Vodní elektrárny jsou bezodpadové a nejsou závislé na přívozu surovin. Jejich umístění může být různé, záleží hlavně na tvaru terénu, spádových možnostech a na množství vody, která se na daném místě nachází. Tyto nádrže mohou být následně využívány při pomoci v zemědělství, při zavlažování, nebo například k rekreaci pro vodní sporty. Provoz těchto elektráren má téměř nulové náklady a životnost je často mnohem delší než tepelné elektrárny. Další obrovskou výhodou jsou nulové emise, protože jediné, které vznikají, vznikají při výstavbě elektrárny.

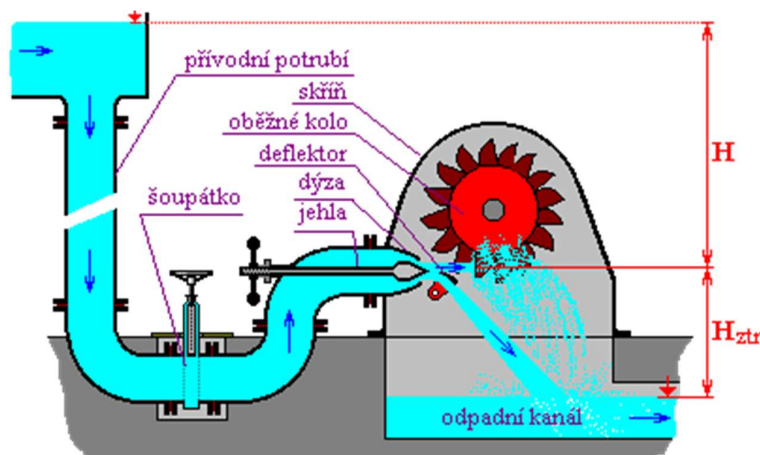
Mezi nevýhody patří zatopení rozsáhlých oblastí kolem nádrže, které může nevýhodně ovlivnit ekosystém. [4]

Ve vodních elektrárně je turbína roztáčena pomocí vody. Tato turbína je spojena s elektrickým generátorem, kde se mění mechanická energie proudící vody na elektrickou energii.

Mezi nejpoužívanější a neznámější turbíny patří Peltonova, Francisova a Kaplanova turbína:

Peltonova turbína

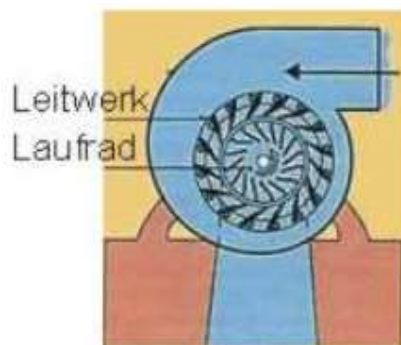
- využívá se pro výrobu vodní energie v místech s vysokým spádem a malým průtokem vody
- jedná se o akční rovnotlakou tangenciální turbínu, kdy voda proudí tečně na obvod rotoru pomocí trysek[4]



Obrázek 4 Princip Peltonovy turbíny [4; 56; 56; 56]

## Francisova turbína

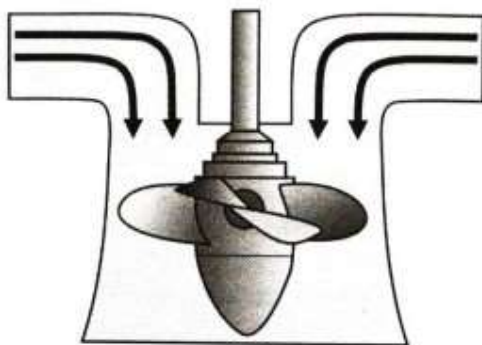
- reakční přetlaková turbína (pracovní kapalina mění tlak během cesty strojem, kdy odevzdává svou energii) [4]



Obrázek 5 Princip Francisovy turbíny [4]

## Kaplanova turbína

- Jedná se o reakční přetlakovou axiální turbínu s velmi dobrou možností regulace
- Toho využíváme především v místech bez stálého průtoku nebo spádu vody [4]



Obrázek 6 Princip Kaplanovi turbíny [57]

V současnosti se na území České republiky pravděpodobně nebude budovat nová vodní elektrárna. Proto jeden z nejzásadnějších faktorů k rozvoji vodních elektráren je modernizace stávajících.

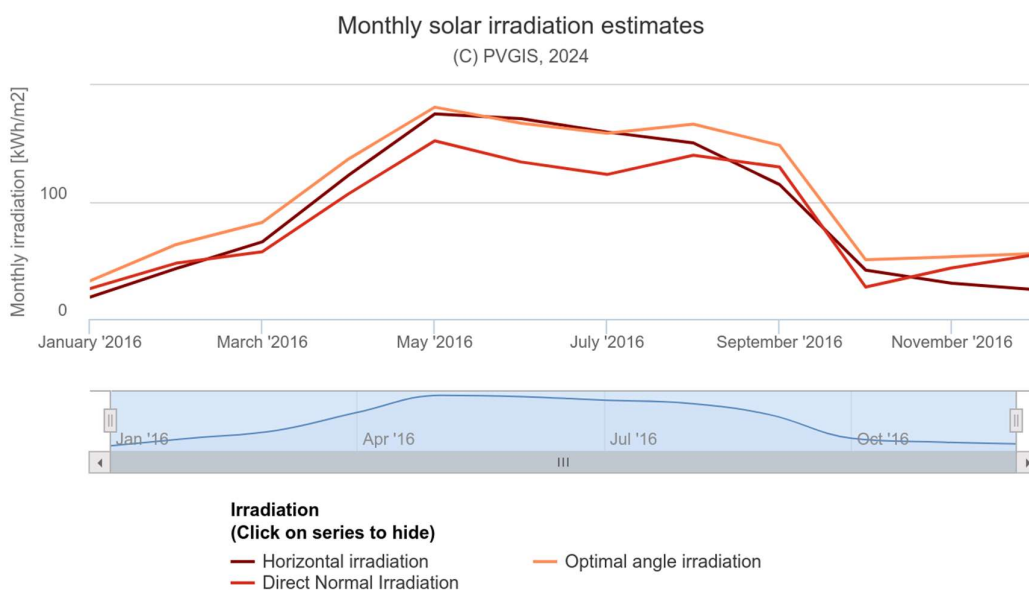
## 1.3 Sluneční energie

Výroba elektrické energie pomocí sluneční elektrárny je nejčastěji založena na využití slunečního záření a fotovoltaických panelů. Fotovoltaické panely obsahují fotovoltaické články, které jsou vyrobeny z materiálů, které reagují na sluneční záření a generují elektrický proud. Když sluneční záření dopadá na povrch panelu, dochází ke zpětnému vytlačení elektronů, což vytváří

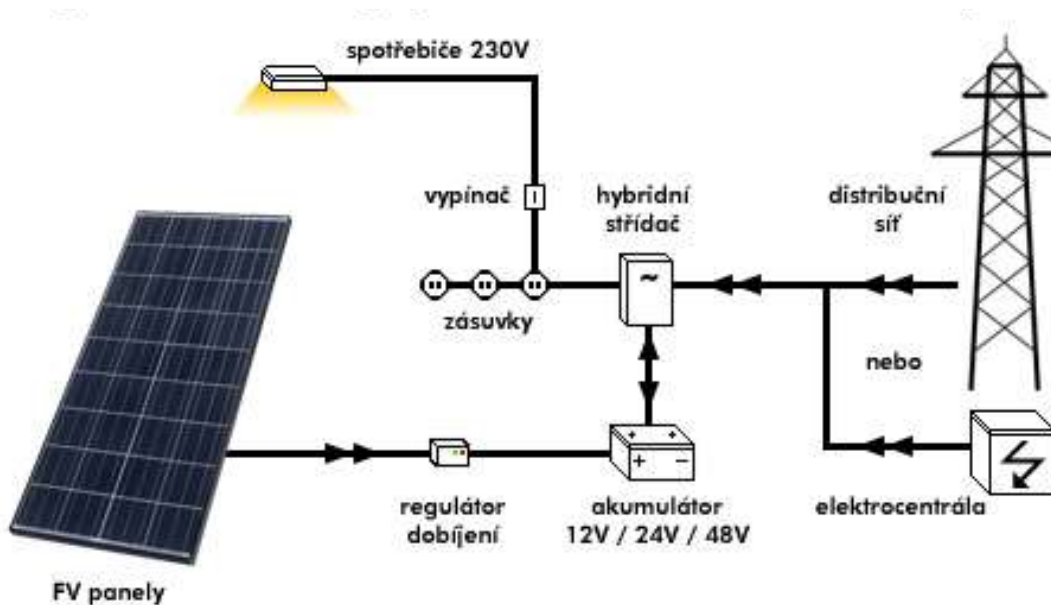
elektrický potenciál. Fotovoltaické články jsou spojeny do panelů a ty jsou instalovány na střechy nebo na zemi. Když sluneční záření dopadá na tyto panely, generují stejnosměrný elektrický proud (DC). Výstupní stejnosměrný proud z fotovoltaických panelů je přiveden ke střídači. Střídač je zařízení, které přeměňuje stejnosměrný proud na střídavý proud, který je používán pro běžné elektrické spotřebiče a může být distribuován do elektrické sítě.

Rozdíly v produkci elektrické energie v průběhu roku jsou klíčové pro plánování a optimalizaci energetických systémů. Faktory, které ovlivňují produkci elektrické energie v závislosti na čase:

- Den a noc – během dne je produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů nejvyšší díky dostupnosti slunečního záření. Naopak v noci není solární výroba elektřiny dostupná
- Jaro/léto/podzim/zima – Se změnou ročního období se mění také intenzita slunečního záření a délka slunečního svitu, což ovlivňuje produkci elektřiny. Například v zimě může být sluneční svit kratší a intenzita slunečního záření nižší než v létě.
- Jasno/zataženo – oblačnost má významný vliv na množství dostupného slunečního záření, a tedy na produkci elektřiny. Za oblačného počasí je výkon nižší než za jasného počasí



Obrázek 7 Měsíční odhad slunečního ozáření v Dejvicích v Praze za rok 2016 [58]



Obrázek 8 Hybridní fotovoltaický systém s akumulací a záložním zdrojem[59]

- Další výroba elektrické energie už není tak důležitá pro moje téma, protože v České republice je pro tyto typy malý potenciál, omezená kapacita, vysoká nákladnost nebo také omezená možnost akumulace. Proto Geotermální energii a bioenergetiku pouze zmíním

## 1.4 Geotermální energie

Geotermální energie je výsledkem působení tepelné energie zemského jádra. Tepelná energie Země roste s rostoucí vzdáleností od povrchu, ovšem její projevy je možné spatřit i na povrchu v podobě horkých pramenů, gejzírů, parních výronů nebo erupcí sopek. Zdrojem geotermální energie mohou být fyzikálně-chemické reakce, pohyb tektonických desek, tření vodních mas, rozpad radioaktivních prvků. Hlavní parametry určují kvalitu a využitelnost tepelné energie. Jsou to teplota, tepelný gradient a tepelný tok. Teplota roste s rostoucí vzdáleností od povrchu Země, tento nárůst ovlivňuje teplotní vodivost hornin, tektonická aktivita nebo proděnění podzemní vody. Tepelný gradient udává přírůstek teploty na jednotku hloubky. Průměrná hodnota je 30 °C/km. Tepelný tok představuje množství tepla procházející jednotkou plochy za jednotku času. V České republice není příliš geotermálních zdrojů ve srovnání s jinými zeměmi. Nedostatek vhodných geologických formací pro hlubinné geotermální elektrárny nebo vysokoteplotní geotermální vrty omezuje možnost rozvoje této energie v ČR. [5]

## 1.5 Biomasa

Biomasa je materiál organického původu, jehož zpracováním jsme schopni uvolňovat energii. Mezi biomasu můžeme řadit obnovitelné biologické materiály, jako jsou dřevo, rostlinné zbytky, organický odpad nebo energetické plodiny. Energie může být z biomasy uvolněna různými procesy, jako např. spalováním v kotlích, zplyňováním, pyrolýzou nebo výrobou bioplynu. Výroba elektrické energie z biomasy probíhá nejčastěji v běžných tepelných elektrárnách, kde se teplo uvolněné spálením biomasy v kotli využívá k ohřevu vody nebo jiného média a vytvoření páry. Tato pára pohání turbínu, která je spojena s generátorem, a tak se vytváří elektrická energie ve formě střídavého proudu. Bioenergetika je udržitelným způsobem výroby elektřiny, pokud se spotřebovává méně biomasy, než jaká je její produkce při zohlednění potřeb jiných průmyslových odvětví spoléhajících na biomasu. Při spalování biomasy se také vytváří méně emisí skleníkových plynů ve srovnání s fosilními palivy. [6]



## 2. Akumulace elektrické energie

Elektrickou energii je velmi obtížné akumulovat. Proto se k její akumulaci nejčastěji využívá přeměna na jiné formy energie, které následně akumulujeme a posléze přeměňujeme zpět na elektrickou energii. Základní rozdělení akumulace elektrické energie podle formy energie sloužící k akumulaci je následující:

1. Mechanická
2. Elektrochemická
3. Chemická
4. Elektrická
5. Tepelná [1]

### 2.1 Mechanické systémy

Mezi hlavní mechanické systémy patří:

1. Přečerpávací vodní elektrárny
2. Akumulace do stlačeného vzduchu
3. Akumulace do zkapalněného vzduchu
4. Setrvačníky

#### 2.1.1 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) slouží k pokrytí špiček denního diagramu zatížení. Princip těchto elektráren je v tom, že elektrárna v době, kdy je v síti přebytek energie (většinou v noci), vodu přečerpává (nejčastěji pomocí reversní turbíny) ze spodní nádrže do horní nádrže. Účinnost tohoto procesu závisí na mnoha aspektech, jedním z aspektů je výškový rozdíl mezi nádržemi. Velké nároky jsou kladeny na geologické podloží a celkově vhodnost lokality. Kapacita závisí na množství vody, která se nachází v horní nádrži. PVE obvykle dosahují vysokých výkonů, často mezi 100 až 2500 MW.

Životnost je poměrně vysoká, až 100 let. Další výhodou je že, v tomto systému nedochází k samovybíjení. [7]

Výkon, který dokáže elektrárna dodat do sítě se dá vypočítat ze vzorce:

$$P = Q\rho gH \text{ [W]} \quad (2.1)$$

Kde:

$P$  ... .. je teoretický výkon [W]

$Q$  ... .. je průtok turbínou [ $m^3/s$ ]

$\rho$  ... .. je hustota vody [ $kg/m^3$ ]

$g$  ... .. je tíhové zrychlení [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$H$  ... .. je střední spád [m]

A energie, která je uchována tímto systémem je (bez započtení ztrát) dána:

$$E = Pt = V\rho gH \quad (2.2)$$

Kde:

$E$  ... .. je teoretická energie vody [J]

$V$  ... .. je objem vody [ $m^3$ ]



Elektrárna	Štěchovice II	Dalešice	Dlouhé Stráně
Uvedení do provozu	1947	1978	1996
	1996 rekonstrukce	2007 rekonstrukce	
Výkon [MW]	45	480 (4 · 120)	650 (2 · 325)
Počet soustrojí	1	4	2
Typ turbin	Francis reverzní FR 180	Francis reverzní	Francis reverzní FR100
Turbinový spád [m]	209,8-219,5	60,5-90,7	534,3
Průtok turbinou [m <sup>3</sup> /s]	24 (výroba)	150 (výroba)	68,6(výroba)
	21 (čerpání)	137,5 (čerpání)	54,5(čerpání)
Průměr oběžného kola [mm]	2 200	6 000	4 540
Otáčky [ot./min]	600	136,4	428,6
Objem horní nádrže [mil. m <sup>3</sup> ]	0,467	127	2,72

Obrázek 10 Parametry přečerpávacích vodních elektráren v ČR[61]

#### Výhody PVE

- PVE umožňují jednoduché skladování energie v podobě vody
- Rychlá regulace výroby při změny poptávky a podle aktuální situace
- Obvykle jsou velmi účinné a mají vysokou efektivitu
- Dlouhodobá životnost

#### Nevýhody PVE

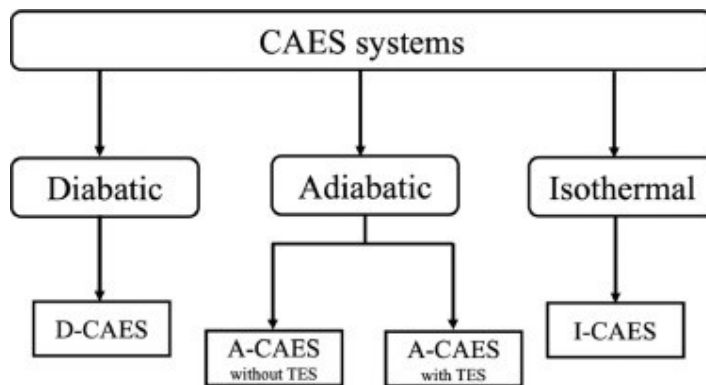
- Vysoké náklady při výstavbě
- Negativní vliv na životní prostředí, včetně změn v ekosystémech a ztráty biodiverzity
- Závislost na vhodné topografii
- Omezená dostupnost lokalit

Dalším typem je sezónní přečerpávací vodní nádrž. Akumulace vody probíhá hlavně z hospodářského důvodu. Využívá se převážně na velkých řekách nebo v oblastech výskytů kanálů, kde je nutno zadržovat vodu při období dešťů nebo na jaře, když taje sníh. Každopádně i tyto nádrže, kromě zadržování vody, slouží k výrobě elektrické energie.

### 2.1.2 Akumulace do stlačeného vzduchu

Akumulace do stlačeného vzduchu (CAES – Compressed air energy storage) pracuje na principu stlačování vzduchu pomocí kompresoru. Následně uvolňuje uloženou energii ve formě stlačeného vzduchu k výrobě elektřiny pomocí expanze skrze vzduchovou turbínu.[8; 9]

Dnes existuje obrovská škála různých konceptů CAES na různých úrovních vývoje. Obecná klasifikace celé skupiny konceptů CAES je znázorněna na obrázku 6.



Obrázek 11 Rozdělení systému CAES[9]

- Adiabatický systém
  - Teplo vzniklé při kompresi neodchází ze systému pryč, ale je uskladněno a využito později v systému
- Diabatický systém
  - Teplo z komprese se odvádí do atmosféry
- Izotermický systém
  - Umožňuje vzduchu dosáhnout vysokého tlaku za konstantní teploty[10]

Celkovou energii ve stlačeném vzduchu určíme ze vzorce:

$$E_{teor} = m i = m c_p T [Ws] \quad (2.3)$$

Kde:

$E_{teor}$  ... je celková teoretická energie ve stlačeném vzduchu [ $kg\ m^2\ s^{-2}$ ]

$E$  ... je celková využitelná energie ve stlačeném vzduchu [ $kg\ m^2\ s^{-2}$ ]

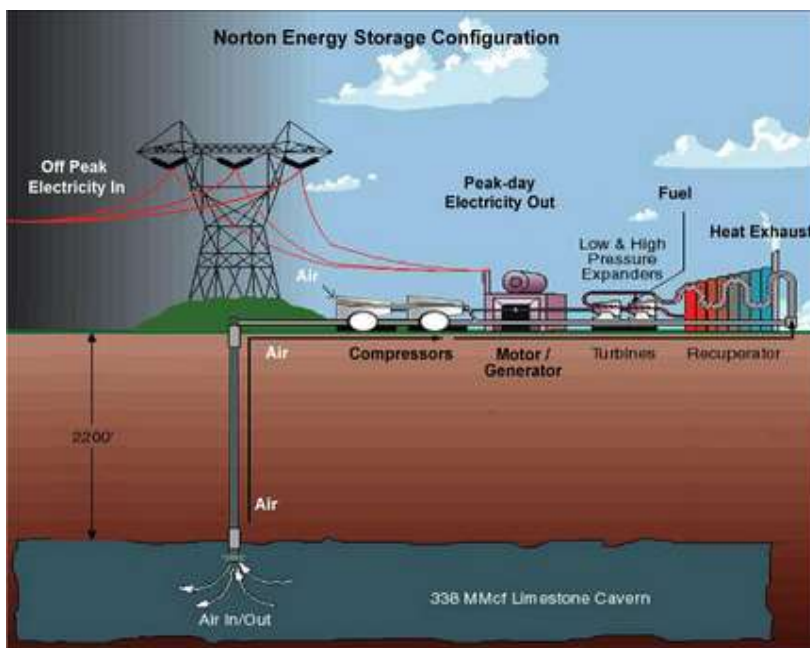
$m$  ... je celková hmotnost vzduchu [ $kg$ ]

$i$  ... je měrná entalpie [ $kJ\ kg^{-1}$ ]

$c_p$  ... je měrná tepelná kapacita [ $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ ]

$T$  ... je teplota vzduchu [ $K$ ]

V České republice zatím neexistuje provoz přečerpávací elektrárny využívající akumulaci do stlačeného vzduchu. Hlavním důvodem jsou geografické podmínky. [11]



Obrázek 12 Schéma diabatického systému CAES [11]

Tabulka 1 Základní technické parametry – CAES [9]

Kategorie	hodnota
Výkon [MW]	50-300
Čas vybíjení [h]	2-30
Životnost [roky]	20-40
Měrná výroba energie [Wh/l]	2-6
Měrný výkon [W/l]	0,2-0,6
Účinnost [%]	40-55 (diabatický) / 70 (adiabatický)
Reakční čas	desítky sekund, 10 min do plného výkonu

### 2.1.3 Akumulace do zkapalněného vzduchu

Princip systémů, které využívají zkapalněný vzduch pro akumulaci elektrické energie, je velmi podobný systémům pracujícím se stlačeným vzduchem. Primárně jsou určeny pro dlouhodobé uchování energie. Jejich výkon dosahuje ke stovkám MW. Při nadbytku elektrické energie v síti je využívána pro ochlazování vzduchu na teplotu, kdy se stává kapalný, poté je uchován a následně je vzduch zahřátím znovu odpařen a jde do plynové turbíny. Výhodou je zužitkování nízko potenciálního tepla, využívá komponenty, které jsou v dnešní době běžné a mají vysokou životnost.

[12]

### 2.1.4 Setrvačníky

Setrvačnické zařízení, které je schopné akumulovat energii do kinetické energie rotoru otáčejícího se kolem vlastní osy.

Setrvačnický (rotor) je založen na principu momentu setrvačnosti. Nejčastěji se točí ve vakuu a se statorem je provázán magnetickým polem. V případě potřeby elektrické energie, může setrvačnický v krátkém čase začít vyrábět elektrickou energii.

Celková kinetická energie v setrvačnicku se vypočítá podle vzorce:

$$E_k = \frac{1}{2} \omega^2 \sum_{i=1}^n m_i m_i^2 = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (2.4)$$

Kde:

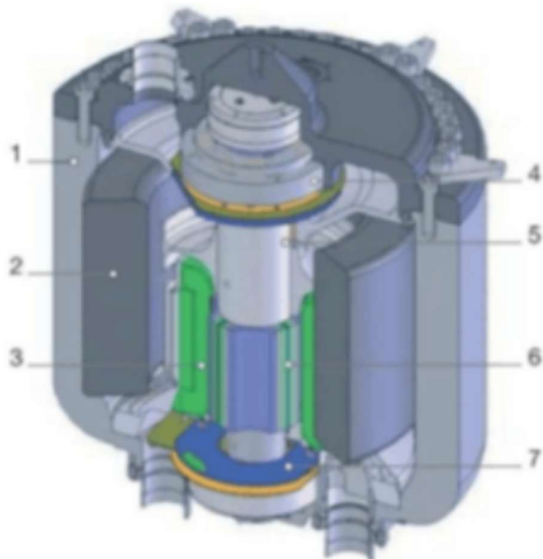
$E_k$  ... je kinetická energie [J]

$J$  ... je moment setrvačnosti těl [ $kg \cdot m^2$ ]

$\omega$  ... je úhlová rychlost [rad/s]

$m_i$  ... je hmotnost  $i$  – téhož hmotného bodu [kg]

V systému, který se pohybuje nebo rotuje, se často díváme na jednotlivé částice (body), které tvoří tento systém. Tyto částice obvykle označujeme indexem  $i$ , který se mění od 1 do  $n$  (kde  $n$  je celkový počet částí v systému). Každý z těchto bodů má své vlastnosti, jako je hmotnost a poloha.



1. Kryt
2. Setrvačnick z uhlíkového sklolaminátu
3. Vinutí statoru
4. Horní ložisko magnetu
5. Podtlakový systém
6. Rotor a budící vinutí
7. Spodní ložisko magnetu

Obrázek 13 Řez setrvačnickem. [62]

Tabulka 2 Základní technické parametry setrvačnicků[13]

kategorie	hodnota
Výkon (MW)	0,001-20
Čas vybíjení (hod)	sec – min
Životnost (cykly)	20 000-100 000
Samovybíjení (%/den)	1,3-100
Měrná výroba energie (Mh/kg)	5-150
Měrný výkon (W/kg)	180-1800
Účinnost (%)	85-95
Reakční čas	<sec

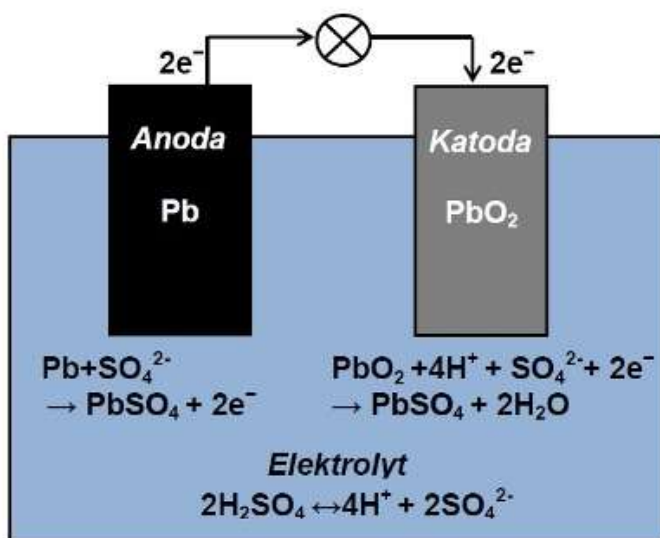
## 2.2 Elektrochemické systémy

Mezi hlavní elektrochemické systémy patří:

1. Olovněné akumulátory
2. Li-on akumulátory
3. Sodíkové akumulátory
4. Průtokové (regenerativní) baterie

### 2.2.1 Olovněné akumulátory

Princip spočívá v tom, že složení katody je  $\text{PbO}_2$ , anody  $\text{Pb}$  a elektrolytu  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Vybíjením se aktivní hmota katody a anody přeměňuje na  $\text{PbSO}_4$  a klesá koncentrace síry v elektrolytu. Elektrolyt může mít formu gelu, kapalnou formu nebo může být nasáknutý do skelné vaty. Jejich jmenovité napětí je 2 V.



Obrázek 14 Olovněný akumulátor  
[63]



Tabulka 3 Základní technické parametry [14]

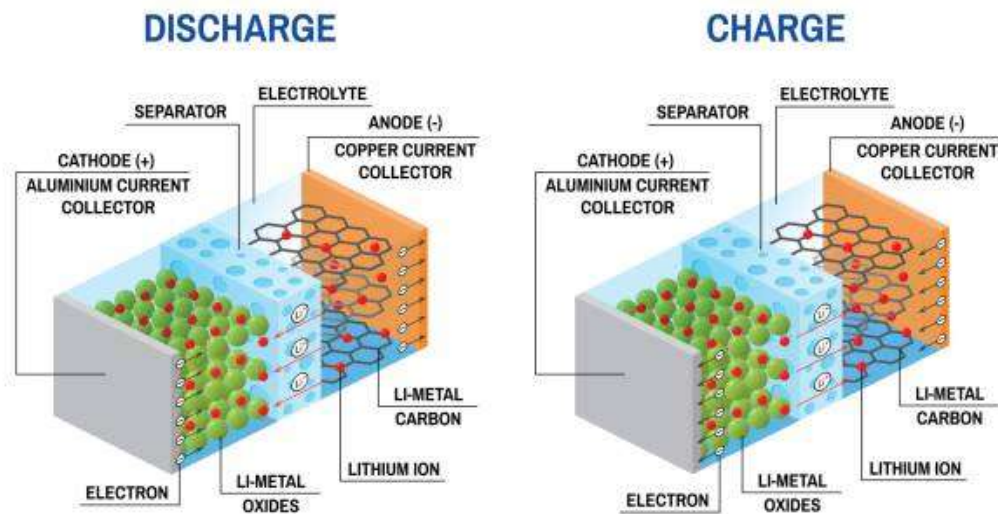
Kategorie	hodnota
Výkon [MW]	0,001 - 100
Čas vybíjení	1 min - 8 hod
Životnost [cykly]	6 - 40
Samovybíjení [%/den]	0,1 - 0,3
Měrná výroba energie [Wh/kg]	80-90
Měrný výkon [W/kg]	180
Účinnost [%]	50-95
Reakční čas	< sec

### 2.2.2 Li-ion akumulátory

Základní princip lithium iontového akumulátoru spočívá v tom, že jsou ionty Li<sup>+</sup> přepravovány mezi katodou a anodou (při vybíjení se ionty pohybují ke katodě a při nabíjení k anodě). Články neobsahují samotné kovové lithium, ale pouze lithiové ionty, které jsou aplikované do struktury jiného materiálu. Pro katodu jsou tímto fosfáty, pro anodu sloučeniny uhlíku (často grafit)

Tyto baterie obsahují kapalný elektrolyt a elektrody jsou umístěny po obvodu článku. Nabíjecí napětí činí 4,2 V na článek, přičemž jmenovité napětí je 3,6 V. Baterie je obalena kovovým pláštěm a má kovovou pojistku, která chrání před přebitím a případným únikem plynů. Díky kovovému plášti jsou tyto akumulátory považovány za bezpečné, protože nejsou snadno narušitelné, a proto se běžně využívají v různých elektronických zařízeních.

# LITHIUM-ION BATTERY



Obrázek 15 Li-ion schéma [64]

Tabulka Základní technické parametry [15]

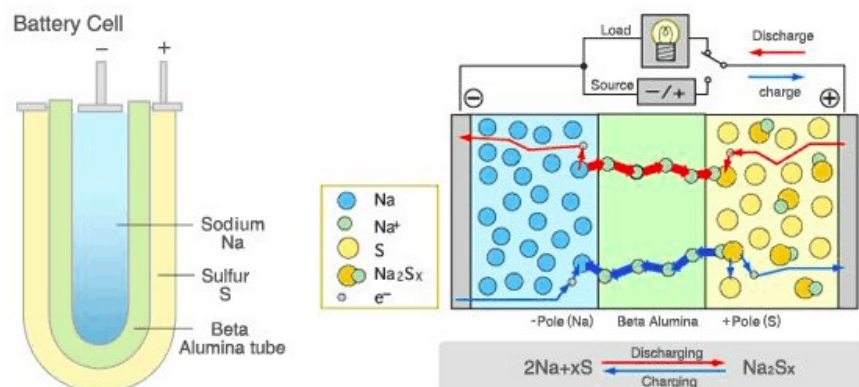
Kategorie	hodnota
Výkon [MW]	0,05 - 100
Čas vybíjení	1 min - 8 hod
Životnost [cykly]	100 - 10 000
Samovybíjení [%/den]	0,1 - 0,3
Měrná výroba [Wh/l]	200 - 400
Měrný výkon [W/l]	1 300 - 10 000
Účinnost [%]	85 - 95
Reakční čas	< sec

### 2.2.3 Sodíkové akumulátory

V sodíkových bateriích je jako katoda použit sodík, síra jako anoda. Tyto dvě elektrody jsou odděleny oxidem sodným, který se zde vyskytuje jako elektrolyt. Skrz tento elektrolyt se dostanou pouze kladné sodíkové ionty. Během vybíjení se ze sodíku, vytvářející elektrolyt, oddělují elektrony, čímž vzniknou vždy kladně nabitě ionty sodíku. Elektrony poté projdou celým obvodem až zpět do baterie, kde jsou zachyceny na kladné elektrodě. Kladné ionty jsou přitahovány ke kladné elektrodě.

Během nabíjení tento proces probíhá přesně obráceně, ovšem nabíjení není tak jednoduché.

Baterie  
hodně  
(>300  
součástí  
systémů



musí být  
zahřátá  
°C), tedy  
těchto  
na

Obrázek 16 Sodíková baterie [16]

akumulaci elektrické energie jsou samostatné ohřívače. I přes tento zápor jsou sodíkové akumulátory využívány. Největší instalace má výkon 34 MW (234 MWh).

Vzhledem k tomu, že je nutno baterii pro znovunabití zahřát, se účinnost pohybuje v mírně nižších číslech než u akumulátorů olovněných a li-ion, nicméně dosahuje až 90 %. [16; 17]

Rovnice chemické reakce probíhající v článku:



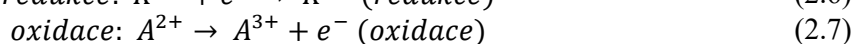
Tabulka 4 Základní technické parametry [16; 17]

Kategorie	Hodnota
Výkon [MW]	10-100
Čas vybíjení	1 min - 8 hodin
Životnost [cykly]	2500-4500
Samovybíjení [%/den]	0,05-20
Měrná výroba energie [Wh/l]	150-300
Měrný výkon [W/l]	120-160
Účinnosti [%]	70-90
Reakční čas	<vteřina

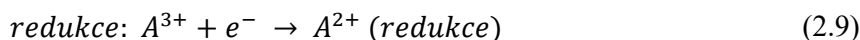
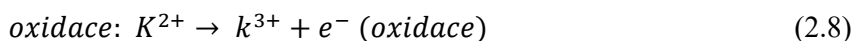
## 2.2.4 Průtokové baterie

Základní konstrukce této baterie se neliší například od NaS baterie, navíc má dvě vnější nádrže elektrolytu (jednu zápornou a druhou kladnou). Pro každou z těchto nádrží je instalováno čerpadlo, které pumpuje elektrolyt do hlavní části baterie. Velikost baterie určuje schopnost poskytnout výkon, zatímco kapacitu určuje velikost akumulací nádrží. Ovšem samotný princip reakce zůstává podobný jako u NaS baterie. Tyto baterie jsou schopny dodávat výkon od menších hodnot J až po výkony ve stovkách MW. Jejich účinnost se pohybuje v rozmezí 60 – 85 %. [18]

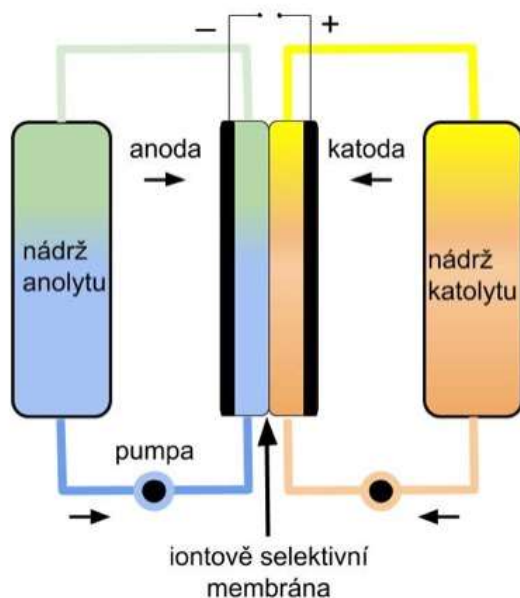
Vybíjení:



Nabíjení:



- K a k označují různé ionty téhož chemického prvku v různých oxidačních stavech
- A označuje další chemický prvek s různým oxidačním stavu



Obrázek 17. Schéma průtokové baterie [18]

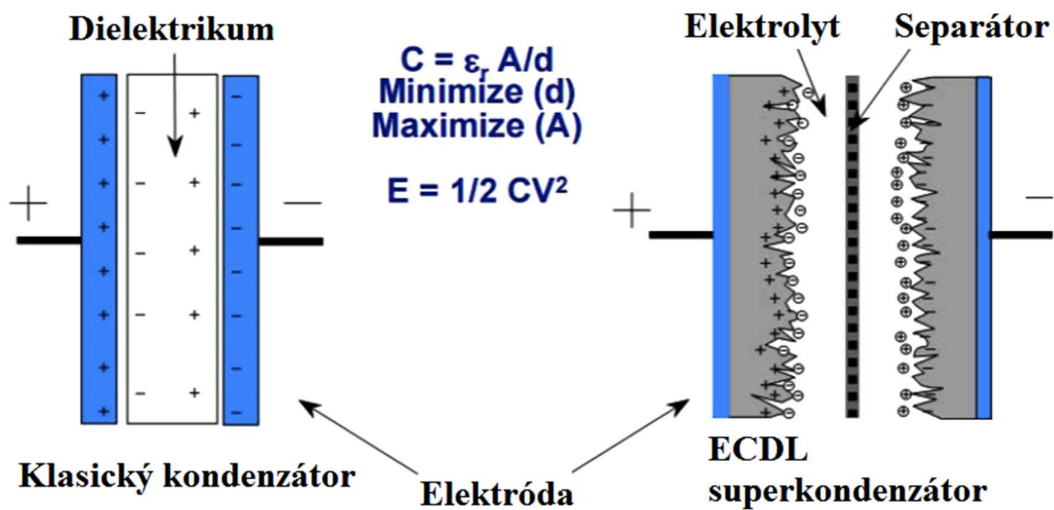
Tabulka 5 Základní technické parametry [19]

Kategorie	hodnota
Výkon [MW]	0,1 - 100
Čas vybíjení	hodiny
Životnost [cykly]	12 000 - 14 000
Samovybíjení [%/den]	0,2
Měrná výroba [Wh/l]	20 - 70
Měrný výkon [W/l]	0,5 - 2
Účinnost [%]	60 - 85
Reakční čas	< sec

## 2.3 Elektrický systém

### 1. Superkapacitory

Superkapacitory se od běžných elektrolytických kondenzátorů liší tím, že zatímco běžný kondenzátor využívá dielektrikum, superkapacitory pracují s elektrolytem. Tento elektrolyt je umístěn mezi dvěma aktivními elektrodami, vytvářející elektrickou vrstvu. Ukládání náboje probíhá na elektrodách přímo pomocí elektrolýzy. Mezi kladně a záporně nabitou částicí je velmi malá vzdálenost, což zvyšuje kapacitu superkapacitoru. Další zvýšení kapacity je dosaženo maximalizací povrchu elektrod, což se dosahuje pomocí uhlíkové pórovité struktury. Mezi oběma elektrodami je velmi tenká vrstva dielektrika. Omezení velikosti napětí superkapacitoru je často určeno odolností jeho dielektrika, což obvykle nepřesahuje 3 V. Překročení této hodnoty by způsobilo elektrický průraz materiálu. [20]



Obrázek 18 Struktura běžného kondenzátoru (vlevo) a superkondenzátoru (vpravo) [20]

Tabulka 6 Základní technické parametry [21]

Kategorie	hodnota
Výkon [MW]	0,01 - 1
Čas vybíjení	ms - min
Životnost [cykly]	10 000 - 100 000
Samovybíjení [%/den]	20 - 40
Měrná výroba [Wh/kg]	10 - 20
Měrný výkon [W/kg]	40 000 - 120 000
Účinnost [%]	80 - 95
Reakční čas	< sec

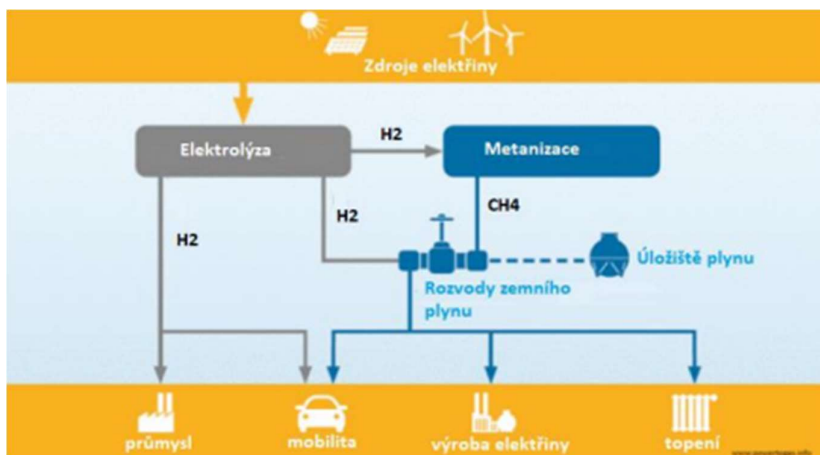
## 2.4 Chemické systémy

Mezi hlavní chemické systémy patří:

1. Syntetická paliva
2. Akumulace do vodíku

### 2.4.1 Syntetická paliva

Tato technologie je blízce spojena s akumulací do vodíku. Vodík je vyráběn elektrolýzou a následně je přepracován na metan. Vodík jako takový není snadno využitelný a je možné jej přidat do existujících rozvodů plynu pouze ve velmi malém množství. Methan nemá takové omezení a může být distribuován do existujících plynovodů. Výroba metanu z vodíku probíhá procesem nazývaným metanizace, což zahrnuje sloučení vodíku a oxidu uhličitého za vysokých teplot a tlaků. Následně lze využít vzniklý metan k opětovné výrobě elektřiny, jak je znázorněno na obrázku 12. [22]



Obrázek 19 Akumulace do SNG schéma[22]

Tabulka 7 Základní technické parametry

Kategorie	hodnota
Výkon [MW]	1 - 100
Čas vybíjení	hodina - týden
Životnost [cykly]	30
Samovybíjení [%/den]	zanedbatelné
Měrná výroba [Wh/l]	1 800 (při 2000 bar)
Měrný výkon [W/l]	0,2 - 2
Účinnost [%]	25 - 50
Reakční čas	sec - min

#### 2.4.2 Akumulace do vodíku

Princip akumulace do vodíku je následující. Během přebytků elektrické energie v síti je elektrina využívána na elektrolýzu, kde se elektrolýzou vody ve vhodném roztoku (nejčastěji soli) vytváří vodík (a kyslík jako vedlejší produkt). Následně může být vodík uchováván ve formě plynu (100 až 300 bar) nebo zkapalněný (20,3 K). Zpětná konverze vodíku na eklektickou energii probíhá v palivových člancích. Detailnější popis je popsán v dalších kapitolách. [22]

## 2.5 VODÍK

Vodík je často považován za budoucí zelené palivo a může být vyráběn různými způsoby.

### 1. Elektrolýza vody

Elektrolýza je proces, kdy elektrický proud prochází vodným roztokem a štěpí vazbu mezi vodíkem a kyslíkem:

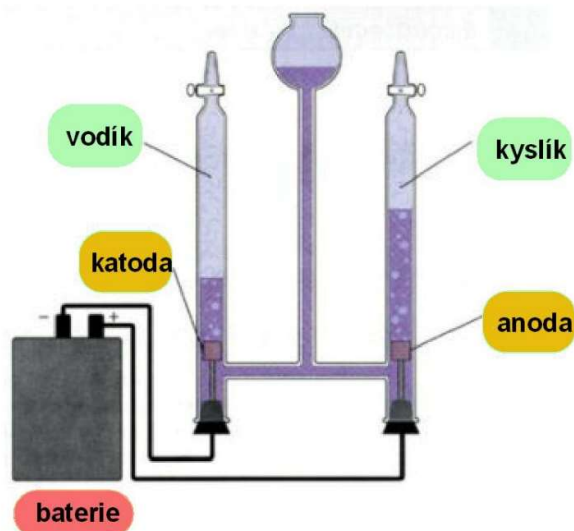


Kladný iont vodíku následně reaguje na katodě za vzniku plynu, který je poté odebrán a skladován. Tento proces probíhá za pokojových teplot a vyžaduje pouze elektrickou energii. Vzniklý vodíkový plyn je čistý a použitelný bez dalšího čištění, což ho činí vhodným pro různé aplikace. Elektrolýza přispívá k přibližně 4 % produkce vodíku, dalšími metodami může být parní reformování zemního plynu, částečná oxidace, termochemické cykly, pyrolýza biomasy nebo biologické procesy. Elektrolýza je preferovaná metoda pro akumulaci elektrické energie do vodíku, díky své komptabilitě s obnovitelnými zdroji, čistotě procesu a flexibilitě. Ostatní metody, jako je parní reformování nebo pyrolýza biomasy, jsou důležité pro současnou výrobu vodíku, ale často nejsou tak udržitelné nebo



čisté jako elektrolyza. [23] Tato metoda umožňuje využití různých zdrojů elektrické energie a zajišťuje vysokou čistotu vodíku. Na druhou stranu náklady na elektrolytickou membránu a náklady na elektrickou energii jsou poměrně vysoké.

elektrolýza



2. Vysokoteplotní

Obrázek 20 Elektrolyza vodíku [65]

Vysokoteplotní elektrolyza je inovativní technologie umožňující výrobu vodíku z vody za vysokých teplot. Může být využita k ukládání a přeměně energie.[24]

Tabulka 8 Základní technické parametry

Kategorie	hodnota
Výkon [MW]	0,01 - 100
Čas vybíjení	minuty - týden
Životnost [cykly]	5 - 30
Samovybíjení [%/den]	0 - 4
Měrný výroba [Wh/l]	600 (při 200 bar)
Měrný výkon [W/l]	0,2 - 20
Účinnost [%]	25 - 45
Reakční čas	sec - min

## 3. Skupenství vodíku

Vodík může existovat ve dvou hlavních fázích: plynné a kapalné. Tyto fáze jsou definovány tlakem a teplotou. Skladování dělíme dle aplikace a formy, ve které se vodík uchovává. Aplikacně lze rozdělit na stacionární a mobilní. Stacionárně skladovaný vodík uchováváme v místech kde ho využíváme, produkuje nebo probíhá provoz generování elektrické energie. V mobilních aplikacích vodík skladujeme v podobě paliva pro automobily nebo v nádržích, které využíváme k transportu.

Další způsob je založen na skupenství, ve kterém skladujeme vodík. Čistý vodík v plynném skupenství skladujeme o vysokých tlacích (100 a více barů). Kapalné skupenství vodíku uchováváme při nízkých teplotách (-253 °C a méně). Vodík můžeme vázat i s jinými sloučeninami (s hydridy). Výhodou vázání je v mírnějších požadavcích na tlak a teplotu skladovaného vodíku. [25]

### 3.1 Plynný vodík:

- Tlak: plynný vodík existuje při nízkých teplotách, obvykle při tlacích nižších než 13,02 bar (1,3MPa)
- Teplota: plynný vodík má teplotu nad bodem varu, který je při normálním tlaku (-253,15 °C nebo 20,28K)
- Využití: plynný vodík se často používá jako zelené palivo pro vodíkové palivové články nebo v průmyslových procesech

### 3.2 Kapalný vodík:

- Kapalný vodík má extrémně nízkou teplotu varu při atmosférickém tlaku, přibližně -252,87 °C
- Má vysokou hustotu energie
- Je to bezbarvá kapalina bez zápachu
- Využití: kapalný vodík se používá pro skladování a přepravu většího množství vodíku na menší prostoru, zejména v raketových palivech a v průmyslových procesech [26]

Tabulka 9 Porovnání uchování plynného a kapalného vodíku [27]

	Plynný vodík	Kapalný vodík
teplota uchování [°C]		-253
Tlak [bar]	200–700	350–700
množství na 1 m <sup>3</sup> [kg]	16,4 – 57-8	70,85 (v závislosti na tlaku)
cena [za kg]	~ 100 Kč	~ 330Kč

Tabulka 10 Energetické vlastnosti vodíku při teplotě 25 °C [16]

Fyzikální stav	Spalné teplo (LHV) [MJ/m <sup>3</sup> ]
Plynný vodík	120
Fyzikální stav	Spalné teplo (LHV) [MJ/Kg]
kapalný vodík	118

## 4. Palivové články

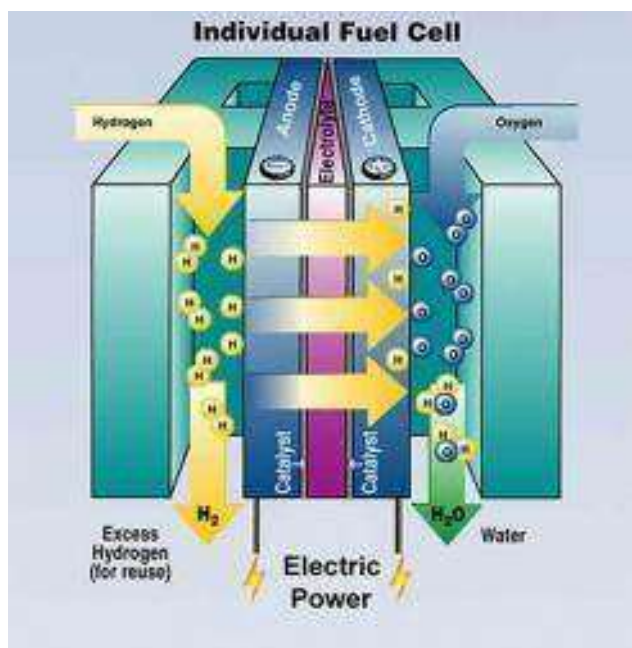
Palivový článek je elektrochemické zařízení, ve kterém se slučují vodíková paliva s kyslíkem a následně dochází ke vzniku elektriny, tepla a vody. Při této metodě nedochází k spalovacímu procesu, tvorbě škodlivých emisí. Jediným vedlejším produktem je čistá voda. [28]

Palivové články fungují jako elektrolýza naruby, kdy požíváme dvě elektrody oddělené elektrolytem. Anoda (záporná elektroda) přijímá vodík a ke katodě (kladná elektroda) je přiváděn kyslík. Katalyzátor na anodě rozděljuje vodík na kladné vodíkové ionty a elektrony. Následně je kyslík ionizovaný a migruje elektrolytem k anodické části, kde se slučuje s vodíkem.

Existuje několik typů palivových článků, které slouží k přeměně vodíku a kyslíku na elektrinu a teplo. Každý z těchto typů má své vlastní výhody, nevýhody a vhodné aplikace.

Palivové články dělíme podle provozní teploty:

- Nízkoteplotní      60-130 °C
- Středněteplotní    160-220 °C
- Vysokoteplotní    600-1050 °C



Obrázek 21 Princip palivového článku [49]

Dále je dělíme podle typu elektrolytu:

#### 4.1 Palivové články s polymerní membránou (PEMFC)

Základním typem palivových článků je využití oddělní anody od katody polymerní membránou. V současnosti se také nazývá Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). Jelikož článek pro oddělení protonů od elektronů využívá polymerní membránu, odpadají problémy se vznikem koroze vyvolané elektrolytem, jediná kapalina vyskytující se v článku je voda. Pro správné udržení článku, musí být membrána vlhká, musí být tedy udržována rovnováha mezi vodou vznikající při reakci a jejím odvodem nebo odparem. [29]

#### 4.2 Palivové články s tuhými oxidy (SOFC)

Tyto články, které jsou na bázi pevných oxidů, pracují při teplotách 800-1000 °C s tlakem kolem 1 baru. Elektrolytem je oxid zirkoničitý stabilizovaný oxidem ytritým, který umožňuje vést kyslíkové ionty od katody k anodě. Využívají se ve dvou variantách, turbulentní a deskové.[30]

### 4.3 Alkalický palivový článek (AFC)

Vzhledem ke konstrukci je jedním z nejjednodušších palivových článků. Využívá elektrolyt tvořený alkalickými kovy (nejčastěji hydroxidem sodným nebo draselným). Hlavní výhodou je využití levnějších katalyzátorů. Avšak největším nedostatkem je náchylnost ke znečištění elektrolytu oxidem uhličitým, proto musí být čistota paliva velmi vysoká. [29]

### 4.4 Palivové články s elektrolytem tvořeným kyselinou fosforečnou (PAFC)

Palivové články s elektrolytem tvořeným kyselinou fosforečnou patří mezi středně teplotní články, pracovní teplota těchto článků se pohybuje kolem 170-250°C. Elektrolytem je kyselina fosforečná a výkon může dosáhnout až 11 MW.

### 4.5 Palivové články s roztavenými uhličitany (MCFC)

Tyto palivové články se řadí mezi vysokoteplotní s teplotami mezi 600-650 °C o tlaku 1-10 baru. Elektrolytem je směs roztaveného uhličitanu lithia a uhličitanu draselného, která pomocí kapilárních silám fixována v matrici z hlinitanu lithia. Tato směs je schopna vést uhličitánové ionty od katody k anodě. [30; 27]

Tabulka 11Výhody a omezení systémů palivových článků [28; 31]

druh palivového článku :		PEMFC			
způsob použití	teplota článku	účinnost	Výhody	omezení	stupeň vývoje
pro přenosné a stacionární použití, pro automobilový průmysl	50 - 100 °C	35 - 60 %	kompaktní provedení, dlouhá životnost, rychlý náběh, pokročilý vývoj	drahý katalyzátor, palivo potřebuje vysoké chemické čistoty, složitá regulace teploty a množství vody	vysoká úroveň vývoje, komerčně dostupné

druh palivového článku:		SOFC			
způsob použití	teplota článku	účinnost	Výhody	omezení	stupeň vývoje
pro dosažení středního a velkého výkonu	700 - 1000 °C	60%	nízké náklady na palivo, možnost využívání zemního plynu, vysoká účinnost	vysoká teplota způsobující korozi, dlouhý náběh, krátká životnost	poměrně pokročilý vývoj (méně jak PEMFC), dostupné pro stacionární aplikace, ale využití je menší kvůli vysokým provozním teplotám

druh palivového článku:		DMFC			
způsob použití	teplota článku	účinnost	Výhody	omezení	stupeň vývoje
pro přenosné, mobilní a stacionární použití	40 - 60 °C	20%	běží na methanol	pomalá odezva, nízká účinnost	stále se vyvíjí se

druh palivového článku:		AFC			
způsob použití	teplota článku	účinnost	Výhody	omezení	stupeň vývoje
Ve vesmíru, vojenství, u ponorek, v dopravě	90 - 100 °C	60%	Nízké náklady na díly a provoz, žádný kompresor, vysoká reakční rychlost	Velký rozměr, velký důraz na čistotu vodíku a kyslíku	poměrně pokročilá úroveň vývoje, avšak méně dostupné pro komerční aplikace

druh palivového článku:		PAFC			
způsob použití	teplota článku	účinnost	Výhody	omezení	stupeň vývoje
Pro dosažení středního a velkého výkonu	150 - 200 °C	40%	dobrá odolnost vůči nečistotám v palivu, kogenerace	nízká účinnost, omezená životnost, drahý katalyzátor	poměrně pokročilá úroveň vývoje, avšak méně dostupné pro komerční aplikace

druh palivového článku:		MCFC			
způsob použití	teplota článku	účinnost	Výhody	omezení	stupeň vývoje
pro dosažení velkého výkonu	600 - 700 °C	45 - 50 %	vysoká účinnost, není vázán na jedno palivo, kogenerace	vysoká teplota způsobující korozi, dlouhý náběh, krátká životnost	poměrně pokročilá úroveň vývoje, avšak méně dostupné pro komerční aplikace

## 5. Elektrolyzéry

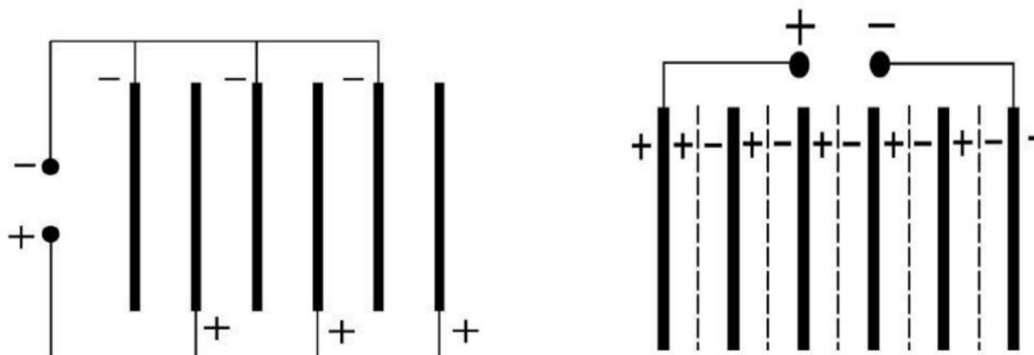
Elektrolyzér je zařízení, ve kterém probíhá elektrolyza. Skládá se z nádoby, elektrolytu (buď je tekutý, nebo pevný) a dvou elektrod. Existuje několik typů elektrolyzérů, které jsou v současnosti používány. Dva nejběžnější jsou alkalické elektrolyzéry a PEM (Proton-Exchange-Membrane) elektrolyzér. Elektrolyzér využívá elektrickou energii k rozdělení vody na vodík a kyslík.

Elektrolyza je v současnosti nejběžnějším způsobem výroby vodíku s vysokou čistotou (99,99 %) a to díky vysoké účinnosti a rychlé dynamické odezvě. [32]

### 5.1 Alkalický elektrolyzér

Nejstarší a zároveň nejjednodušší způsob elektrolyzy vody. Princip je založen na tom, že elektrody jsou ponořené do vodného roztoku elektrolytu. K oddělení vznikajících plynů se využívá polopropustná membrána.

U alkalických elektrolyzérů rozlišujeme monopolární a bipolární zapojení. U monopolárního zapojení připojíme elektrody jako katodu, resp. anodu. U bipolárního zapojení se zapojují pouze krajní elektrody, napětí se rozdělí na elektrody mezi nimi, tím se stávají bipolární. [33]



Obrázek 22 Monopolární (vlevo) a bipolární (vpravo) zapojení elektrolyzéro [34]

### 5.2 PEM

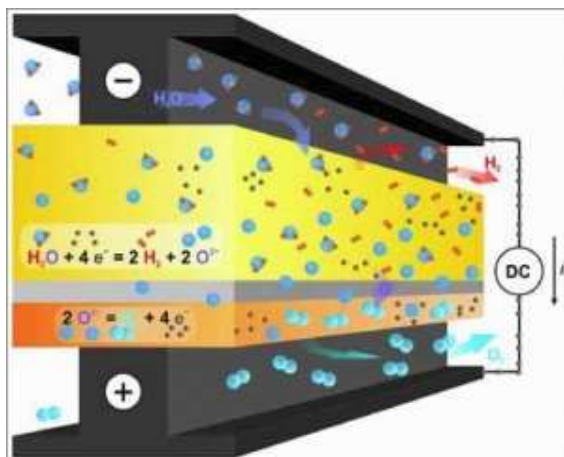
elektrolyzér

PEM (Proton Exchange Membrane) elektrolyzér pracuje s pevným elektrolytem obsahujícím protonově výměnnou membránou (PEM). Oproti alkalické elektrolyze přivádíme vodu na anodu, kde se rozpadá na  $H^+$  (protony) a  $OH^-$ . PEM propouští pouze protony, odvádí  $H^+$  ionty od anody ke katodě, kde přijímá elektron a spojují se do molekul  $H_2$ . [34]

### 5.3 Elektrolyza za vysoké teploty

Probíhá při vysokých teplotách (kolem 600-1000 °C) což nám umožňuje dodávat energii potřebnou na rozklad vody ve formě tepla. Na vstupu se používá pára s přibližně 10 % vodíku.

Na výstupu obohacená směs s 90% hmotnosti vodíku. Elektrolyt je využíván na bázi keramiky, kdy plní funkci separátoru (průchozí je pouze pro ionty kyslíku) [35]



Obrázek 23Vysokoteplotní elektrolýza [35]

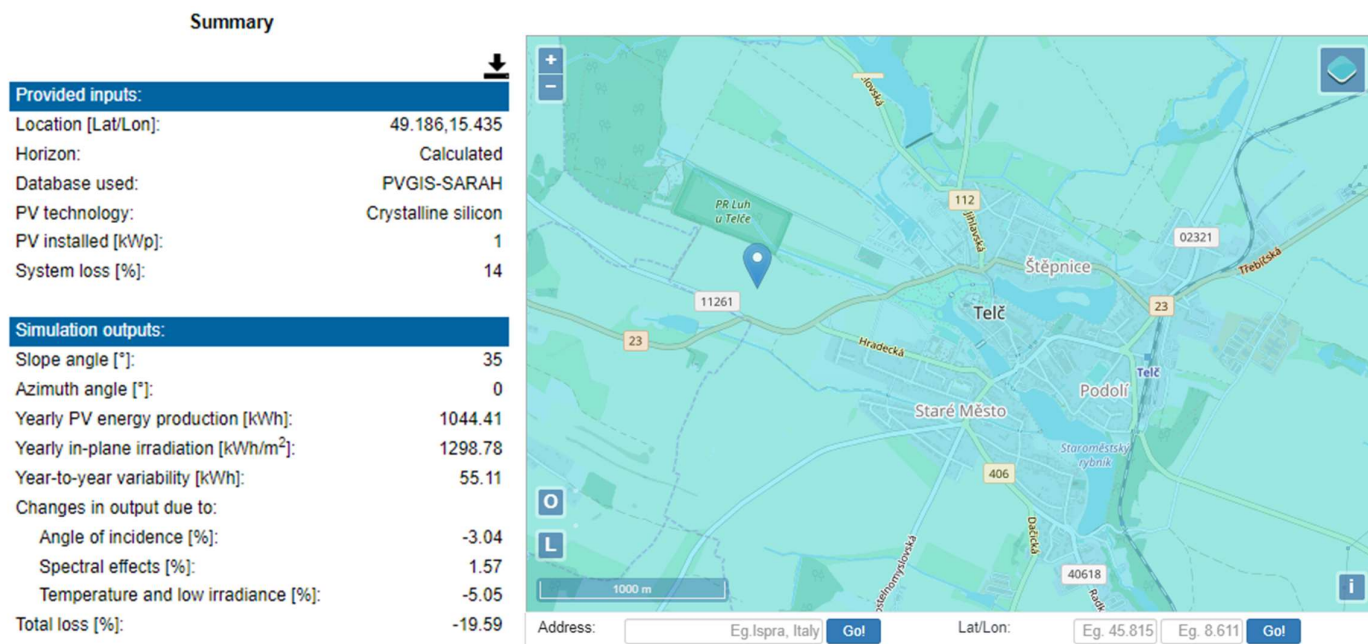
## 6.NÁVRH FVE A AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE DO VODÍKU



Cílem praktické části práce je navrhnout systém s vybraným zdrojem obnovitelné energie společně s akumulací v bilanci s teoretickými hodnotami odběru elektrické energie. V mém případě jsem jako obnovitelný zdroj energie zvolil fotovoltaickou elektrárnu a řešení se bude cílit na výrobu a akumulaci elektrické energie s časovým průběhem spotřeby elektrické energie.

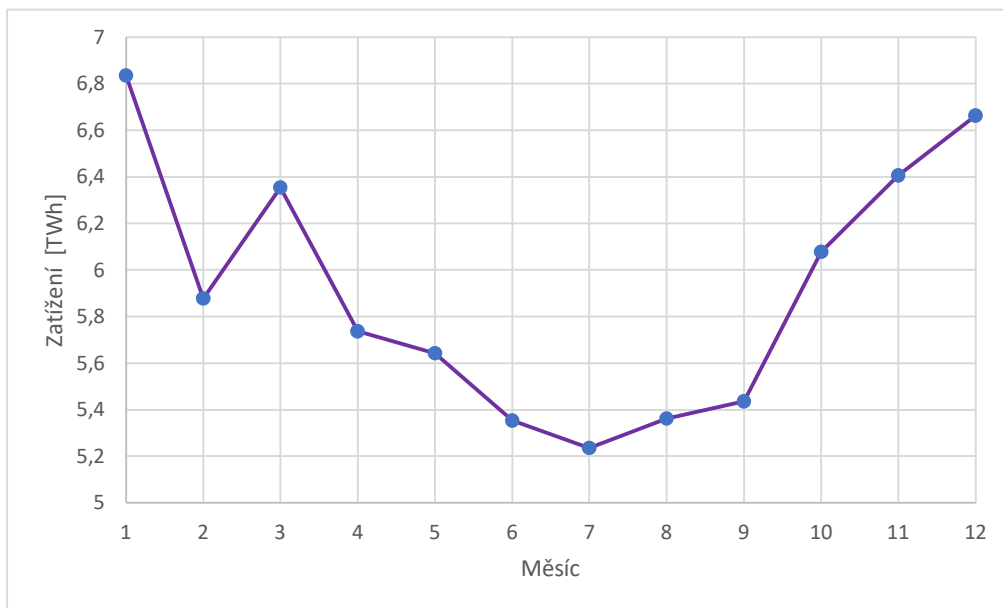
## 6.1 Výběr lokality a fotovoltaické elektrárny

Pro účely této práce byla vybrána fotovoltaická elektrárna umístěná na otevřené louce u města Telč. Tuto lokalitu jsem zvolil na základě několik faktorů, mezi které patří geografické umístění, dostupnost slunečního záření a dostatek prostoru pro instalaci fotovoltaických panelů. Město Telč se nachází v kraji Vysočina, kde jsou podmínky pro instalaci fotovoltaických panelů velmi příznivé. Tuto lokalitu jsem zadal do systému PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [36], kde jsem si následně nechal vygenerovat potřebné informace a grafy. Důležitým faktorem pro tuto práci je parametr dostupnosti slunečního záření, což je množství energie dopadající na jednotku plochy za jednotku času.[37; 38] Hodnota solární konstanty ve vrchní části atmosféry se blíží k 1 300 W/m<sup>2</sup> [39]. Při průchodu atmosférou je část záření odražena nebo absorbována, proto reálná hodnota slunečního záření na povrchu země dosahuje nižší hodnoty, a to konkrétně necelých 1 050 W/m<sup>2</sup>. [37]



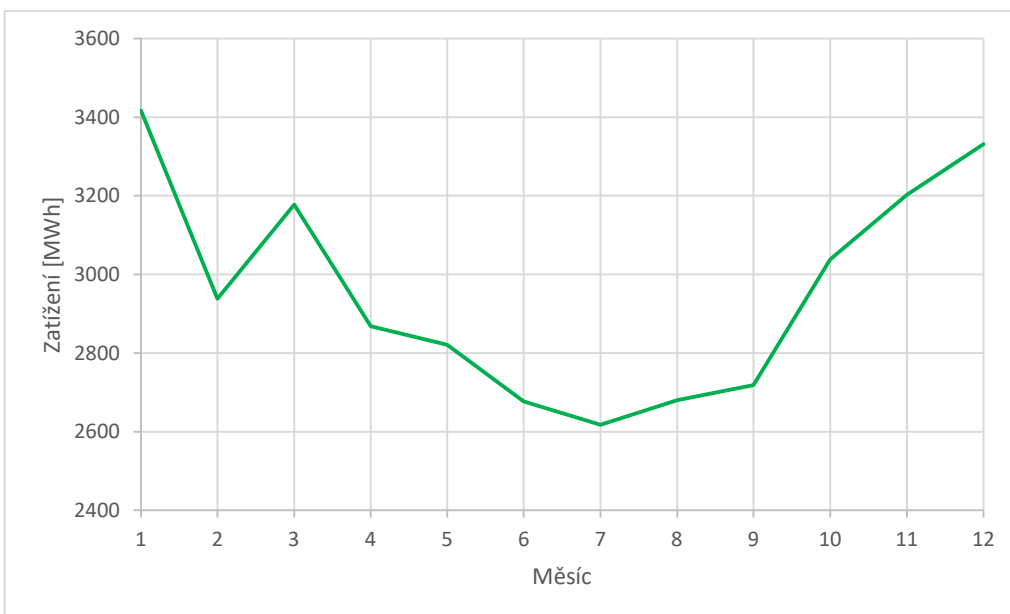
Obrázek 24 Umístění fotovoltaické elektrárny u města Telč

V prvním kroku je potřeba učit roční zatížení elektrické energie. To využiji z webových stránek České elektroenergetické přenosové soustavy.[40] Z dat získaných z webové stránky jsem vytvořil přehledný graf.



Obrázek 25 Graf zatížení během roku

Vzhledem k tomu, že znázorněna data zobrazují celkové zatížení na území České republiky, hodnoty zatížení přepočítám pro město Telč, a to v poměru 1:2000. Hodnoty zatížení tedy zhruba odpovídají typickému odběru pro 5 250 obyvatel ( $10\,500\,000 / 2000 = 5250$ ). Tato úměra je pouze odhad, reálné hodnoty zatížené mohou být značně ovlivněny většími podniky.



Obrázek 26 Graf zatížení během roku v Telči

Pomocí tohoto webu České elektroenergetické přenosové soustavy jsem si nechal zobrazit hodinová data roční zatíženího, od března 2016 do konce února 2017, která jsem využil v dalších krocích k bilanci instalovaného výkonu fotovoltaických panelů a pro návrh skladování vodíku.

### 6.3 Návrh fotovoltaické elektrárny

Dalším krokem si musím zvolit fotovoltaický systém, který využiji pro svou elektrárnu. Zvolil jsem fotovoltaický sluneční panel, označení Risen Energy 410 Wp s černým rámem [39]. Má následující vlastnosti:

- Jmenovitý výkon: 410 Wp
- Rozměry: 1754 x 1096 x 30 mm
- Hmotnost: 21,0 kg
- Počet článků: 120 (5x12 + 5x12)
- Jmenovitý napětí: 34,89 V
- Jmenovitý proud: 11,76 A
- Maximální účinnost: 21,3 % [39]
- Plocha jednoho panelu:

$$plocha\ jednoho\ panelu = 1,754 * 1,096 = 1,922\ m^2 \quad (6.1)$$

Pro stanovení produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů byly zvoleny následující panely:

- Plocha panelů: plocha, na které jsem zvolil umístění fotovoltaických panelů má 37,6919 hektarů (376 919 m<sup>2</sup>), tuto plochu jsem zvolil na základě předchozích průběžných výpočtů tak, aby odpovídala potřebě Telče.
- Počet panelů na 37,6919 hektarů:

$$\text{počet panelů} = \frac{376\,919}{1,922} = 196\,107,7 \approx 196\,108 \text{ panelů} \quad (6.2)$$

Tomuto počtu panelů odpovídá celkový instalovaný výkon:

$$\text{celkový výkon} = 196\,108 * 410 = 80\,404,28 \text{ kW} \quad (6.3)$$

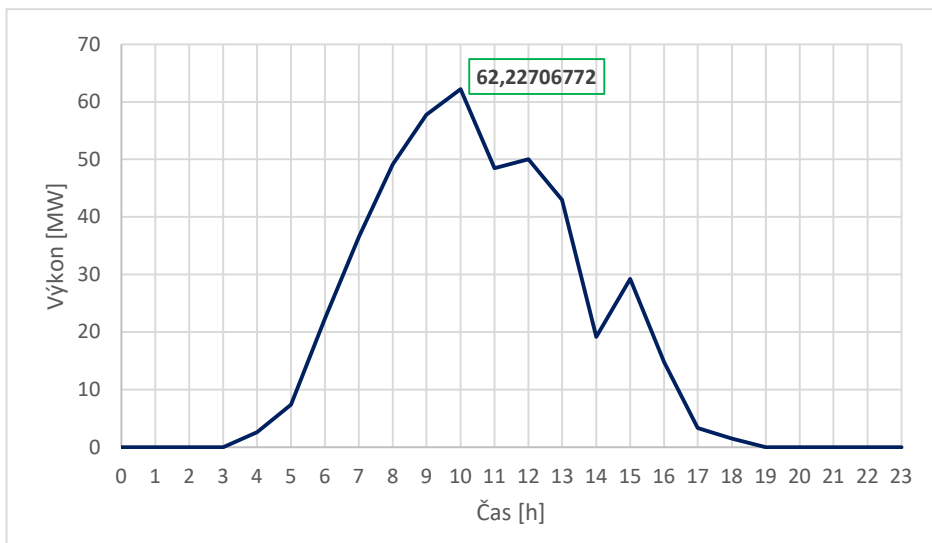
## 6.4 Denní bilance akumulace

Hlavní podmínkou pro vytvoření fotovoltaické elektrárny pro moji práci je, abych za celkový rok produkce měl dostatek elektrické energie k zajištění elektřiny pro město Telč, ale zároveň aby se co největší část této elektrické energie využila a nezůstaly mi přebytky.

Proto jsem využil vygenerované roční zatížení, které jsem si přepočítal pro Telč (opět v poměru 1:2000) a data energie z PVGIS od března 2016 do února 2017 k určení bilance elektrické energie.

Denní produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů závisí na denním cyklu a ročním období.

Největší hodnoty vyrobené elektrické energie, v mém zvoleném období, dosáhlo v červenci. Konkrétně 5. července 2016. Hodnota činila 62,23 MW v 10 hodin.

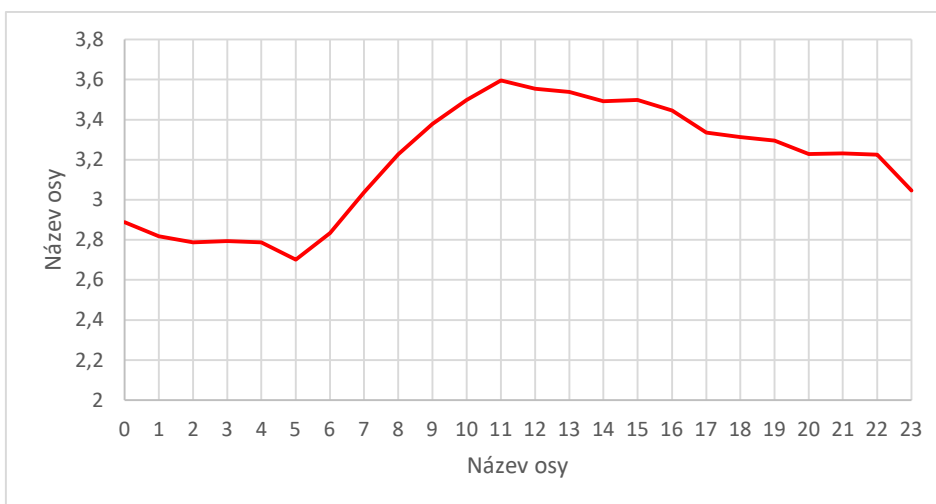


Obrázek 27 Výkon ze dne 5. července 2016

Pro můj zvolený den vypadá výroba elektrické energie následovně:

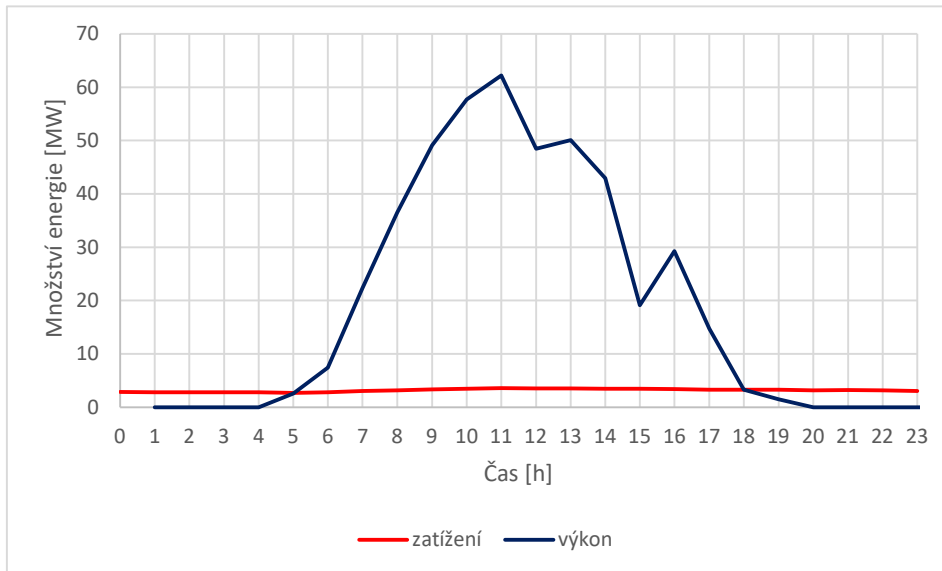
- Ráno (4:00 – 8:00): 15,4% denní produkce
- Dopoledne (8:00 – 12:00): 48,6 % denní produkce
- Poledne (12:00 – 15:00): 25,1 % denní produkce
- Odpoledne (15:00 – 18:00): 10,6 % denní produkce
- Večer (18:00 – 21:00): 0,3 % denní produkce

Graficky jsem znázornil také zatížení ve stejný den, tedy 5. července 2016



Obrázek 28 Zatížení elektrické energie ze dne 5. července 2016

Pro porovnání a přehlednost jsem tyto dva grafy spojil do jednoho.



Obrázek 29 Graf zatížení a výkonu

Tabulka 12 Hodnoty rozdílů průměrného zatížení a výkonu v jednotlivých hodinách

Hodina	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Výkon	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58	7,42	22,32	36,51
Zatížení	2,89	2,82	2,79	2,79	2,79	2,70	2,83	3,04
Rozdíl [MW]	-2,89	-2,82	-2,79	-2,79	-0,20	4,72	19,49	33,48

Hodina	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
Výkon	49,09	57,71	62,23	48,46	50,07	42,96	19,15	29,23
Zatížení	3,23	3,38	3,50	3,60	3,55	3,54	3,49	3,50
Rozdíl [MW]	45,86	54,33	58,73	44,86	46,52	39,42	15,66	25,73

Hodina	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00
Výkon	14,77	3,32	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zatížení	3,44	3,34	3,31	3,30	3,23	3,23	3,23	3,05
Rozdíl [MW]	11,33	-0,01	-1,82	-3,30	-3,23	-3,23	-3,23	-3,05

V tabulce 13 můžeme vidět rozdíly výkonu fotovoltaické elektrárny a zatížení v Telči v jednotlivých hodinách dne 5. července 2016.

## 6.5 Roční bilance akumulace

Celkový instalovaný výkon využiji pro zjištění roční výroby PV energie na portálu PVGIS, kdy využiji funkci pro optimalizaci sklonu a azimutu.

Souhrn

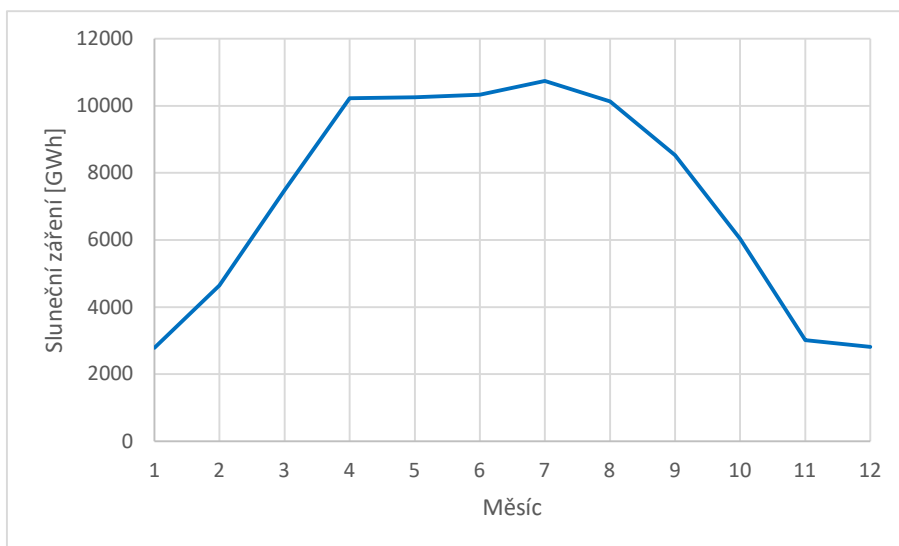
Poskytnuté vstupy:	
Umístění [ Lat / Lon ]:	49, 186, 15, 435
Horizont:	Vypočítaný
Použitá databáze:	PVGIS-SARAH2
FV technologie:	Krystalický křemík
FV instalováno [kWp]:	80404.28
Ztráta systému [%]:	14

Simulační výstupy:	
Úhel sklonu [°]:	37 ( opt )
Úhel azimutu [ ° ]:	-3 ( opt )
Roční výroba FV energie [kWh]:	86991516.57
Roční ozařování v letadle [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1351, 92
Meziroční variabilita [ kWh ]:	4347121.08
Změny výstupu v důsledku:	
Úhel výskytu [%]:	-3
Spektrální efekty [%]:	1,59
Teplota a nízké ozaření [%]:	-5,57
Celková ztráta [%]:	-19, 97

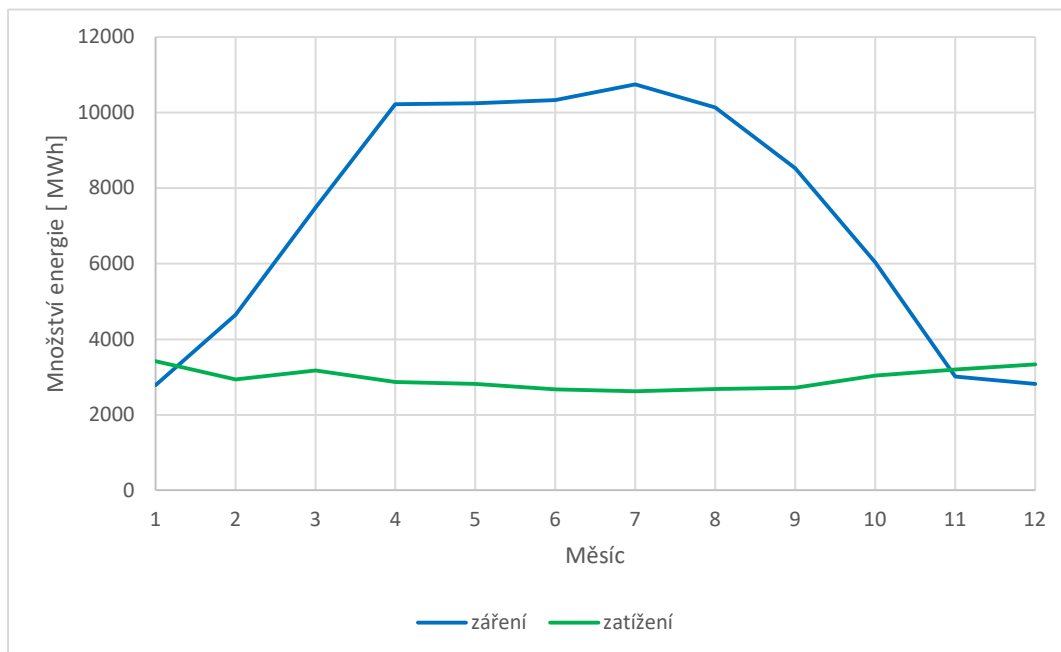
Obrázek 30 Roční výroba energie

Hodnota roční produkce energie je rovna 86 991,517 MWh  $\approx$  86,99 GWh. Data slunečního záření ze systému PVGIS jsem vynesl do grafu. Z něj můžeme vyčíst, že největšího slunečního svitu bylo dosaženo v červenci a nejmenší v lednu.



Obrázek 31 Množství energie vyrobené v jednotlivých měsících

Pro znázornění jsem spojil graf ročního zatížení v Telči (obrázek 15) a graf slunečního záření (obrázek 20).



Obrázek 32 Graf slunečního záření a zatížení

Z grafů lze vyčíst, že po většinu roku je produkce vyšší než zatížení, což nám umožní akumulovat přebytečnou elektrickou energii do akumulátoru pro využití v měsících, kdy bude produkce nižší než zatížení. Může se zdát, že díky výroba, která je po většinu měsíců vyšší než spotřeba, je FVE předimenzovaná. Je nutné ale zohlednit nerovnoměrný denní průběh výroby elektrické energie a pokrytí noční potřeby z akumulace.

V prvním kroku určím přebytek elektrické energie, kterou budu vyrábět během letních měsíců. Jedná se o hodnoty, které získám z rozdílů vyrobené elektrické energie a spotřebované elektrické energie v jednotlivých měsících a následným sečtením vypočítaných rozdílů. Pro účely toho výpočtu považuji za ‚letní měsíce‘ ty měsíce, které mají kladný rozdíl výše uvedených hodnot, naopak ‚zimní měsíce‘ jsou se záporným rozdílem.



Tabulka 13 Hodnoty rozdílu vyrobené elektrické energie a zatížení

Měsíc	1	2	3	4	5	6
Výroba	2786,443	4649,357	7486,259	10221,85	10249,03	10328,67
Zatížení	3417,304	2938,555	3177,401	2868,552	2821,322	2676,672
Rozdíl [MWh]	-630,861	1710,802	4308,858	7353,294	7427,703	7652

Měsíc	7	8	9	10	11	12
Výroba	10742,1	10133,43	8526,758	6033,538	3012,78	2821,309
Zatížení	2617,727	2680,706	2718	3038,98	3202,92	3331,52
Rozdíl [MWh]	8124,373	7452,723	5808,758	2994,559	-190,14	-510,211

Pro zjištění přebytku elektrické energie sečtu rozdíly jednotlivých letních a zimních měsíců. Výsledné hodnoty následně od sebe odečtu.

Tabulka 14 Celkový rozdíl hodnot za letní a zimní semestry

součet letních měsíců	51122,27
součet zimních měsíců	379,59
Celkový rozdíl [MWh]	51501,86

## 6.6 Návrh palivového článku

Zvolil jsem palivový článek Ballard FCmove™-HD. Tento palivový článek je navržen pro vysoký výkon a dlouhodobou životnost, což podle mého názoru jej činí ideálním pro integraci do vodíkové elektrárny.

Parametry palivového článku:

- Maximální výkon: 70 kW
- Účinnost: 50-60 %

- Hmotnost: cca 200 kg
- Dlouhá životnost
- Navržen pro provoz v širokém rozsahu teplot [41]

## 6.7 Návrh pro skladování vodíku

Pro můj projekt jsem zvolil vysokotlakou kompresovanou vodíkovou nádrž. Příkladem může být Linde High-pressure Composite Hydrogen Tanks.

- Tlak: až 700 baru
- Variabilní kapacita
- Navržena s ohledem na bezpečnost a minimalizaci rizik úniku vodíku [42]

Dalším příkladem může být Hexagon Composites:

- Tlak: 350-700 baru
- Kapacita se dá přizpůsobit podle potřeb
- Pokročilé bezpečnostní materiály a technologie pro minimální rizika úniku vodíku [43]

# 7. Ekonomická analýza

## 7.1 Fotovoltaická elektrárna

Pro ekonomickou analýzu fotovoltaických solárních panelů využiji výpočet plochy jednoho panelu viz rovnice (7.1) a počet panelů viz rovnice (7.2), kdy celkový počet panelů, které budu potřebovat pro mojí elektrickou elektrárnu je 196 108 panelů.

Cena jednoho panelu, který jsem si vybral [39] je 1 900 Kč včetně DPH.  
Proto celková cena 196 108 fotovoltaických solárních panelů je 372 605 200Kč.

Důležitou součástí vybavení elektrárny je i střídač, který musí mít celkový výkon stejný nebo mírně vyšší než celkový výkon všech panelů. Můj celkový výkon odpovídá 80 404,28 kW, proto určím centrální střídač SAM Sunny Central 2500-EV [44].

- Výkon: 2,5 MW
- Účinnost: 98,5%
- Maximální vstupní napětí: 1500 V

$$\begin{aligned} \text{Počet střídačů} &= \frac{\text{Potřebný celkový výkon}}{\text{výkon střídače}} = \frac{80,40428}{2,5} & (7.1) \\ &= 32,16 \approx 33 \text{ střídačů} \end{aligned}$$

Cena tohoto střídače prakticky nejde vyhledat, každopádně za předpokladu, že by v cenách střídačů platila přímá úměrnost, tak využiji cenu menšího střídače, konkrétně SMA Sunny Boy 2.5 [45], který má výkon 2,5 kW a stojí 22 275 Kč.

Proto cenu určím 1000násobkem ceny střídače SMA Sunny Boy 2.5, který má 1000x menší výkon.

$$\text{Cena 1 střídače} = 22\,275 \cdot 1000 = 22\,275\,000 \text{ Kč} \quad (7.2)$$

$$\text{Cena 33 střídačů} = 22\,275\,000 \cdot 15 = 735\,075\,000 \text{ Kč} \quad (7.3)$$

Náklady na instalaci panelů činí 5 500 Kč na kW. [46] Tudíž cena instalace pro můj celkový instalovaný výkon vychází 442 223 540 Kč. Celkové náklady na instalaci fotovoltaických panelů činí 1 549 903 740 Kč.

## 7.2 Návrh elektrolyzéro

Tento elektrolyzér je schopen produkovat až 500 kg vodíku denně, což odpovídá přibližně 16,5 MWh energie denně (pro energetickou hustotu vodíku 33,3 kWh/kg)

Přibližná cena tohoto jednoho elektrolyzéro je 70 milionů Kč.[47]

Účinnost elektrolyzéro je 70-80 %.

Specifikace:

- Výroba vodíku: až 200 Nm<sup>3</sup>/h
- Spotřeba energie: 4,4 kW/Nm<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{Dimenzování elektrolyz\u011bru} & & (7.4) \\
 &= \text{nejvyšší dosažený výkon} \\
 &- \text{spotřeba v tuto dobu}
 \end{aligned}$$

Nejvyšší dosažený výkon byl v roce 2016 dosažen dne 5. července v 10 hodin dopoledne a to 62,22707 MW, zároveň v tento čas bylo zatížení 3,49805 MW.

$$\begin{aligned}
 \text{Dimenzování elektrolyz\u011bru} &= 62,22707 - 3,49805 & (7.1) \\
 &= 58,72902 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Můj elektrolyzér vyrobí 16,5 MWh energie denně, což odpovídá průměrnému výkonu 0,69375 MW (16,5/24 hodin = 0,69375).

$$\begin{aligned}
 \text{celkový počet elektrolyz\u011br\u016f} &= \frac{58,72902}{0,69375} = 84,65 & (7.2) \\
 &\approx 85 \text{ elektrolyz\u011br\u016f}
 \end{aligned}$$

Celkové náklady na elektrolyzéry vychází 5 950 000 000 Kč.

### 7.3 Palivové články [48]

Cena palivového článku je těžko dohledatelná, každopádně podle jednoho zdroje se cena pohybuje kolem 1 000 000 Kč za 1MW [49]. Moje požadovaná kapacita bude odpovídat zatížení, které je největší po celý rok. Z mých hodnot to odpovídá 5. lednu 2016 v 17 hodin. V tento čas je zatížení 5,8843 MW v Telči.

$$5,8843 * 1\,000\,000 = 5\,884\,300 \text{ Kč} \quad (8.6)$$

### 7.4 Skladování vodíku [50]

Cena nádrží je pro mě prakticky nedohledatelná, každopádně cena skladování vodíku se pohybuje kolem 235,268 Kč[51] za 1 kg skladovací kapacity. Z celkové výkonu, účinnost

Potřebné množství vodíku zjistím z úvahy, že v den, kdy je produkce elektrické energie z FVE stejná jako spotřeba mám prázdné zásobníky (viz graf 18), od této doby je potřeba akumulace. Potřebnou kapacitu zjistím jako kumulativní součet ukládané energie ve dnech ze vztahů:

$$\begin{aligned}
 \text{Množství vodíku} & & (7.3) \\
 &= (\text{vyrobená energie z FVE} \\
 &\quad - \text{spotřebovaná energie}) \\
 &\quad * \text{celková účinnost elektrolýzy}
 \end{aligned}$$

Pro návrh vhodné technologie akumulace je třeba vycházet z rozdílu mezi produkcí a spotřebou elektrické energie v průběhu dne. Pokud je během dne přebytek produkce, je třeba tento přebytek akumulovat a využít ho v době, kdy produkce není dostatečná.

Pro stanovení ztrát při konverzi a skladování vodíku využijí vztah:

$$\begin{aligned}
 \text{Celková účinnost elektrolýzy} & & (7.4) \\
 &= \text{účinnost skladování} \\
 &\quad * \text{účinnost zpět na elektrickou energii}
 \end{aligned}$$

1. Skladování a doprava vodíku: ztráty při skladování a dopravě vodíků jsou různé, obecně se pohybují kolem 10 % [27]
2. Konverze zpět na elektrickou energii: účinnost palivových článků nebo spalování vodíku pro výrobu elektrické energie je přibližně 40-50 %. To znamená, že z každých 100 kWh energie ve formě vodíku se získá zpět 40-50 kWh elektrické energie [35]

Kombinovaná účinnost celého procesu, když využijí střední hodnoty:

$$\text{Celková účinnost elektrolýzy} = 0,9 * 0,5 = 0,45$$

Tímto způsobem jsem sečetl všechny dny.

Celkové množství vodíku potřebné k akumulaci je 558 810,54kg.

Roční investiční náklady na tlakové nádoby by činily 131 470 238,2 Kč.

## 7.5 Provozní náklady

Údržba fotovoltaické elektrárny zahrnuje několik klíčových aktivit, které jsou nezbytné pro zajištění jejího dlouhodobého a efektivního provozu. Mezi hlavní údržbové činnosti patří:

- Oprava a údržba zařízení
- Čištění solární panelů
- Úprava vegetace
- Pojištění
- Bezpečnostní opatření

Roční náklady na údržbu mnou zvolenou fotovoltaiku se můžou měnit v závislosti na cenách materiálu či pojištění, poruchovosti fotovoltaiky, případně na počasí, které ovlivňuje růst vegetace a zašpinění solárních panelů. Z celkového hlediska odhaduji 5 % cenu z nákladu na instalaci fotovoltaiky. V tu chvíli by to činilo 55 384 010 Kč.

Údržba vodíkového akumulátoru zahrnuje specifické činnosti spojené s výrobou, skladováním a konverzí vodíku zpět na elektrickou energii:

- Oprava a údržba elektrolyzérů
- Údržba skladovacích nádrží
- Údržba palivových článků
- Bezpečnostní opatření

Podle mého názoru roční náklady na údržbu elektrolyzérů budou procentuálně o něco větší než za fotovoltaické panely, odhaduji kvůli ceně jednoho akumulátoru ve srovnání s cenou jednoho fotovoltaického panelu. Proto si pro mé výpočty určím 10 % z celkové ceny elektrolyzérů, s úvahou, že v této ceně je zahrnuta cena palivových článků a tlakových nádob. To by pro můj případ vycházelo 73 500 000 Kč za rok.

Celkové investiční náklady pro mou elektrárnu činí 7 637 258 278 Kč a celkové roční náklady 128 884 010 Kč.

## 7.6 Roční zisk

Nyní můžeme vypočítat celkový roční zisk a návratnost investiční částky, kterou jsme investovali.

Hodnota roční produkce energie je rovna:

$$86\,991\,517 \frac{kWh}{rok}$$

Cena za kWh je průměrně 3,97 Kč[52].

$$\begin{aligned} \text{celková cena} &= \text{roční produkce} * \text{cena 1 kWh} & (7.8) \\ &= 86\,991\,517 * 3,97 = 345\,356\,322,5 \text{ Kč/rok} \end{aligned}$$

Návratnost by nám vycházela:

$$\begin{aligned} \text{Roční zisk} &= \text{celková cena} & (7.9) \\ &\quad - \text{roční náklady na fotovoltaiku a elektrolyzér} \\ &\quad - \text{roční náklady na skladování vodíku} \end{aligned}$$

$$345\,356\,322,5 - 128\,884\,010 - 131\,470\,238,2 = 85\,002\,074,3 \text{ Kč}$$

Tento akumulátor by nám zajistil potenciální zisk kolem 48,6 milionů Kč a celkové investiční náklady by se nám vrátily do 90 let ( $7\,637\,258\,278 / 85\,002\,074,3 = 89,84$ ), za předpokladu spousta faktorů, jako jsou stejná cena po celou dobu, zachování průměrné denní produkce elektrické energie a za předpokladu, že nebude žádná porucha na panelech ani akumulátoru. Je však důležité doplnit, že solární panely mají obvykle životnost 25-30 let, během níž dochází k postupnému snižování jejich účinnosti, obvykle 0,5-1 % ročně. Střídače, které mění stejnosměrný proud z panelů na střídavý proud mají životnost kolem 10-15 let a mohou vyžadovat výměnu během provozní doby elektrárny. Je nezbytné také reflektovat časovou hodnotu peněz, což zahrnuje použití diskontního faktoru a výpočet čisté současné hodnoty (NPV – Net Present Value). Diskontní faktor umožňuje zohlednit, že peníze dnes mají větší hodnotu než peníze v budoucnu, což je klíčové pro dlouhodobé investiční rozhodování v oblasti fotovoltaiky.

## 8. Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřila na efektivitu akumulace elektrické energie do vodíku s využitím fotovoltaické elektrárny jako obnovitelného zdroje energie. Pro lokalitu Telč byla vybrána fotovoltaická elektrárna o rozloze 37,6919 hektarů, která byla dimenzována na roční produkci přibližně 86 991 517 kWh elektrické energie

K dosažení efektivního ukládání této energie byl vybrán vodíkový akumulátor Nel Hydrogen A1000 Atmospheric Alkaline Electrolyzer, který je schopen produkovat až 16,5 MWh energie denně.

Investiční náklady na fotovoltaickou elektrárnu činily přibližně 1 549 903 740 Kč, zatímco náklady na elektrolyzéry činí 5 950 000 000 Kč.

Celková účinnost systému akumulace do vodíku byla vypočítána jako přibližně 45 % což ukazuje, že z každých 100 kWh uložených do vodíku lze získat zpět přibližně 45 kWh elektrické energie. I přes relativně nižší účinnost nabízí tato technologie významné výhody, jako je dlouhodobé skladování energie a možnost využití přebytečné energie z obnovitelných zdrojů.

Z ekonomické analýzy vyplývá, že roční produkce energie přinese při průměrné ceně 3,97 Kč/kWh výnos přibližně 345 356 322,5 Kč. Po zohlednění ročních nákladů na údržbu a provoz, skladování konverzí vodíku lze očekávat roční zisk přibližně 85 002 074 Kč. Investiční náklady na celý projekt by se tedy mohly vrátit do 95 let, což z projektu činí prakticky neproveditelným z ekonomického hlediska. Jeden z hlavních faktorů je, že životnost fotovoltaický panelů v dnešní době dosahuje 25-30 let.[53]

Pro zlepšení výkonnosti solární elektrárny jednou z možností by bylo přidat zařízení, které by umožnilo měnit úhel solárního panelu tak, aby byl co nejúčinnější k dopadu slunečních paprsků v co nejdélejší část denní doby. Také by mohlo více profitovat lepší umístění, s tím že bychom změnili a teoreticky i zlepšili časový průběh výroby elektrické energie v rámci dne.

V případě, že by byl záměr akumulovat solární energii v Telči z pohledu ekonomického hlediska, bylo by výhodnější ukládat energii do vhodnějších akumulátorů – např. baterií.



# Seznam použité literatury

- [ Výhody a nevýhody obnovitelných zdrojů. *REDSIDE FUND MANAGEMENT* [online]. 2021 [cit. 1 2024-03-19]. Dostupné z: [https://www.redsidefunds.com/cs/blog/novinky/vyhody-a-nevyhody-](https://www.redsidefunds.com/cs/blog/novinky/vyhody-a-nevyhody-obnovitelnych-zdroju)  
] obnovitelných-zdroju
- [ *OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V ČR* [online]. Brno, 2011 [cit. 2023-12-04]. Dostupné z:  
2 [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=40770](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40770). Bakalářská práce.  
] VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Libor Chroboczek.
- [ Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *OENERGETICE.cz* [online]. 2015 [cit.  
3 2024-04-02]. Dostupné z: [https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrany-princip-cinnosti-](https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrany-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni)  
] zakladni-rozdeleni
- [  
4 *Typy turbín* [online]. [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/12.html>  
]
- [ Geotermální energie. *OENERGETICE.cz* [online]. 2015 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z:  
5 <https://oenergetice.cz/elektrina/geotermalni-energie>  
]
- [ Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *OENERGETICE.cz*  
6 [online]. 2017, 6.2.2017 [cit. 2024-07-18]. Dostupné z: [https://oenergetice.cz/obnovitelne-](https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody)  
] zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody
- [ *Využití přečerpávací vodní elektrárny v krátkodobé přípravě a operativním provozu*. Praha, 2015.  
7 Diplomová práce. ČVUT fakulta elektrotechnická.  
]
- [ A reserve capacity model of AA-CAES for power system optimal joint energy and reserve  
8 scheduling. *ScienceDirect* [online]. 2018 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z:  
] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061518309992>
- [ Compressed Air Energy Storage. *Energy Systems and Energy Storage Lab* [online]. 2019 [cit.  
9 2024-04-01]. Dostupné z: <http://www.eseslab.com/ESsensePages/CAES-page>  
]
- [ *Ukládání energie do stlačeného a zkapalněného vzduchu*. Praha, 2021. Bakalářská práce. ČVUT  
0 fakulta strojní.  
]
- [ FirstEnergy would generate power with compressed air and natural gas. *Cleveland.com* [online].  
1 2009, 23.11.2009 [cit. 2024-07-18]. Dostupné z:  
1 [https://www.cleveland.com/business/2009/11/firstenergy\\_corp\\_would\\_generat.html](https://www.cleveland.com/business/2009/11/firstenergy_corp_would_generat.html)  
]
- [ *Akumulace energie zkapalňováním vzduchu*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České Vysoké Učení  
2 Technické v Praze Fakulta elektrotechnická.  
]
- [  
1 A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies. *MDPI* [online]. 2023 [cit. 2024-05-  
3 27]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6462#>  
]
- [ Lead batteries for utility energy storage: A review. *ScienceDirect* [online]. 2018 [cit. 2024-05-  
1 27]. Dostupné z:  
4 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X17304437?via%3Dihub>  
]

- [  
1 Lithiové akumulátory. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2024-05-27]. Dostupné z: [https://oze.tzb-](https://oze.tzb-5 info.cz/akumulace-elektřiny/13612-lithiove-akumulatory)  
5 info.cz/akumulace-elektřiny/13612-lithiove-akumulatory  
]
- [  
1 Sodíkové baterie - konstrukce, princip činnosti a aplikace. *OENERGETICE.cz* [online]. 2015 [cit. 1  
2024-03-25]. Dostupné z: [https://oenergetice.cz/elektřina/sodikove-baterie-konstrukce-princip-](https://oenergetice.cz/elektřina/sodikove-baterie-konstrukce-princip-6 cinnosti-a-aplikace)  
6 cinnosti-a-aplikace  
]
- [  
1 Sodíkové Baterie Jsou Cenově Výhodnější Než Lithium-Iontové Baterie. *QH* [online]. 2023 [cit. 1  
2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.lifepo4-energy.cz/sodium-ion-batteries-cost-advantage/>  
7 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.lifepo4-energy.cz/sodium-ion-batteries-cost-advantage/>  
]
- [  
1 Průtokové baterie před prahem singularity: část 1. *HYBRID.cz* [online]. 2019 [cit. 2024-04-08].  
8 Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/prutokove-baterie-pred-prahem-singularity-cast-1/>  
]
- [  
1 Effect of Regenerative Braking on Battery Life. *MDPI* [online]. 2023 [cit. 2024-05-27]. Dostupné  
9 z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/14/5303>  
]
- [  
2 *Využití superkapacitorů pro napájení elektrokola*. Plzeň, 2015. Bakalářská práce. Západočeská  
0 Univerzita v Plzni Fakulta Elektrotechnická.  
]
- [  
1 Supercapacitor Technical Guide. In: *Supercapacitor Technical Guide* [online]. 2020 [cit. 2024-  
2 05-27]. Dostupné z: [https://www.cde.com/resources/downloads/files/20201214\\_](https://www.cde.com/resources/downloads/files/20201214_Supercapacitor-1 Technical-Guide.pdf)  
1 Technical-Guide.pdf  
]
- [  
2 *Akumulace elektrické energie a její využití v distribuční síti*. Praha, 2018. Diplomová práce. České  
2 Vysoké Učení Technické v Praze.  
]
- [  
2 *Elektrolýza vody jako budoucnost pro akumulaci elektřiny* [online]. 2023 [cit. 2024-07-18].  
3 Dostupné z: [https://www.eon.cz/byznys-energie/elektrolyza-vody-jako-budoucnost-akumulace-](https://www.eon.cz/byznys-energie/elektrolyza-vody-jako-budoucnost-akumulace-2 elektřiny/)  
3 elektřiny/  
]
- [  
2 Vysokoteplotní elektrolýza: „čistá“ výroba vodíku s možností zpětné konverze.  
2 *Technickyportal.cz* [online]. 2016 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z:  
4 [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/vysokoteplotni-elektrolyza-](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/vysokoteplotni-elektrolyza-1 cista-vyroba-vodiku-s-moznosti-zpetne-konverze_35526.html)  
] cista-vyroba-vodiku-s-moznosti-zpetne-konverze\_35526.html  
]
- [  
2 Hydrogen storage and delivery: Review of the state of the art technologies and risk and reliability  
5 analysis. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2019 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z:  
] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919309656>  
]
- [  
2 Vodík: Nejlehčí prvek je největší výzva. *OENERGETICE.cz* [online]. 2021 [cit. 2024-04-01].  
6 Dostupné z: <https://oenergetice.cz/vodik/vodik-nejlehci-prvek-nejvetsi-vyzva>  
]
- [  
2 Skladování vodíku. *HYDRORACE4SCHOOLS* [online]. 2019 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
7 <https://hydro-race.eu/Skladov%C3%A1n%C3%AD-vod%C3%ADku>  
]

- [  
2 Jak fungují palivové články? *Tzbinfo* [online]. 2018 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
8 <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>  
]
- [  
2 Palivové články – princip funkce a dělení. *OENERGETICE.cz* [online]. 2015 [cit. 2024-04-07].  
9 Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni>  
]
- [  
3 *PALIVOVÉ ČLÁNKY - ALTERNATIVNÍ ZDROJ ELEKTRICKÉ ENERGIE*. Brno, 2008.  
0 Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.  
]
- [  
3 Palivové články. In: *Ústav Jaderného Výzkumu Řež, a.s. Divize jaderné bezpečnosti a energetiky*  
3 [online]. Praha: Ústav Jaderného Výzkumu Řež, 2002, s. 78 [cit. 2024-05-12]. Dostupné z:  
1 <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>  
]
- [  
3 HYDROGENICS, shift power, energize your world. *Accelera by Cummins* [online]. 2022 [cit.  
2 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.accelerazero.com/>  
]
- [  
3 Industrial water electrolysis: Present and future. *International Journal of Hydrogen Energy*  
3 [online]. 1983 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z:  
3 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0360319983901623>  
]
- [  
3 *VÝROBA VODÍKU ELEKTROLÝZOU A MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI*. Brno, 2017.  
4 Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.  
]
- [  
3 Vysokoteplotní elektrolyza: „čistá“ výroba vodíku s možností zpětné konverze.  
3 *Technickyportal.cz* [online]. 2016 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z:  
5 [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/vysokoteplotni-elektrolyza-cista-vyroba-vodiku-s-moznosti-zpetne-konverze\\_35526.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/vysokoteplotni-elektrolyza-cista-vyroba-vodiku-s-moznosti-zpetne-konverze_35526.html)  
]
- [  
3 FOTOVOLTAICKÝ GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM. *FOTOVOLTAICKÝ*  
3 *GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM* [online]. 2007 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
6 [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#api\\_5.1](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.1)  
]
- [  
3 *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. - [cit. 2024-05-13].  
7 Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#api\\_5.1](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.1)  
]
- [  
3 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ. *Techmania Science Center* [online]. 2007 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z:  
8 <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/slunecni-zareni>  
]
- [  
3 Fotovoltaický solární panel Risen Energy 410Wp černý rám. *Nej panely* [online]. - [cit. 2024-05-  
3 20]. Dostupné z: [https://www.nejpanely.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-risen-410wp-cerny-ram/?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw6auyBhDzARIsALIo6v9d70pq-CBXNM\\_MExABKdl\\_0IyOZBWZGedJwx5Vg2Ksp5d3z5dsNmcaAIH7EALw\\_wcB](https://www.nejpanely.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-risen-410wp-cerny-ram/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw6auyBhDzARIsALIo6v9d70pq-CBXNM_MExABKdl_0IyOZBWZGedJwx5Vg2Ksp5d3z5dsNmcaAIH7EALw_wcB)  
9  
]
- [  
4 České elektroenergetické přenosové soustavy. *České elektroenergetické přenosové soustavy*  
0 [online]. - [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/data#Load>  
]

- [  
4 Ballard FCmove™-HD. *Ballard* [online]. - [cit. 2024-05-31]. Dostupné z:  
1 [https://www.ballard.com/about-ballard/publication\\_library/product-specification-](https://www.ballard.com/about-ballard/publication_library/product-specification-sheets/fcmovetm-spec-sheet)  
] [sheets/fcmovetm-spec-sheet](https://www.ballard.com/about-ballard/publication_library/product-specification-sheets/fcmovetm-spec-sheet)
- [  
4 Think Hydrogen. Think Linde. *Linde Engineering* [online]. - [cit. 2024-05-31]. Dostupné z:  
2 <https://www.linde-engineering.com/en/hydrogen/index.html>  
]
- [  
4 Hexagon Composites Hydrogen Tanks. *HEXAGON PURUS* [online]. - [cit. 2024-05-31].  
3 Dostupné z: <https://hexagonpurus.com/our-solutions/mobility/fuel-storage-systems>  
]
- [  
4 Sunny Central. *SMA Solar Technology AG*. [online]. - [cit. 2024-06-18]. Dostupné z:  
4 <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-central-2200-2475>  
]
- [  
4 Sít'ový střídač SMA Sunny Boy 2.5. *Helion.cz* [online]. - [cit. 2024-06-18]. Dostupné z:  
5 <https://eshop.helion.cz/solarni-menic-sma-sunny-boy-2-5/>  
]
- [  
4 Cena fotovoltaiky na rodinný dům v roce 2024. *SMART PHOENIX renewable energy* [online]. -  
6 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: [https://www.smartphoenix.cz/poradna/cena-fotovoltaiky-na-](https://www.smartphoenix.cz/poradna/cena-fotovoltaiky-na-rodinny-dum-v-roce-2023#Konzultace)  
] [rodinny-dum-v-roce-2023#Konzultace](https://www.smartphoenix.cz/poradna/cena-fotovoltaiky-na-rodinny-dum-v-roce-2023#Konzultace)
- [  
4 Press release: Nel launches the A1000 electrolyzer. *Nel Elektrolyser* [online]. - [cit. 2024-05-29].  
7 Dostupné z: [https://nelhydrogen.com/press-release/press-release-nel-launches-the-a1000-](https://nelhydrogen.com/press-release/press-release-nel-launches-the-a1000-electrolyzer/)  
] [electrolyzer/](https://nelhydrogen.com/press-release/press-release-nel-launches-the-a1000-electrolyzer/)
- [  
4 PROGRESS IN Hydrogen and Fuel Cells. *PROGRESS IN Hydrogen and Fuel Cells* [online]. 2023  
8 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: [https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/progress-](https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/progress-hydrogen-fuel-cells-2023.pdf)  
] [hydrogen-fuel-cells-2023.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/progress-hydrogen-fuel-cells-2023.pdf)
- [  
4 Fuel Cells And The IoE. *SEMICONDUCTORENGINEERING* [online]. 2016 [cit. 2024-05-27].  
9 Dostupné z: <https://semiengineering.com/fuel-cells-and-the-ioe/>  
]
- [  
5 Hydrogen Storage Cost Analysis. *Hydrogen Storage Cost Analysis* [online]. 2022 [cit. 2024-05-  
5 29]. Dostupné z: [https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/review22/st235\\_](https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/review22/st235_houchins_2022_p-pdf.pdf?Status=Master)  
] [houchin](https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/review22/st235_houchins_2022_p-pdf.pdf?Status=Master)  
] [s\\_2022\\_p-pdf.pdf?Status=Master](https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/review22/st235_houchins_2022_p-pdf.pdf?Status=Master)
- [  
5 Startuje první komerční elektrolyzér. Nabídne zelený vodík. *Seznam zprávy* [online]. 2023 [cit.  
1 2024-06-28]. Dostupné z: [https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-byznys-trendy-](https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-byznys-trendy-analyzy-zeleny-vodik-na-startu-v-napajedlech-se-rozjel-prvni-komercni-elektrolyzer-238931)  
] [analyzy-zeleny-vodik-na-startu-v-napajedlech-se-rozjel-prvni-komercni-elektrolyzer-238931](https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-byznys-trendy-analyzy-zeleny-vodik-na-startu-v-napajedlech-se-rozjel-prvni-komercni-elektrolyzer-238931)
- [  
5 Energie123.cz. *Energie123.cz* [online]. - [cit. 2024-05-25]. Dostupné z:  
2 <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>  
]
- [  
5 Jaká je životnost fotovoltaických panelů, jak se recyklují solární panely a kdo je zodpovědný za  
3 likvidaci fotovoltaiky? *Energosolar* [online]. 2024, 12.03.2024 [cit. 2024-07-16]. Dostupné z:  
3 [https://www.energosolar.cz/zivotnost-fotovoltaickych-panelu-recyklace-likvidace-fve-](https://www.energosolar.cz/zivotnost-fotovoltaickych-panelu-recyklace-likvidace-fve-fotovoltaiky/)  
] [fotovoltaiky/](https://www.energosolar.cz/zivotnost-fotovoltaickych-panelu-recyklace-likvidace-fve-fotovoltaiky/)

- [  
5 *VLIVY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN NA KVALITU ELEKTRICKÉ ENERGIE*. Brno, 2008.  
4 Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.  
]
- [  
5 Větrná turbína – základní rozdělení. *Ekokutil.cz* [online]. 2010 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
5 <https://ekokutil.cz/vetrna-turbina-princip-rozdeleni-popis/>  
]
- [  
5 Peltonova turbína. *O turbínách* [online]. 2010 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
6 <https://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>  
]
- [  
5 Vodní turbíny. *Vodní turbíny* [online]. 2008 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
7 <https://www.soje.cz/storage/user-76/module-349/vodni-turbiny-15501545730php6cpldt.pdf>  
]
- [  
5 *FOTOVOLTAICKÝ GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM* [online]. [cit. 2024-07-18].  
5 Dostupné z:  
8 [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html?lat=&lon=&startyear=&endyear=&raddataba se=&angle=&browser=&outputformat=&userhorizon=&usehorizon=1&js=1&select\\_database\\_month=PVGIS-SARAH2&mstartyear=2016&mendyear=2016&selectrad=1&mangle=35](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html?lat=&lon=&startyear=&endyear=&raddataba se=&angle=&browser=&outputformat=&userhorizon=&usehorizon=1&js=1&select_database_month=PVGIS-SARAH2&mstartyear=2016&mendyear=2016&selectrad=1&mangle=35)  
]
- [  
5 Hybridní fotovoltaický systém. *SOLARENVI* [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
9 <https://www.solarenvi.cz/a-7-hybridni-fotovoltaicky-system.html>  
]
- [  
6 VĚDA A TECHNIKA V POZADÍ ČINNOST PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNY. *Techmania*  
0 *Science Center* [online]. [cit. 2024-07-18]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/663>  
]
- [  
6 Přečerpávací vodní elektrárny v České republice. *OENERGETICE.cz* [online]. 2017 [cit. 2024-  
6 04-01]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrarny-v-ceske-republice>  
1  
]
- [  
6 Rotační záložní zdroje elektrické energie - motorgenerátor a setrvačnick. *OENERGETICE.cz*  
2 [online]. 2016 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/rotacni-zalozni-zdroje-elektricke-energie-motorgenerator-setrvacnik>  
]
- [  
6 Víte, jak funguje baterie? *Proelektrotechniky.cz* [online]. 2012 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
3 <https://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/17.php>  
]
- [  
6 *Stock ilustrace Schéma li-ion baterie* [online]. 2017 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z:  
6 <https://www.istockphoto.com/cs/vektor/sch%C3%A9ma-li-ion-baterie-gm825367806-133778177>  
4  
]
- [  
6 Domácí pokusy z chemie. *ZŠ Letohrad* [online]. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z:  
5 <https://www.zsletohrad.cz/eu/chemie/pokus10.htm>  
]

# Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma moderní větrné elektrárny pracující na vztakovém principu[54].....	10
Obrázek 2 Vertikální a horizontální větrná turbín[55].....	11
Obrázek 3 Výroba a výkon větrných elektráren v jednotlivých letech[3] .....	11
Obrázek 4 Princip Peltonovy turbíny [4; 56; 56; 56].....	12
Obrázek 5 Princip Francisovy turbíny[4].....	13
Obrázek 6 Princip Kaplanovi turbíny [57].....	13
Obrázek 7 Měsíční odhad slunečního ozáření v Dejvicích v Praze za rok 2016 [58] .....	14
Obrázek 8 Hybridní fotovoltaický systém s akumulací a záložním zdrojem[59].....	15
Obrázek 9 Jednoduchá přečerpávací vodní nádrž [60].....	18
Obrázek 10 Parametry přečerpávacích vodních elektráren v ČR[61].....	19
Obrázek 11 Rozdělení systému CAES[9].....	20
Obrázek 12 Schéma diabatického systému CAES [11].....	21
Obrázek 13 Řez setrvačником. [62].....	23
Obrázek 14 Olovněný akumulátor [63] .....	24
Obrázek 15 Li-ion schéma [64] .....	26
Obrázek 16 Sodíková baterie [16] .....	27
Obrázek 17 Schéma průtokové baterie [18].....	28
Obrázek 18 Struktura běžného kondenzátoru (vlevo) a superkondenzátoru (vpravo) [20].....	30
Obrázek 19 Akumulace do SNG schéma[22].....	31
Obrázek 20 Elektrolýza vodíku [65].....	33
Obrázek 21 Princip palivového článku [49] .....	36
Obrázek 22 Monopolární (vlevo) a bipolární (vpravo) zapojení elektrolyzéro [34] .....	39
Obrázek 23 Vysokoteplotní elektrolýza [35].....	40
Obrázek 24 Umístění fotovoltaické elektrárny u města Telč.....	41
Obrázek 25 Graf zatížení během roku .....	42
Obrázek 26 Graf zatížení během roku v Telči .....	43
Obrázek 27 Výkon ze dne 5. července 2016.....	45
Obrázek 28 Zatížení elektrické energie ze dne 5. července 2016 .....	45
Obrázek 29 Graf zatížení a výkonu.....	46
Obrázek 30 Roční výroba energie.....	47
Obrázek 31 Množství energie vyrobené v jednotlivých měsících .....	47
Obrázek 32 Graf slunečního záření a zatížení .....	48

# Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní technické parametry – CAES [7].....	22
Tabulka 2 Základní technické parametry setrvačníků[10].....	23
Tabulka 3 Základní technické parametry [11] .....	25
Tabulka 4Základní technické parametry [12] .....	26
Tabulka 5 Základní technické parametry [13; 14].....	27
Tabulka 6 Základní technické parametry [16] .....	28
Tabulka 7 Základní technické parametry [18] .....	30
Tabulka 8 Základní technické parametry.....	32
Tabulka 9 Základní technické parametry.....	33
Tabulka 10Porovnání uchování plynného a kapalného vodíku [23].....	35
Tabulka 11Energetické vlastnosti vodíku při teplotě 25 °C [16].....	35
Tabulka 12Výhody a omezení systémů palivových článků [24; 27] .....	38
Tabulka 13 Hodnoty rozdílů průměrného zatížení a výkonu v jednotlivých hodinách .....	46
Tabulka 14 Hodnoty rozdílů vyrobené elektrické energie a zatížení.....	49
Tabulka 15 Celkový rozdíl hodnot za letní a zimní semestry.....	49