

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Perspektivy ukládání energie

Autor práce: **Martin Fořt**
Vedoucí práce: **Prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.**

2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin FOŘT**
Osobní číslo: **E19B0228P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Téma práce: **Perspektivy ukládání energie**
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Popište způsoby výroby elektrické energie.
2. Vyberte dlouhodobě perspektivní způsoby výroby elektrické energie.
3. Vyhledejte a popište možné způsoby skladování vyrobené elektrické energie.
4. Porovnejte perspektivní způsoby, popište energy management, proveďte zhodnocení dopadů na životní prostředí a ekonomické aspekty.

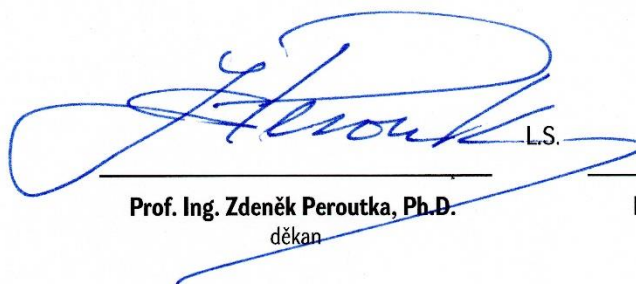
Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

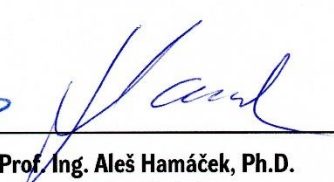
Seznam doporučené literatury:

1. Elektronické informační zdroje.
2. Materiály KET.

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání bakalářské práce: **7. října 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

 L.S.
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan


Prof. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. října 2022

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je výčet a zhodnocení elektrických zdrojů důležitých pro energetiku, dále se zaměřuje na uložení elektrické energie v různých podobách. Hodnotí dopady a predikuje vývoj energetiky v České republice s inspirací v zahraničních energetikách.

Klíčová slova

Elektrická energie, tepelné elektrárny, uhelné elektrárny, životní prostředí, šetrnost, paroplynové zdroje, jaderné elektrárny, fúzní reaktor, budoucnost, vodní elektrárny, vodní díla, větrné elektrárny, fotovoltaika, monokrystal, polykrystal, tenkovrstvé panely, uhlíková stopa, legislativa, geotermální energie, alternativní zdroje, uložení, elektrická akumulace, mechanická akumulace, chemická akumulace, uložení budoucnosti, vodík, predikce energetiky, obnovitelné zdroje

Abstract

The presented bachelor's thesis is an enumeration and evaluation of electrical sources important for the energy industry, it also focuses on the storage of electrical energy in various forms. It evaluates the impacts and predicts the development of the energy industry in the Czech Republic with inspiration from foreign energy industries.

Key Words

Electric energy, thermal power plants, coal-fired power plants, environment, frugality, steam-gas sources, nuclear power plants, fusion reactor, future, hydroelectric power plants, waterworks, wind power plants, photovoltaics, monocrystalline, polycrystalline, thin-film panels, carbon footprint, legislation, geothermal energy, alternative sources, storage, electrical storage, mechanical storage, chemical storage, storage of the future, hydrogen, energy prediction, renewable sources

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Pavlu Trnkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

Úvod	- 1 -
1 Výroba elektrické energie.....	- 2 -
1.1 Tepelné elektrárny	- 2 -
1.1.1 Uhlé elektrárny	- 2 -
1.1.2 Paroplynové elektrárny.....	- 3 -
1.2 Jaderné elektrárny	- 3 -
1.3 Fúzní reaktor	- 5 -
1.4 Vodní elektrárny	- 6 -
1.4.1 Průtoková vodní elektrárna.....	- 7 -
1.4.2 Akumulační vodní elektrárny	- 7 -
1.4.2.1 Přečerpávací elektrárny	- 8 -
1.5 Větrné elektrárny	- 9 -
1.6 Fotovoltaické elektrárny	- 9 -
1.6.1 Fotovoltaický panel	- 10 -
1.6.1.1 Monokrystalické panely	- 11 -
1.6.1.2 Polykrystalické panely	- 11 -
1.6.1.3 Tenkovrstvé panely	- 11 -
1.6.1.4 Využití panelů	- 12 -
1.6.2 Uhlíková stopa fotovoltaiky	- 13 -
1.6.3 Legislativní potíže	- 14 -
1.7 Geotermální elektrárny	- 15 -
1.8 Jiné elektrárny	- 17 -
1.8.1 Přílivové a příbojové elektrárny	- 17 -
1.8.2 OTEC elektrárny.....	- 18 -
2 Skladování elektrické energie.....	- 19 -
2.1 Elektrický princip akumulace	- 19 -
2.1.1 Superkondenzátory	- 19 -
2.1.2 Supravodivé magnetické akumulátory	- 20 -

2.2	Mechanické akumulátory	- 20 -
2.2.1	Přečerpávací vodní elektrárny	- 20 -
2.2.2	Gravitační baterie	- 21 -
2.2.3	Setrvačníky	- 22 -
2.2.4	Stlačený vzduch	- 24 -
2.3	Chemické akumulátory	- 25 -
2.3.1	Olověný akumulátor	- 26 -
2.3.2	Nikl-kadmiové a nikl-metal hydrid akumulátory	- 26 -
2.3.3	Li-ion akumulátor	- 27 -
2.3.4	Sodíko-sírový akumulátor	- 28 -
2.3.5	Vodíkové baterie.....	- 30 -
3	Hodnocení a predikce energetiky v ČR.....	- 34 -
	Zhodnocení a závěr.....	- 41 -
	Literatura	- 45 -

Seznam symbolů a zkratek

CO ₂	Oxid uhličitý
MWe	Megawatt elektrický
kg	Kilogram
°C	Stupeň celsia
MJ	Megajoule
MWh	Megawatthodina
ρ	Hustota
Q	Průtok
g	Tíhové zrychlení
H	Spád
μ	Účinnost
P	Výkon
MW	Megawatt
kW	Kilowatt
CO ₂ /kWh	Oxid uhličitý na kilowatthodinu
kWp	Kilowatt-peak
GWh	Gigawatthodina
V	Volt
\$	Dolar
MPa	Megapascal
OZE	Obnovitelný zdroj energie

Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na téma ukládání elektrické energie. Toto téma zobrazuje jeden z největších problémů novodobé energetiky, elektroniky a automobilismu. Vývoj ukládání se rozvětňuje na několik směrů, které dělíme na uložení ve formě elektřiny do baterií, dále na převedení elektrické energie na energii jiné podoby, to může být formou přečerpávacích elektráren nebo rotujících setrvačníků a jedním z posledních směrů je přeměna elektřiny na jinou látku, jako je například přeměna na vodík.

Toto hlavní téma je v práci podpořeno i o druhy výroby elektrické energie, například jaderné, vodní nebo geotermální elektrárny. Dále jsou z těchto rozličných zdrojů vybrány možné perspektivní zdroje pro budoucnost jak aspektem obnovitelnosti, tak i šetrností k životnímu prostředí.

V hodnocení jsou zohledněny aspekty dostupnosti materiálů, cena komponentů či procesů a v neposlední řadě je zohledněn vliv na životné prostředí

1 Výroba elektrické energie

Elektrická energie vzniká přeměnou rozličných druhů energií, například energie tepelné nebo sluneční. Tato přeměna je provedena různými druhy „měničů“ podle vhodnosti k dané energii. Může být použit točivý generátor jako u vodních či větrných elektráren, nebo fotovoltaický panel u fotovoltaických elektráren [1]. V různých státech světa se liší poměr využívaných druhů elektráren v závislosti na geografické poloze. V České republice je dán poměr menší příležitostí k montáži vodních či větrných elektráren a do určité míry má na tento poměr vliv i Evropská unie a její nařízení směrem k udržitelným zdrojů energie.

Tabulka 1 Energetický mix ČR, data z [2]

Zdroje	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
OZE celkem	5,68%	10,95%	11,77%	10,11%	7,60%	6,17%	3,90%	6,75%	5,56%
Sluneční	1,96%	2,63%	2,88%	2,77%	2,14%	2,07%	1,66%	2,27%	1,65%
Větrné	0,47%	0,57%	0,71%	0,63%	0,45%	0,22%	0,00%	0,43%	0,00%
Vodní	1,93%	2,56%	2,67%	1,15%	1,43%	0,77%	0,44%	0,65%	0,61%
Geotermální	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biomasa	1,33%	2,19%	2,34%	5,57%	3,58%	3,11%	1,81%	3,40%	3,31%
Ostatní	0,00%	2,99%	3,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Fosil. zdroje celkem	57,65%	52,77%	55,10%	59,53%	57,40%	56,95%	57,01%	52,50%	54,03%
Hnědé uhlí	40,71%	41,27%	42,15%	43,91%	43,77%	44,63%	46,18%	40,00%	43,89%
Černé uhlí	6,11%	5,78%	6,31%	6,97%	5,38%	4,18%	2,84%	2,66%	0,00%
Zemní plyn	8,30%	5,52%	6,41%	8,40%	5,45%	5,80%	7,74%	9,61%	9,89%
Ropa a rop. produkty	1,00%	0,06%	0,05%	0,05%	0,06%	0,04%	0,15%	0,11%	0,12%
Druhotné a ostatní	2,52%	0,14%	0,18%	0,20%	2,73%	2,30%	0,10%	0,12%	0,12%
Jaderné zdroje celkem	36,67%	36,28%	33,13%	30,36%	35,01%	36,88%	39,09%	40,75%	40,41%

1.1 Tepelné elektrárny

V těchto elektrárnách vzniká spalováním různých druhů paliv teplo, které je využito na ohřev vody, ze které se uvolňuje pára. Vzniklá pára pak pod velkým tlakem pohání turbínu napojenou na generátor. Podle spalovaného zdroje se elektrárny dělí na uhelné, plynové, bioplynové a elektrárny na biomasu. [3]

1.1.1 Uhelné elektrárny

Při spalování uhlí vzniká velké množství částic škodlivin, a proto musí být tyto částice odstraněny před vypuštěním spalin do ovzduší. Velkým problémem je zachycení CO₂, které stále není vyřešeno, proto je velký tlak na postupné omezování těchto elektráren až do úplného odstavení. Jak můžeme vidět v Tabulka 1, produkce elektřiny z tohoto zdroje je okolo 44 % celkové vyprodukované elektřiny v ČR a je velice obtížné nahradit ji jiným zdrojem, který by dokázal pokrýt tak velkou část trhu. Z důvodu obtížného nahrazení je ukončení uhelných elektráren stále oddalováno, to ovšem není jediný důvod. Dalším

důvodem může být i politická hra a získávání lidí na svoji stranu. Obecně je část lidí, kteří jsou spíše pro odstavení uhelných elektráren, z důvodu omezenosti zdrojů uhlí, nebo z důvodu změny pohledu společnosti. Dříve byl zdroj podporován tehdejší společností i politickým vedením státu, které zdroj využívalo ke své propagaci z pohledu pracovních pozic. V dnešní době je naopak zdroj kritizován nastupující novou generací, která podporuje spíše udržitelnost a ekologičnost, což způsobuje tlak na příslušné orgány. V neposlední řadě je problematická závislost na dovozu uhlí, která v případě výpadku jedné z dovozních tras může způsobit značné zdražení produkované elektřiny a v nejhorším případě může způsobit úplnou odstávku elektráren na uhlí. Na druhou stranu zde stále zůstává poměrně velká část populace, která problém uhelných elektráren nevnímá, ať už z důvodu malé informovanosti ohledně škodlivosti produkovaných emisí, či z důvodu přetrvávajícího ovlivnění dřívější politickou propagandou. To se projevuje především u nejstarší části obyvatel. Právě druhá zmiňovaná skupina je cílová pro politické skupiny, které jsou pro oddálení odstavení uhelných elektráren a přechod na čistější energii. [4]

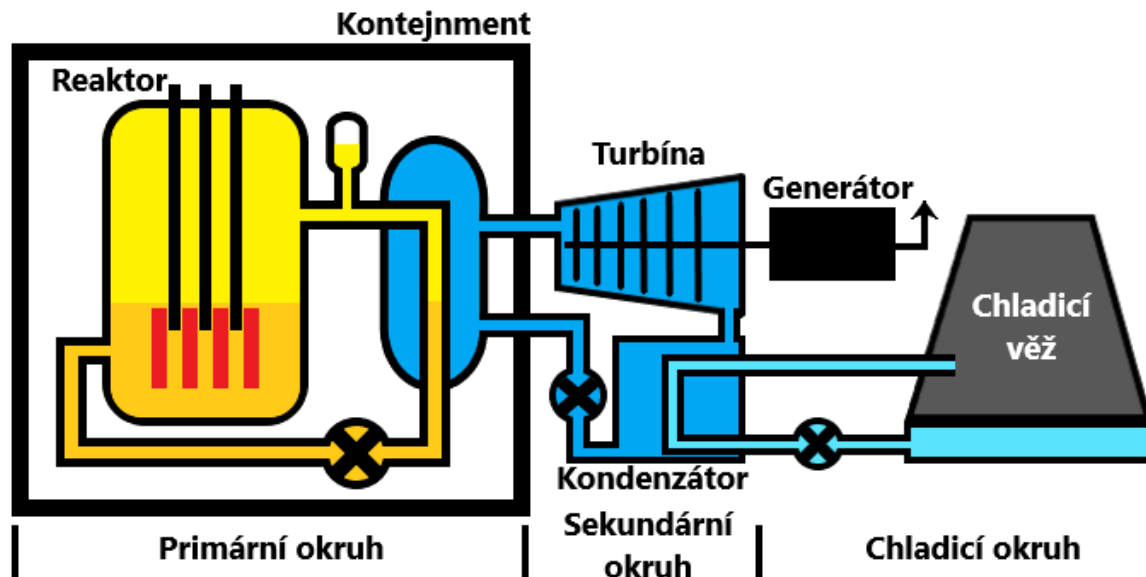
1.1.2 Paroplynové elektrárny

Oproti předchozímu typu elektráren jsou výrazně šetrnější k životnímu prostředí viz Tabulka 3. Teplo vzniká spalováním zemního plynu nebo topných olejů. Při spalování těchto paliv nevznikají pevné částice. „*Jedná se o nejvíce ekologický způsob využití zemního plynu pro výrobu elektrické energie, emise CO₂ jsou o 70 % nižší než při spalování uhlí v PE* [5]“. Další velkou výhodou je dobrá možnost regulace, možnost rychlého rozběhu a odstavení. Mezi jasné nevýhody patří spalované zdroje. Ty se řadí mezi fosilní paliva a předpokládá se jejich menší dostupnost v budoucnu. Podobně jako u uhelných elektráren zdroj naráží na závislost dovozu paliva a tím i možnou nestálost ceny a dostupnosti produkované energie. Tato skutečnost je podporovaná aktuální politickou situací a zkušeností s odstavením jedné z cest zásobování plynem. [4]

1.2 Jaderné elektrárny

Zdroj elektrické energie založený na štěpení těžkých prvků jako uranu 235 nebo plutonia 239. Ke štěpnému procesu dochází v reaktoru a vniká při něm velké množství tepla. Toto teplo je využito na výrobu vysokotlaké páry stejně jako v tepelných elektrárnách. Obrovskou výhodou štěpného procesu je nulový odpad vypouštěný do atmosféry. Nevznikají žádné spaliny ani skleníkové plyny. Na druhou stranu z tohoto procesu zůstává radioaktivní odpad, který není možné likvidovat a musí se uchovávat na bezpečných místech. Další velkou

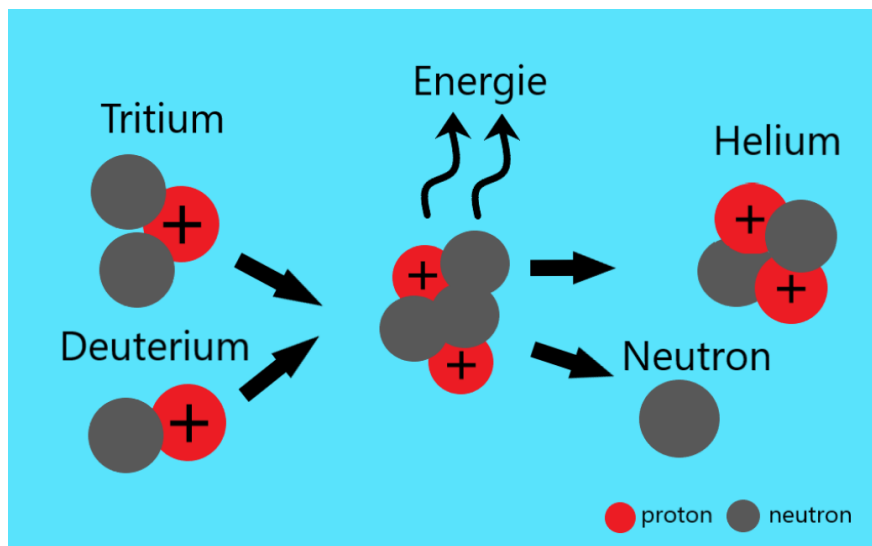
nevýhodou je cena výstavby a provozu jaderných elektráren. V neposlední řadě je problém regulovatelnost výkonu elektrárny. Po jejím uvedení do provozu je stále aktivní až do její odstávky potřebné na údržbu. To znamená, že dodává energii i když je její spotřeba menší, jako například v noci. Na našem území jsou dvě jaderné elektrárny. Temelín s instalovaným výkonem 2x1125 MWe a Dukovany s instalovaným výkonem 4x510 MWe. Tyto dvě elektrárny se starají o pokrytí necelých 40 % elektrické energie vyrobené ročně v ČR. To znamená, že jsou na podobné úrovni jako tepelné elektrárny. Z vývoje společnosti, a hlavně zahraniční politické situace poslední doby to vypadá, že jaderné elektrárny jsou budoucností v nahrazení uhelných elektráren. Problém vyvstává v malém množství společností zaměřujících se na výstavbu jaderných elektráren. Tento počet je dále omezován původem společností, který koresponduje s aktuálními politickými vztahy s touto zemí. Další problém je dodávka paliva, aktuálně omezená výhradně na Rusko. Obrovskou výhodou ČR je ale zásoba, která umožní v případě zrušení styků s dodavatelem dostatečnou dobu k nalezení nového dodavatele. V případě Temelína zásoba činí palivo na 2 roky provozu a v případě Dukovan na 3 roky provozu. Palivo od nových dodavatelů bude pravděpodobně dražší než to dodávané Ruskem. Uměle sníženou cenou paliva si Rusko v minulosti získalo velké množství zákazníků, mezi které patří například i Česká republika. [6][7]



Obr. 1 Schematické zobrazení jaderné elektrárny, překresleno z [8]

1.3 Fúzní reaktor

Jaderná fúze je založena na spojování dvou lehkých atomů v jeden těžší atom. Výsledný atom pak není radioaktivní a v případě nejvíce uvažovaném pro budoucí provoz se bude jednat o helium, které vznikne na základě sloučení deuteria a tritia, což jsou izotopy vodíku.



Obr. 2 Reakce deuteria a tritia

Toto palivo je voleno pro nejmenší potřebnou teplotu k vytvoření plazmatu ze všech testovaných paliv, a zároveň jsou to látky dostupné ve velkém množství. Deuterium bude získáváno z mořské vody, ve které je jedna z 3000 molekul právě molekula deuteria. Dle odhadu je ho na planetě Zemi přibližně $4,76 \cdot 10^{16}$ kg. Větší potíží je získání tritia, které je nutné vyrábět z lithia, jelikož v přírodě se nenachází v dostatečném množství. Po uvážení množství zdrojů lithia, ze kterého vzniká tritium a množství deuteria z mořské vody, vyplývá předpoklad, že palivo bude dostávat na provoz po dobu v řádech miliard let. Toto číslo není zásluha pouze velkého množství paliva, ale i předpokládané vznikající energie fúze, která by měla čtyřikrát překonat energii štěpení v jaderných elektrárnách, a dokonce téměř čtyř milionkrát překonat uhelné elektrárny. Už s pár gramy paliva vznikne okolo terawattu energie, což pokryje spotřebu jednoho člověka na 60 let. Technologie fúzních reaktorů je prozatím technologií budoucnosti a nikoliv současnosti, jelikož stále naráží na nevyřešené problémy či nedokonalosti technologie. Prvním z problémů je zadržení plazmatu v určité oblasti, na což se využívá magnetické pole toroidu. Toto pole brání rozpínání plazmatu a vytváří omezený prostor pro pohyb molekul a tím zvětšuje hustotu molekul v plazmatu. Dále brání kontaktu vysokoteplotního prostředí s pláštěm reaktoru. Druhým z problémů je teplota potřebná pro vznik plazmatu a dostatečnému dodání energie k překonání sil pro kombinaci v helium. Minimální potřebná teplota při využití dříve zmiňovaných prvků je

100 000 000 °C, což je teplota větší než teplota slunce. Dosažení takové teploty je možné za použití více způsobů ohřevu. Uvažované jsou dva, a to ohřev za pomoci mikrovln či ohřev neutronovým paprskem. Za dodržení předpokladů vědecké obce zabývající se studiem plazmatu a rozvojem fúzních elektráren je možné předpokládat, že první spuštění testovací fúzní elektrárny na plný výkon proběhne v polovině tohoto století, tedy přibližně v roce 2050. Tento datum je ovšem velice optimistický předpoklad, jelikož teprve na konci roku 2022 bylo získáno jadernou fúzí více energie, než kolik bylo vloženo do ohřátí plazmatu. K tomuto průlommu došlo v Lawrence Livermore National Laboratory nacházející se v Kalifornii. Po využití 2,05 MJ energie bylo vyrobeno 3,15 MJ, tedy přibližně o 50 % více, než byla vstupní hodnota. Ze všech dříve zmiňovaných faktů a předpokladů plyne, že jaderná fúze je obrovsky nadějná cesta pro globální energetiku. Ovšem bude nutné překonat velké množství překážek. A to ať už se jedná o technologii či ekonomickou stránku, u které je potřeba dosáhnout částek srovnatelných s cenou výstavby nynějších jaderných elektráren, ale zároveň i částek za jednu MWh. Tomuto všemu by měl pomoci projekt nazvaný ITER vzniklý ve Francii, na němž se podílí všechny energetické velmoci světa. Projekt si dává za úkol testování a vývoj v oblasti plazmatu, technologií zadržení plazmatu jako jsou supravodivé magnety, a technologií odvádění energie z reaktoru. To vše by mělo vyústit v jasný plán pro výstavbu prvního demonstračního fúzního reaktoru. [9][10][11][12]

1.4 Vodní elektrárny

U tohoto zdroje nedochází k žádným mezi přeměnám, ale voda předává svoji energii přímo turbíně, která pak roztáčí generátor. Vodní elektrárny jsou děleny do několika skupin. Podle využitých turbín, nebo podle způsobu využití vodního toku. Výsledný výkon tohoto zdroje elektrické energie je dán vztahem zohledňujícím hustotu vody (ρ), průtok (Q), tíhové zrychlení (g), spád (H) a účinnost turbíny (μ).

$$P = \rho * Q * g * H * \mu [W] \quad (1)$$

Hustota vody je konstantou a činí 997 kg/m³, další konstantou jednotlivých elektráren je spád vody přiváděné na turbínu. Jako příklad berme vodní elektrárnu Orlick, kde je spád 70,5 m. Následující konstantou je tíhové zrychlení udávané pro konkrétní místo na zemi. Pro výpočty se často využívá takzvané normálové tíhové zrychlení, které je 9,80665 m/s². Poslední konstantou v tomto vztahu je účinnost generátorického ústrojí v elektrárně. Pokud použijeme již zmiňovanou Orlickou přehradu s instalovanou Kaplanovo turbínou, dostaneme se po započtení všech součástí podílejících se na výrobě elektřiny na přibližně 85

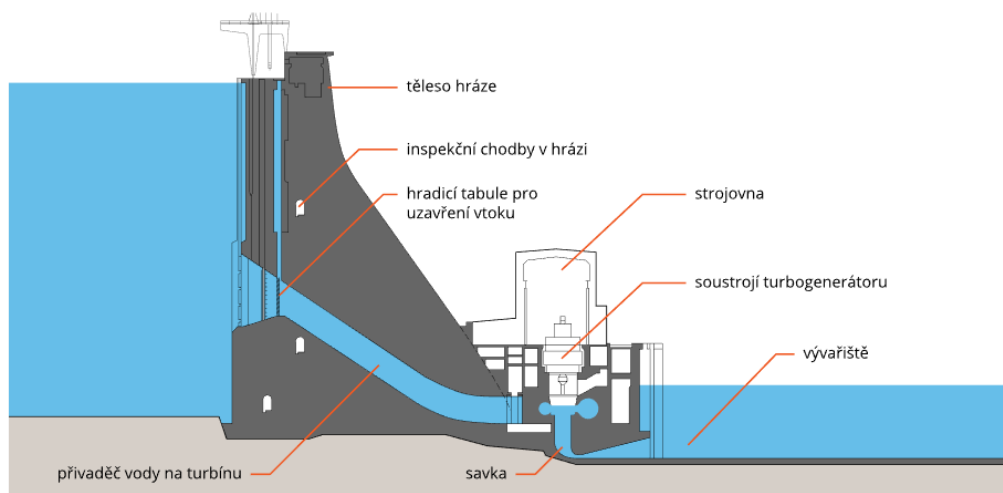
% účinnosti. Poslední veličinou ze vztahu je průtok, což je proměnná omezená ze spodu minimální hodnotou průtoku pro funkčnost generátoru a z vrchu je omezená bezpečnostním maximem pro generátor a také maximem vody, které dokáže dodat vodní tok či vodní dílo, například přehrada. V případě Orlíku je uvažován průtok $150 \text{ m}^3/\text{s}$. [13][14]

1.4.1 Průtoková vodní elektrárna

Druh instalovaný na běžné toky řek. Ke zvýšení rozdílu hladin se využívají jezy. Tato elektrárna má nejmenší vliv na životní prostředí, jelikož nijak drasticky nezasahuje do rázu krajiny. Velkou nevýhodou je závislost na průtoku řeky. V obdobích sucha je její provoz značně ohrožen. Z toho důvodu nejsou v těchto elektrárnách instalované velké výkony a využívají se spíše jako podpůrný zdroj lokálního rozsahu. Společností ne moc vnímané zdroje z důvodu malé popularity v mediálním prostoru, který vyplývá z malého dopadu těchto zdrojů na energetickou situaci státu. Jediný mediálně řešený problém je narušování možných návratových tras určitých živočichů do místa jejich přirozeného výskytu. Tento problém se ale u nově budovaných jezů řeší „odbočkou“ okolo jezu, sloužící právě jako návratová trasa. Z ekonomického pohledu méně a méně výhodný zdroj z důvodu zkracujícího se provozního období a také ze zpříšňujících se pravidel odkupu elektřiny distribučními firmami. [13]

1.4.2 Akumulační vodní elektrárny

U těchto typů elektráren je generátor součástí vodního díla, zpravidla se jedná o přehradu. Právě přehradní hráz vytváří potřebný rozdíl hladin, který je následně využit pro vypouštění vody skrze turbíny.



Obr. 3 Schematické zobrazení akumulární elektrárny, převzato z [15]

Na našem území máme velké množství takových vodních děl a kapacita pro další je již vyčerpána. Největší přehrada na našem území je Orlická s instalovaným výkonem 364 MW. Mezi výhody tohoto typu elektráren patří rychlý náběh maximálního výkonu. Doba potřebná na rozběh vodní elektrárny Orlická činí pouze 128 sekund. Z toho důvodu se akumulární vodní elektrárny využívají k dorovnání výkyvů v síti. V době výstavby kritizovaný zdroj, obzvláště obyvateli v oblasti nově vznikajícího vodního díla z důvodu, že velké množství lidí bylo nuceno opustit domov, jelikož se jejich bydliště nacházelo v později zaplavené oblasti. V dnešní době už se nejedná o diskutovaný zdroj mezi veřejností. Podobně jako průtokové vodní elektrárny nejvíce naráží u ekologických organizací a lidí smýšlejících tímto směrem, jelikož podobně jako jez narušuje trasy migrace vodních živočichů, a proto nově budované přehrady ve světě musí být opatřeny možnou cestou pro migraci. Řešení bývá provedeno „rybím výtahem“, který má podobu velké nádrže, která se na spodní straně přirozeně naplní rybami a následně je tato nádrž vyvezena na horní část přehrady, kde jsou ryby vypuštěny. Z ekonomického hlediska málo náročný zdroj, protože je nutné investovat pouze do rekonstrukcí a úprav a už ne do paliva. [13]

1.4.2.1 Přečerpávací elektrárny

Jeden z druhů akumulárních elektráren. Voda je čerpána v době přebytku energie do horní nádrže přečerpávací elektrárny. Tím vznikne výškový rozdíl hladin. V době potřeby elektrické energie je pak horní nádrž vypouštěna skrze turbíny do spodní nádrže přečerpávací elektrárny. Tento druh elektráren našel velké uplatnění v uchování velkého množství elektrické energie na dlouhou dobu. Přečerpávací elektrárna je poměrně dobrý doplněk k jaderným elektrárnám, jelikož dokážou kompenzovat jejich velkou nevýhodu v podobě neregulovatelnosti, právě v čase, kdy není po elektrické energii poptávka. Mezi další výhody patří společná vlastnost s přehradními elektrárnami, a to rychlý náběh na maximální výkon a tím možnost kompenzovat nesrovnalosti v síti. Nevýhodu u přečerpávacích elektráren nalezneme v nutnosti velkých staveb v prostředí s velkým převýšením, které je především na horách. Na našem území nalezneme tři přečerpávací elektrárny, z nich největší je přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně s instalovaným výkonem 2x 325 MW. Téma je dále rozpracované v kapitole 2.2.1 [16]

1.5 Větrné elektrárny

Na našem území ne příliš rozšířený zdroj elektrické energie z důvodu přísných podmínek na místo výstavby. Vhodná místa jsou často součástí chráněných přírodních oblastí, nebo se nacházejí v armádních zónách a dalších nevhodných oblastech. Proto je u nás vybudováno pouze 202 větrných elektráren s výkonem nad 100 kW, jejichž celkový instalovaný výkon přesahuje 339 MW. Princip vzniku elektrické energie spočívá v roztáčení lopatek větrné elektrárny, rotační pohyb je převeden přes převodové ústrojí na rotor generátoru. Právě díky převodům se nechají regulovat otáčky a je možné nastavit jejich optimální poměr mezi vrtulí a generátorem. U tohoto typu elektráren narážíme hned na několik negativ a překážek. První překážkou je nestálost větru a jeho kolísání v čase, což zapříčiňuje i kolísání výroby elektrické energie. Dalším problémem je dříve zmiňovaný prostor pro výstavbu, konstrukční a bezpečnostní limity, kdy při příliš silném větru odstavujeme výrobu a zastavujeme vrtule z důvodu ochrany elektrárny před poškozením. Mezi výhody pak patří šetrnost k životnímu prostředí, jelikož nedochází k žádnému spalování a ani nedochází k radikální změně krajiny jako například u přehrady. Pro společnost je největším problémem hlučnost a změna rázu krajiny, a to především u populace, která nemá s tímto zdrojem zkušenosti. Podle výzkumu nezávislé agentury MORI je obava z hluku u 12 % obyvatel z uvažovaných oblastí pro novou výstavbu elektráren. Po vybudování elektrárny si ale na hluk stěžuje jen něco okolo 2 % obyvatel. Dále 27 % obyvatelstva má obavu z narušení rázu krajiny. Po instalaci stejný problém vidí již jen 10 % lidí z prvního provedeného výzkumu. V neposlední řadě nastupuje nový problém, a to je recyklace již dosloužilých vrtulí, které jsou konstruované z velice tvrdého materiálu. Tento problém ale není zatím příliš prozkoumaný, jelikož první elektrárny teprve spějí ke konci životnosti. [17][18]

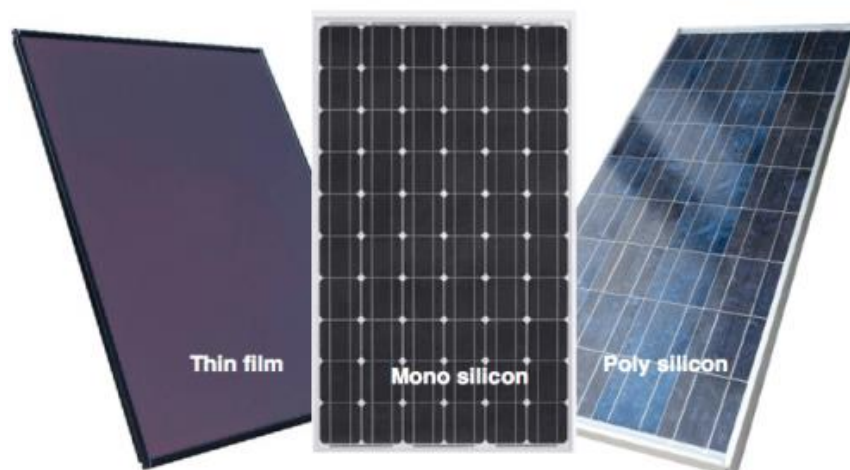
1.6 Fotovoltaické elektrárny

Na rozdíl od předchozích zdrojů elektrické energie nevyužívá pohyblivých mechanických částí, ale výroba elektrické energie je založena na fotovoltaickém jevu. Dopadající fotony slunečního záření vyrážejí elektrony z PN přechodu, čímž vznikají volné elektrony, které jsou dále odváděny skrze elektrody pryč z fotovoltaických panelů. Takto vzniklá elektrická energie musí být dále převedena na střídavou, což zajišťuje střídač. Existuje více druhů panelů lišících se jejich stylem výroby a dále i účinností a chováním pro různé úhly a intenzity dopadajícího záření. Základní rozdělení je na monokrystalické, polykrystalické a amorfní panely. Mezi velké výhody fotovoltaiky patří čistota výroby elektrické energie a to,

že spadá do obnovitelných zdrojů elektřiny. Dále je výhodou možnost instalace na střechy objektů a tím využití i již zastavěné plochy. Mezi hlavní nevýhody patří složitá a nákladná likvidace starých panelů. Dále do nevýhod řadíme nestálost slunečního svitu jak po čas dne, tak i po čas roku. Tato nestálost je způsobená povětrnostními podmínkami a různým úhlem dopadajícího záření během roku, ale i jednoho dne. Nepříznivý úhel dopadajícího slunečního záření je možné odstranit natáčecím mechanismem, který do výroby přináší prvek poruchovosti a spotřeby části získané energie. Na našem území je instalováno více jak 60 000 fotovoltaických elektráren s celkovým instalovaným výkonem přesahujícím 2 200 MW. Tato čísla rychle rostou, jen za první polovinu roku 2022 vzrostla o 9354 elektráren s výkonem 75 MW. Velkým problémem v dalším rozšiřování mezi běžné obyvatelstvo je strach a nejistota z likvidace dosloužených panelů. Dále není přijímáno zabránění velkých oblastí pro stavbu fotovoltaického pole, které má vliv i na vzhled a ráz krajiny. Na druhou stranu, tuto část negativ dokážou lidé obejít montáží na budovy a následná ekonomická výhodnost často převáží nevýhody. [19]

1.6.1 Fotovoltaický panel

Panely dělíme na 3 druhy, a to monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé. Jejich uplatnění se liší podle konstrukčních podmínek místa instalace a dále podle kvality dopadajícího slunečního záření. Rozdíl mezi panely je v technologickém postupu výroby, použitých materiálech, od kterých se odvíjí rozdílná cena a elektrické vlastnosti.



Obr. 4 Vzhledové porovnání panelů, převzato z [20]

1.6.1.1 Monokrystalické panely

Na první pohled rozeznatelné podle své černé barvy a robustnosti konstrukce. Panel je vyrobený z destiček krystalu křemíku, které jsou řezány z jediného válcového ingotu. Díky tomu mají elektrony, které generují elektrický tok, více prostoru k pohybu a panel má ve výsledku větší účinnost, pohybující se od sedmnácti do dvaadvaceti procent. Této účinnosti však panel dosahuje pouze při ideálním nasměrování ke slunci a dobrých povětrnostních podmínkách. To panel předurčuje k použití na střechu s menší plochou a dobrou orientací ke slunci. Nevýhodou panelu je špatné zachycení rozptýleného záření v horším počasí. Kvůli technologicky náročnější výrobě a větší výkonosti je monokrystalický panel nejdražší ze všech druhů fotovoltaických panelů. Poslední zmiňovaná nevýhoda se v dnešní době spíše zmenšuje z důvodu masového rozšíření fotovoltaiky, a tím i zvětšení objemu výroby. [21][22][23]

1.6.1.2 Polykrystalické panely

Vyznačují se typickou tmavě modrou barvou a stejně jako monokrystalické panely jsou vyráběny z krystalů křemíku s tím rozdílem, že není použit jen jeden, ale je jich velké množství lisováno do jednoho, ze kterého se následně řežou tenké plátky. To zapříčiňuje menší prostor pro pohyb elektronů a zmenšuje se tím účinnost panelu, která se pohybuje v rozmezí patnácti až dvaceti procent. Na druhou stranu nám nejednodlost panelu zlepšuje vlastnosti pro sběr rozptýleného nepřímého záření, a tak je možné tyto panely využít na hůře orientovaných střechách a v oblastech s menším podílem přímého slunečního záření. Krom menší účinnosti je další nevýhodou horší teplotní koeficient činící $0,0045\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, a to oproti konkurenci monokrystalických panelů s koeficientem $0,0040\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ a tenkovrstvých panelů, kde je koeficient pouze $0,0020\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Tato skutečnost pouze podporuje jejich vhodnost pro umístění do méně slunečných oblastí a na střechy se sklonem jiným než jižním. [21][22][23]

1.6.1.3 Tenkovrstvé panely

Oproti předchozím panelům se razantně liší v konstrukci a vzhledu. Jedná se o tenký panel bez rámečku, který vzniká nanesením tenké vrstvy fotovoltaické látky na podklad, který je tvořený sklem nebo fólií. Jako fotovoltaická látka je využíván amorfnní křemík (a-Si), měď indium galium selen (CIGS) anebo telurid kadmia (CdTe). Nanášení tenké vrstvičky na podklad zajišťuje příznivě tenké a lehké panely, které jsou díky tomu předurčeny pro místa jako jsou výrobní haly s lehkou konstrukcí, která by robustní panely neudržela. Velká nevýhoda je malá účinnost pohybující se okolo 11 %, z čehož plyne, že na stejný výkon musíme použít dvojnásobnou plochu než u monokrystalických panelů. Další nevýhodou je

menší životnost než u dříve zmiňovaných panelů. Mezi výhody patří malý teplotní koeficient, který je u amorfního křemíku $0,0020 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Jako další výhodu můžeme zařadit cenu prvotní realizace. Pokud zahrneme i dlouhodobé náklady, dostaneme se na částky podobné polykrystalickým fotovoltaikám, jelikož s nižší životností musíme častěji obměňovat celé panely a zároveň díky méně robustním rozměrům jsou tenkovrstvé soustavy náchylné na poškození povětrnostními vlivy. [21][22][23]

1.6.1.4 Využití panelů

Tabulka 2 Porovnání fotovoltaických panelů

	monokrystalické	polykrystalické	tenkovrstvé
cena	Nejdražší	Střední	Nejlevnější
životnost	25+ let	25 let	15-20 let
účinnost	$\pm 23 \%$	$\pm 17 \%$	$\pm 11 \%$
teplotní koeficient	$0,0040 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$0,0045 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$0,0020 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
vzhled	Černý panel s rámem	Modrý panel s rámem	Jednotlivý černý panel bez rámečku

Obecně se usuzuje, že vývojem technologie a poklesem ceny monokrystalických panelů se jejich rozšíření stane výhradním, alespoň v blízkých deseti až třiceti letech, jelikož to je doba, do které by bylo zbytečné nahrazovat funkční aktuálně instalované jednotky a ostatní typy panelů budou instalovány pouze v „extrémech“ co se týče lokality a povětrnostních podmínek. Mimo technologický vývoj po stránce elektronické se předpokládá vývoj v místech, kde bude fotovoltaika instalována. Uvažuje se montáž na moři, či začlenění do městské zástavby v podobě protihlukových bariér či celých stěn budov. Ovšem všechny tyto nové možnosti instalací naráží na problém s možností poškození panelů či jejich znehodnocení zašpiněným povrchem a z toho vyplývajícím snížením účinnosti. Jako příklad vezměme oblasti s největší dopadající energií slunce a ve všech možnostech se jedná o poušť. Dle studie německé univerzity v Braunschweigu z roku 2005 by stačilo využít 254 km^2 Sahary na pokrytí energetických potřeb celého světa. S přihlédnutím ke zlepšující se účinnosti panelů by se měla potřebná oblast zmenšovat, ale spotřeba ve světě roste. Proto potřebná oblast zůstává na přibližně stálé velikosti. Takový projekt by ale narážel na řadu problémů. Prvním z problémů by byl v podstatě nemožný rozvod elektrické energie do všech koutů světa. Druhým problémem je pohyb písku v poušti a zasypávání aktivní plochy panelu a tím jeho odstavení. Třetím problémem je teplota, která snižuje účinnost panelů podle

koeficientu uvedeného v Tabulka 2, což by zapříčinilo v podstatě odstavení panelů. Poslední, co se týče globálního dopadu, nejhorší problém je ovlivnění celosvětového klimatu. Teplota tmavých panelů je větší než teplota písku a zvětšení rozdílu teplot vzduchu od moře a vzduchu od solárního pole by zapříčinil místo vzniku tornád a hurikánů. Z těchto důvodů jsou projekty týkající se Sahary a jiných pouští odsouvány a spíše rušeny. [24][25][26][27]

1.6.2 Uhlíková stopa fotovoltaiky

Fotovoltaická elektrárna je často pro laickou veřejnost prezentována jako absolutně čistý zdroj elektrické energie a v mnoha případech si lidé myslí, že když z panelů nevycházejí žádné spaliny, tak je uhlíková stopa fotovoltaiky nulová. Ve skutečnosti je potřeba započítat i vedlejší vznikající emise. První okamžik, kdy začne fotovoltaika produkovat emise je těžba materiálů potřebných k výrobě panelů. Samotná výroba křemíku produkuje 6 kg CO₂/kg. Na jeden článek je potřeba přibližně 11 g křemíku a 660 g křemíku na jeden panel. To je přibližně 4 kg CO₂ na jeden panel. Další emise pak vznikají při budování solárních polí. Následuje samotný provoz elektrárny se životností 25-30 let, kdy je uhlíková stopa nulová, stejně jako produkce skleníkových plynů. Poslední fází je buď demontáž starých panelů a nahrazení za nové, anebo celková obnova na původní terén kdy dochází k demolici a odvezení veškerého materiálu. Po zahrnutí všech částí životního cyklu solární elektrárny se dostáváme na hodnotu 48 g CO₂/kWh. Ve srovnání s uhelnou elektrárnou, kde je produkováno více než 800 g CO₂/kWh. Pokud vezmeme že celosvětově je roční spotřeba 25 300 TWh s podílem 35 % uhelných elektráren, vyplyne nám, že pokrývají 8855 TWh spotřeby. Těchto necelých devět tisíc terawatt hodin vyprodukuje přibližně $7,81 \cdot 10^9$ tun CO₂. Pokud by se nám podařilo tuto produkci nahradit i tím nejméně „čistým“ obnovitelným zdrojem, kterým je aktuálně podle světové jaderné asociace fotovoltaika se 48 g CO₂/kWh, pak by celosvětová produkce CO₂ z výroby elektřiny klesla o $6,47 \cdot 10^9$ tun, tedy o 82,84 %. [28][29][30][31]

Tabulka 3 Uhlíková stopa zdrojů energie, data z [28]

Typ elektrárny	Uhlíková stopa [CO ₂ /kWh]
Uhelné elektrárny	820 g
Elektrárny na topný olej	490 g
Elektrárny na biomasu	230 g
Fotovoltaické elektrárny	48 g
Geotermální elektrárny	38 g
Vodní elektrárny	24 g
Jaderné elektrárny	12 g
Větrné elektrárny	12 g

Tabulka 4 Účinnost elektráren, data z [28-38]

Uhelné elektrárny	32-43 % podle kvality paliva a stáří kotle
Elektrárny na topný olej	50 %
Elektrárny na biomasu	50 % při využití tepla až 90 %
Fotovoltaické elektrárny	10-25 % podle typu panelu
Geotermální elektrárny	8-15 %
Vodní elektrárny	75 % podle typu turbíny a stáří ústrojí
Jaderné elektrárny	30-45 % podle typu chlazení
Větrné elektrárny	Betzův limit 59,3 %, účinnost pak okolo 70-80 % Betzova limitu

Ruku v ruce s uhlíkovou stopou jde i účinnost zdroje. Čím horší je, tím více paliva musíme spotřebovat k dosažení stejného množství vyprodukované energie a tím vzniká více uhlíkové stopy. Na účinnost má vliv kvalita paliva, stáří ústrojí elektrárny a v případě jaderných elektráren je ovlivněna i typem chlazení reaktoru.

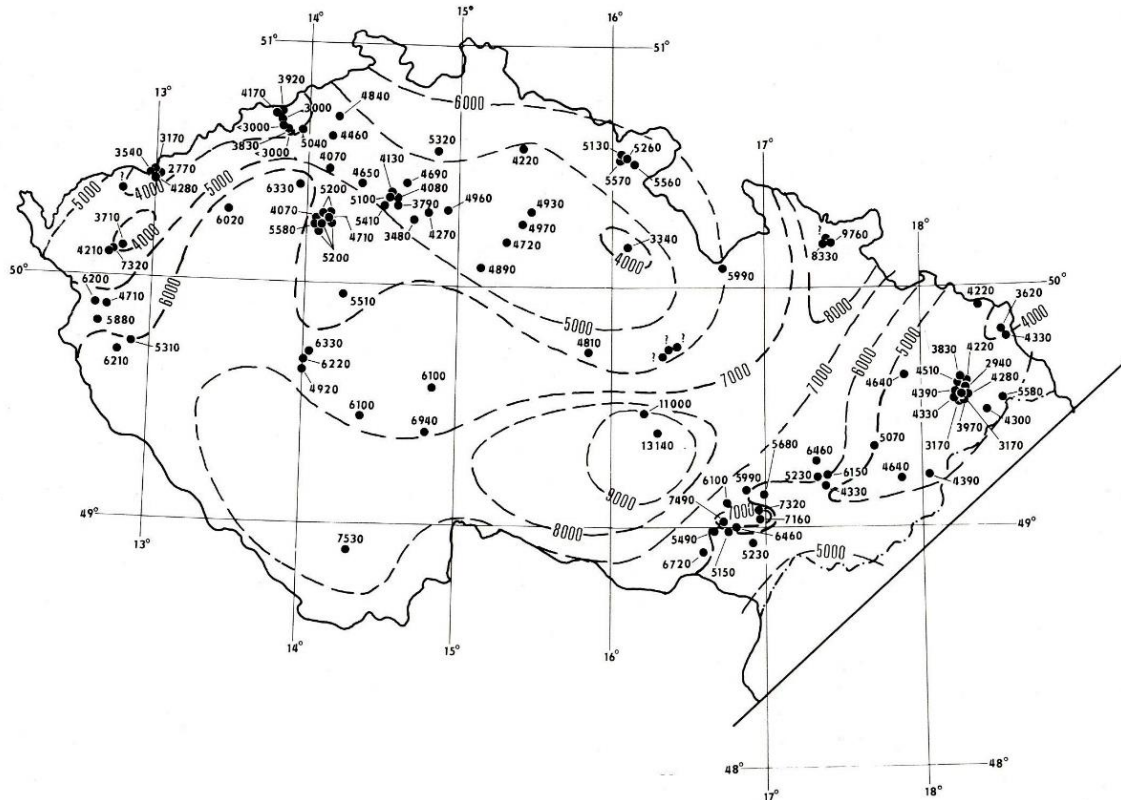
1.6.3 Legislativní potíže

I přes masivní rozvoj fotovoltaiky v ČR, není náš legislativní prostor v tomto odvětví příliš novelizován a je značně limitující pro nové zájemce o montáž panelů na svůj dům či vytvoření nových fotovoltaických polí. Zlomový by měl být rok 2023, ve kterém má vyjít hned několik novel. První z nich je novela LEX OTE I o navýšení maximálního výkonu pro provoz bez licence a nutnosti stavebního povolení, pokud montáž nebude zasahovat do nosné

konstrukce a nebude měnit účel budovy. Limit bude zvednut z aktuálních 10 kWp na 50 kWp. Další velice důležitou novelou je LEX OZE II o zavedení takzvaných energetických společenství, které by mělo být tím spíše urychleno energetickou krizí. Tato novela řeší sdílení energie mezi určitým společenstvím lidí. Jako příklad bude možné využívat energii vyrobenou na chatě později ve svém městském bytě. Stejně tak podnikatel bude moci sdílet elektřinu s jinou pobočkou či sousedstvím. Po schválení této novely bude důležité zavádění dalších nástrojů pro urychlení využití energie v oblasti výroby a odstranění prodeje do sítě. Jedna z dalších novel, která už je například ve Španělsku nebo Japonsku platná, je „farmářská fotovoltaika“. Jedná se o budování fotovoltaických elektráren na konstrukci zastřešující zemědělská pole. Jde o statické konstrukce anebo takzvané rolety, umožňující naklápění a podle potřeby propouštění slunce a deště. V ČR je legislativně možné mít pole buď na zemědělské účely nebo na fotovoltaické elektrárny, nikoliv tyto dvě varianty kombinovat. Zavedením novely by se částečně odstranil problém se zabíráním půdy a jak se ukázalo v již zmiňovaných zemích, vybudovaná konstrukce dokáže značně vylepšit pěstování jak v letních, tak zimních měsících. V létě brání rychlému vysychání půdy, což se stává problémem se zvětšujícími se extrémní maximálních teplot. V zimním období pak bylo prokázáno bránění v namrzání rostlin, a to zvýšením teploty pod fotovoltaikou o 3 °C. Obecně se dá říct, že v ČR bylo dlouhou dobu novelizování a zavádění nové legislativy pomalé a brzdil se tím větší rozvoj fotovoltaiky. Paradoxně je aktuální rozvoj hnán krizí v energetice a příslušné orgány jsou nucené dohnat náskok okolních, v tomto ohledu rozvinutějších zemí. [39][40][41]

1.7 Geotermální elektrárny

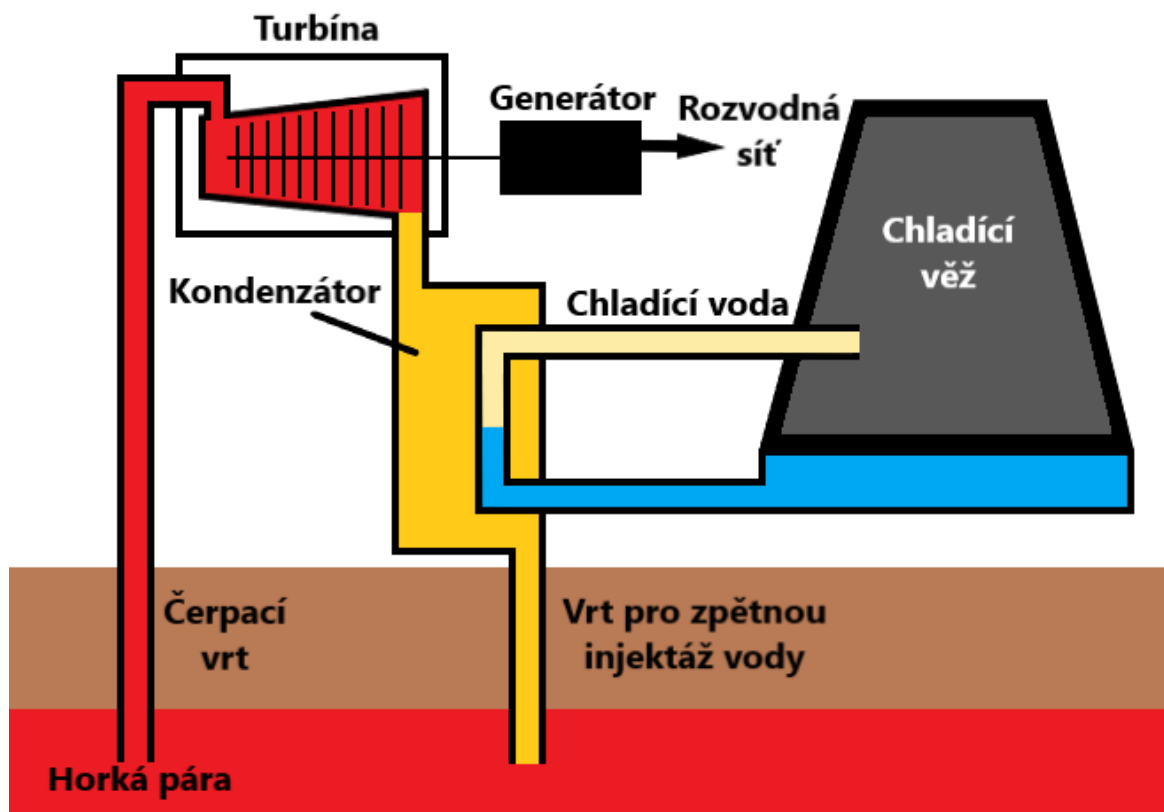
Zdroj, který Česká republika zatím nevyužívá k výrobě elektrické energie s dopadem na větší oblasti. Příkladem využití na našem území může být Ústí nad Labem, kde se za pomoci geotermální energie vytápí prostory bazénu a také zoologické zahrady. Dalším zástupcem využívající geotermální energii je testovací centrum v Litoměřicích, kde se zkoumají možnosti využití geotermální energie. Je zde vrt hluboký 2,1 km s koncovou teplotou 63 °C.



Obr. 5 Odhadované hloubky vrtů v metrech pro dosažení koncové teploty 130 °C, převzato z [42]

Pro vysvětlení v obecné rovině se k výrobě využívá geotermální energie jinak známá jako vulkanická energie. Získané vulkanické teplo ohřeje vodu, která je přeměněna na vysokotlakou páru, využívanou jako u předchozích zdrojů k roztáčení generátorů. U některých geotermálních elektráren využíváme rovnou páru vznikající z přírodních gejzírů a vynecháváme krok ohřevu vody. Tento druh výroby elektrické energie je velice rozšířený ve vulkanických oblastech, například Island či Nový Zéland. Je to jeden ze zdrojů s nejmenším podílem negativ. Palivo není potřeba nakupovat a je přírodního původu. Nemění se ráz krajiny, rozvod je prováděn často pod povrchem. Jediným velkým ekonomickým nárazem je vybudování místa pro odběr geotermální energie. V meších rozměrech se tento druh energie využívá u tepelných čerpadel sloužících pro vytápění

rodinných domů. Tepelná čerpadla zažila v České republice velký rozvoj, a to hlavně z důvodu podpory státem v podobě programu kotlíkových dotací. [35][42]



Obr. 6 Schematické zobrazení geotermální elektrárny, překresleno z [43]

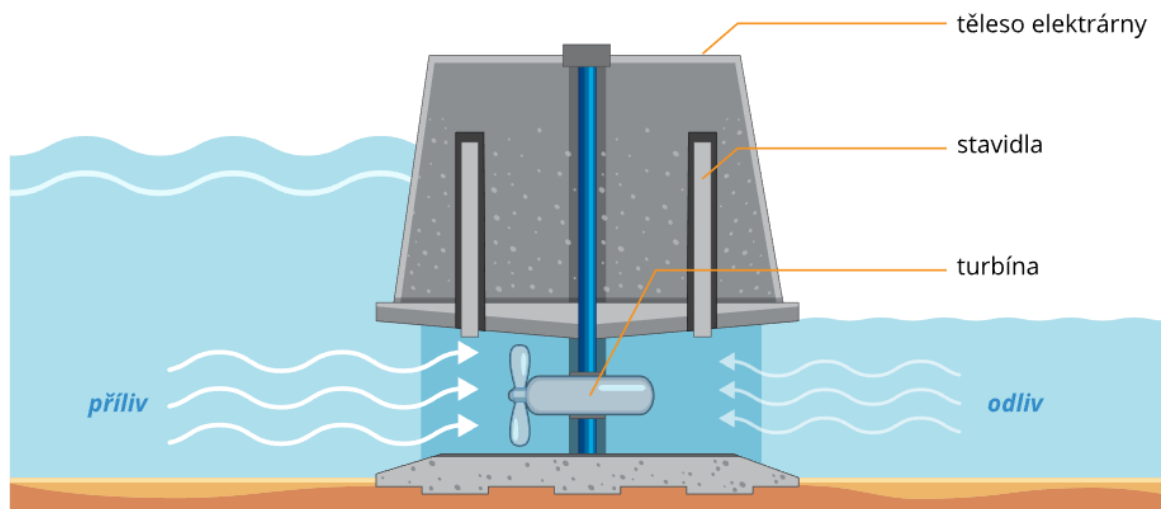
1.8 Jiné elektrárny

Existuje velké množství dalších zdrojů elektrické energie, které nejsou tak rozšířené, jelikož mají atributy bránící k masové instalaci. Většina těchto zdrojů je vázána na specifické podmínky určité části světa.

1.8.1 Přílivové a příbojové elektrárny

Málo rozšířený zdroj elektrické energie využívající proud vody vznikající přírodními vlivy. Voda prochází skrze turbínu, která se tím roztáčí a generátor vyrábí elektřinu. Nevýhodou je malé množství možných míst výstavby. Výhodou je obnovitelnost a emisní čistota. Pravděpodobně se jedná o jeden ze zdrojů budoucnosti pro přímořské státy, a to hlavně v případě kombinace s větrnými elektrárnami. V dnešní době je největší problém nízký instalovaný výkon způsobený hlavně poměrně novým rozvojem tohoto zdroje. Příkladem, jak by takové elektrárny mohly vypadat, může být přílivová elektrárna Sihwa, což je prozatím největší elektrárna tohoto typu na světě. Jedná se o elektrárnu v Jižní Koreji vybudovanou na umělém jezeře. Od roku 2011 je v hrázi jezera spuštěno 10 turbín s tím, že jedna má výkon 25,4 MW. Celková roční produkce elektřiny se pohybuje okolo hodnoty

550 GWh při instalovaném výkonu 254 MW. V tomto projektu se přílivová elektrárna ukázala jako velice prospěšná, jelikož kromě výroby elektřiny zlepšila i kvalitu vody v jezeře. Dříve než byla elektrárny spuštěna a hráz byla nepropustná, se v jezeře hromadily nečistoty a postupně se voda stala nepoužitelná pro zemědělství, což měl být hlavní účel vybudování jezera. Zprovozněním elektrárny se začala voda přirozeně čistit přítokem a odtokem způsobeným přílivem a odlivem. Přesněji se jedná o jmenovitý průtok $482,1 \text{ m}^3/\text{s}$. [44][45]



Obr. 7 Schématické zobrazení přílivové hráze, převzato z [46]

1.8.2 OTEC elektrárny

Zdroj využívající rozdíl teplot vody oceánu v závislosti na hloubce. Teplá voda ohřeje amoniak, který se odpaří a prochází turbínou, kde předá svoji energii, amoniak je ochlazen studenější vodou a cyklus se opakuje. Mezi nevýhody patří nutnost velkého rozdílu teplot vody. Ta je docílena velkým hloubkovým rozdílem studené a teplé vody. [44]

2 Skladování elektrické energie

Jeden z největších problémů moderní energetiky a obecně elektroniky. Neexistuje způsob, jak zachovat 100 % vyrobené energie, která by nepodléhala ztrátám v čase, a tak je do rozvoje oboru ukládání energie investováno velké množství prostředků. V aktuálním čase se rozvíjí několik technologických principů akumulace, a to elektrické, mechanické, chemické a elektrochemické. V poslední době je potřeba akumulace energie umocněna velkým rozvojem obnovitelných zdrojů elektrické energie, které přinášejí do sítě nestabilitu v závislosti na povětrnostních podmínkách, na nichž jsou tyto zdroje závislé. Právě uložště dokážou tuto nestabilitu vyrovnávat a vyhlazovat tím chování sítě. [47][48][49]

2.1 Elektrický princip akumulace

Teoreticky se jedná o nejvhodnější způsob ukládání elektrické energie, jelikož jde o ukládání přímo elektřiny a není nutná žádná konverze na jinou podobu energie. Zároveň se jedná o jednu z nejmladších technologií a její rozvoj je teprve na počátku. Vývoj se ubírá dvěma směry, a to na odvětví super-kondenzátorů a supravodivých magnetických akumulátorů. [47]

2.1.1 Superkondenzátory

Skládá se ze dvou elektrod tvořených pórovitým uhlíkem, mezi nimiž je tekutý elektrolyt. Díky pórovitosti je kapacita schopna dosahovat hodnot jednotek až tisíců faradů. Napětí jednoho kapacitoru je pak maximálně okolo 2,5 V. Dosažení větších hodnot napětí je možné řazením kapacitorů do série. Velkou výhodou tohoto principu je rychlost nabíjení, tak vybíjení. V porovnání s olověnou baterií může jít i o rychlostní rozdíl deset tisíckrát větší. Další výhodou je účinnost pohybující se nad hranicí 90 % a životnost až milionu cyklů. Mezi velké nevýhody patří hustota energie, která je až šedesátkrát menší oproti lithium-iontové baterii a dále velká míra samovybíjení činící 80 % za měsíc. Kombinace výhod a nevýhod tak vylučuje superkondenzátory jako dlouhodobé uložště elektrické energie, a naopak je předurčuje k využití dorovnávaní energetických špiček. Tento typ uložště není aktuálně příliš perspektivní s přihlédnutím na poměr ceny za jednu kilowattu, který se pohybuje na hranici 9000 \$. Pro zlepšení ekonomické výhodnosti by bylo potřeba zavedení masové výroby, což by cenu za kilowattu značně snížilo.[50][51]

2.1.2 Supravodivé magnetické akumulátory

Akumulátor založený na principu supravodivosti způsobujícím pokles elektrického odporu až na nulu, díky čemuž zmizí ztráty přeměnou na teplo. Průchodem stejnosměrného proudu cívkou ponořenou v tekutém heliu se vytváří magnetické pole. Energie může být po nabití skladována prakticky neomezenou dobu. Jedinou podmínkou je neustálé chlazení na teplotu supravodivosti, která se pohybuje pod hranicí -269 °C . Podobně jako u superkondenzátorů je pak možné uvolnit energii ve velice krátké době, a proto je tento akumulátor vhodný na dorovnávání energetických špiček v síti. Další využitím můžeme nalézt v překlenutí výpadku napájení do doby plného zapojení záložního zdroje. V dnešní době vytvořené akumulátory tohoto typu jsou stále spíše vývojové prototypy a jejich další vylepšení do značné míry závisí na zdokonalení technologie supravodivosti. Podle predikcí by se zlepšením mohlo dosáhnout účinnosti přesahující 99 %. Jedná se o velice perspektivní uložení elektrické energie především z pohledu dlouhodobosti skladování energie a následné rychlosti uvolnění elektřiny. Překážkou pro větší rozvoj je cenová náročnost v porovnání s aktuálně používanými uloženími elektrické energie. [52]

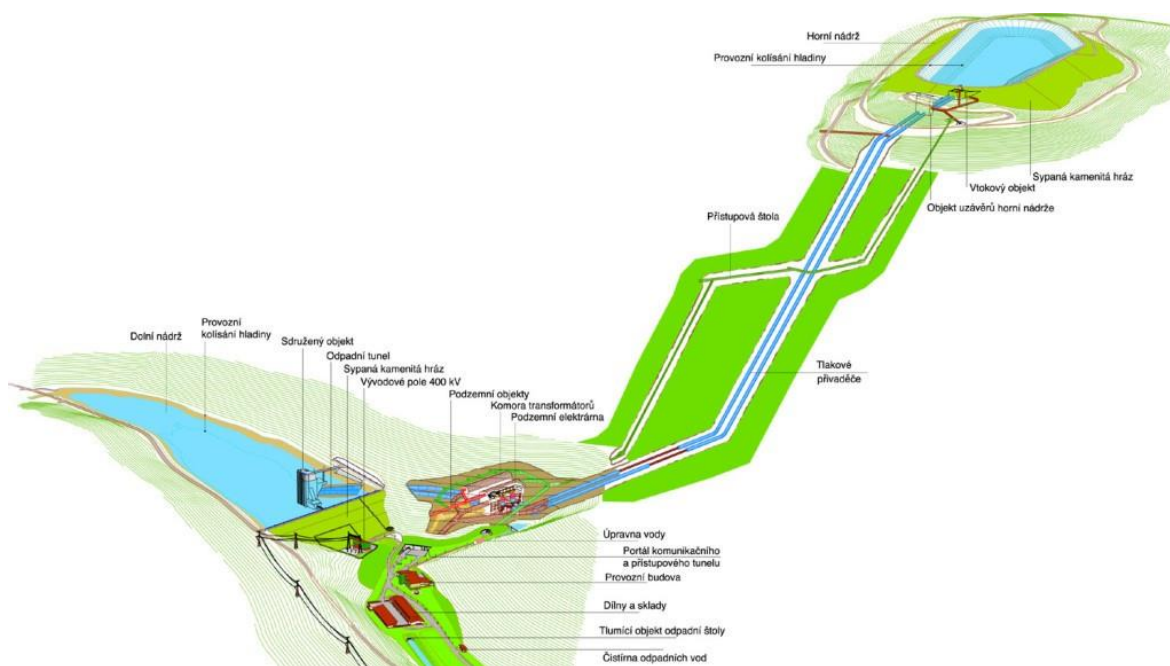
2.2 Mechanické akumulátory

Fungují na principu přeměny vyrobené elektrické energie na energii jiného druhu. Uložení do neelektrické podoby přináší nevýhodu nutnosti převodu, kde dochází ke ztrátám, ale na druhou stranu je často nově nabraná podoba energie značně stabilnější a dlouhodobější. Mechanické uložení můžeme dále dělit na několik způsobů. Jsou to přečerpávací elektrárny, gravitační baterie, setrvačníky nebo uložení do stlačeného vzduchu. [47]

2.2.1 Přečerpávací vodní elektrárny

Často používaný způsob uložení elektrické energie do podoby kinetické energie přečerpání vody. V době přebytku výroby se čerpá voda ze spodní nádrže za použití reverzního chodu turbíny do nádrže horní, kde může setrvat v podstatě neomezenou dobu. V čase nedostatku elektrické energie je pak voda vypuštěna potrubím přes turbínu, která začne pracovat v generátorickém režimu a začne dodávat elektrickou energii do sítě. Mezi výhody patří rychlý náběh maximálního výkonu a také nulové ztráty v době uložení. K jediným ztrátám dochází při čerpání a vypouštění vody. Přečerpávací elektrárny mají účinnost okolo 75 %. Mezi nevýhody patří závislost na specifickém prostředí velkého převýšení spodní a horní nádrže. Tyto podmínky splňují horské oblasti, kde je složitá logistika v době výstavby. Aktuálně jsou v České republice v provozu 3 přečerpávací elektrárny s výkonem nad

45 MW, jmenovitě to jsou Štěchovice II, Dalešice a Dlouhé stráně. Na našem území nejsou v dnešní době plánovány další stavby přečerpávacích elektráren a dochází pouze k vylepšování aktuálních děl v podobě instalace výkonnějších a modernějších soustrojí. Mezi jedinou možností vzniku nové přečerpávací elektrárny na území ČR je přestavba přehrady Orlický náhon, nad kterou se uvažuje od roku 2012, kdy vznikly první studie o zásahu do životního prostředí. Obecně se jedná o velice stabilní způsob uložení energie s minimální rizikem poruchovosti či nebezpečnosti k okolnímu prostředí. Zároveň je tato možnost velice omezená kapacitou uložené energie vzhledem k nutnosti výstavby nové nádrže v případě rozšiřování kapacity. Vysoká spolehlivost a praktičnost tohoto uložení je jen potvrzena velkým množstvím těchto elektráren v zahraničí, především v Číně, kde je hned 32 přečerpávacích elektráren s výkonem nad 1000 MW a nachází se zde i největší přečerpávací elektrárna na světě Fengning s výkonem 3600 MW a kapacitou 40000 MWh. Pro představu, jakou je Čína velmocí v tomto odvětví, na světě je pouze 79 elektráren, co přesahují výkon 1000 MW. Evropskou velmocí je Itálie s instalovaným výkonem 7,7 GW. Největší přečerpávací elektrárnu Evropy nalezneme ve Francii a jedná se o Grand'Maison Dam s výkonem 1800 MW a kapacitou 34800 MWh. [16][53][54]



Obr. 8 Schéma přečerpávací elektrárny Dlouhé stráně, převzato z [53]

2.2.2 Gravitační baterie

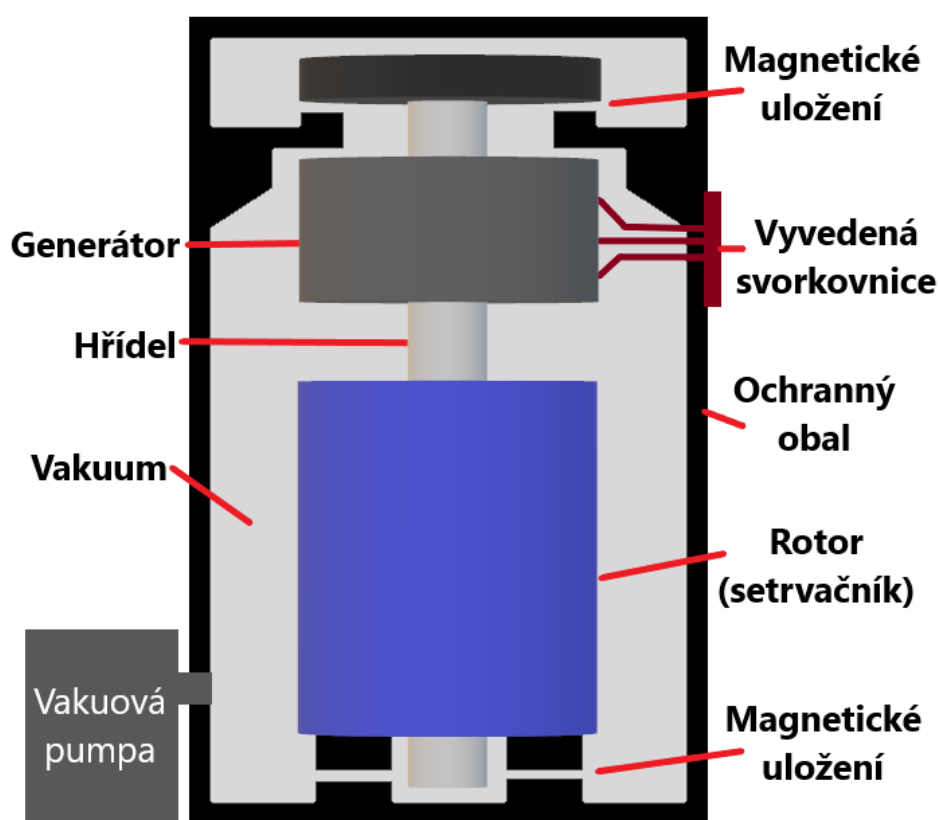
Způsob uložení elektrické energie inspirovaný přečerpávací elektrárnou. V tomto případě se ovšem energie neukládá do energie vody nýbrž do energie hmotného závaží o velké hmotnosti. Podoba tohoto uložení je různorodá a stále se vyvíjí, jelikož je to velice nový

způsob ukládání energie. Jedna z podob je verze švýcarské firmy Energy Vault. Jedná se o 110 metrů vysoký jeřáb jako střed systému, který je obklopený věží z betonových bloků vážících 35 tun. Jeřáb v době přebytku elektrické energie zdvihá betonové bloky na vrchol „zásobníku“ a v době nedostatku elektrické energie je pak spouští na zem. Jeřáb je opatřen šesti rameny, která dokážou individuální rychlostí spouštění regulovat výstupní výkon, který v maximu činí 8 MW po dobu několika hodin. Uložiště je dimenzováno na kapacitu 80 MW. Účinnost tohoto typu ukládání energie se pohybuje mezi 80 a 90 procenty. Další vývojový směr může udat aktuálně probíhající startup projekt Gravitricity, který uvažuje stavbu šachty o hloubce až 1500 metrů, v níž bude uloženo jedno závaží o hmotnosti až 5000 tun. V tomto případě by bylo závaží uloženo na dně šachty a podle velikosti přebytečné energie by bylo vytahováno do různých výšek. Následně by bylo spouštěno různou rychlostí podle potřeby. Tento projekt by měl být realizován v roce 2023 v prozatímní podobě téměř kilometrové šachty. Gravitační baterie jsou uvažovány budovat přímo v místech větrných polí, případně solárních polí, kde budou sloužit k dorovnávání kolísání vyráběné energie. Jedná se o poměrně perspektivní způsob ukládání energie hlavně z důvodu otevřenosti pro nové firmy a startupy. Vývoj u všech způsobů ukládání energie je velice nákladný. Výhodou tohoto akumulátoru je nenáročnost na vzácné zdroje a nákladné chemické postupy, zároveň není potřeba velký prostor na výstavbu jako například u přečerpávacích elektráren. [55][56][57][58]

2.2.3 Setrvačníky

Jeden ze způsobů krátkodobého uložení elektrické energie. V tomto případě se jedná o uložení v podobě kinetické energie rotujícího válcového závaží. Základ takového akumulátoru je tvořen motorem pro roztáčení setrvačníku, dále ložisky, do kterých je setrvačnick uložen a v neposlední řadě musí být opatřen bezpečnostními prvky, jako například elektromagnetem coby brzdou. Dalším bezpečnostním prvkem je ukládání setrvačnicků do kontejnerů dimenzovaných na zadržení energie rotoru v případě poruchy. Tyto akumulátory můžeme dále dělit na podskupiny. První ze skupin je pomaloběžný setrvačnick, který dosahuje rychlosti od 5000 otáček za minutu až do 50000 otáček za minutu. Tato skupina má rotor o velké hmotnosti, která činí u těch největších až 10 tun. Druhá skupina jsou pak setrvačnický o otáčkách v řádek statisíců za minutu. Tyto akumulátory jsou konstruovány s lehčím rotorem a narážejí na problém rychlé ztráty své energie v případě ukončení roztáčení. Tento nedostatek se kompenzuje ukládáním do prostoru vakua a dále výměnou mechanických ložisek za ložiska magnetická. V obecnosti platí, že mezi výhody u

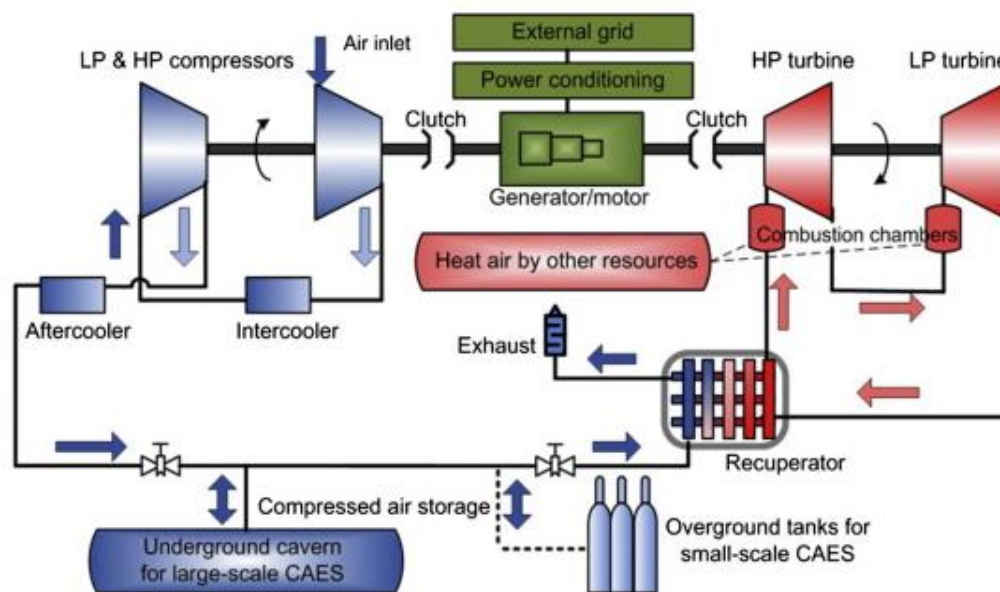
všech setrvačnicků patří dobrá životnost, kterou některé zdroje uvádějí na 180000 cyklů, další pak uvádějí v podstatě neomezenou při dodržení preventivní údržby. Mezi nevýhody patří rychlé samovybíjení, které u nejlepších verzí akumulátorů činí řádově hodiny a u horších zároveň menších rotorů pak řádově minuty. Setrvačnický nalézají své využití hlavně v prostoru automobilového a dopravního průmyslu, jedná se ale spíše o prototypy a vývojové provedení instalací. Několik takových provedení je testováno v autobusové dopravě po městech, kdy instalovaný setrvačnický roztáčíme na koncových stanicích dopravy a po dobu jízdy mezi stanicemi dochází k vybíjení. Výhodami tohoto provedení je tichost chodu, odpadá potřeba trolejí či spalovacích motorů, a tím se zmenšuje emisní zatížení měst. Dalším testováním a vývojem prochází využití u osobních automobilů, kde setrvačnický nabíjíme energií brždění a následně získanou energii využíváme při akceleraci. Toto provedení lze využívat jak u plně elektrických automobilů, tak i u hybridních, kde se rapidně snížila spotřeba. Mezi exotičtější využití pak patří osazování setrvačnicků do vesmírných základen, které jsou závislé na solární energii, přebytkem které se roztáčí rotor a v čase, kdy je solární energie odstíněna pak odebíráme energii ze setrvačnicku. Výhodou je právě nízká poruchovost a vysoká životnost. [59][60][61]



Obr. 9 Schematické zobrazení konstrukce setrvačnicku, překresleno z [59]

2.2.4 Stlačený vzduch

Poslední možností mechanického ukládání je přeměna elektrické energie do energie stlačeného vzduchu. Do uzavřeného prostoru je v době přebytku elektrické energie stlačován vzduch a v době potřeby je následně uvolňován přes turbínu, jíž roztáčí. Turbína následně opět mění energii vzduchu do původní podoby elektrické energie. Jako jímky na stlačený vzduch se používají balony ponořené pod hladinu moře či velké kovové nádrže. Tato řešení uložení nejsou schopny pojmout příliš velké množství vzduchu, a proto se dlouhodobě uvažovalo jaké prostory využívat k masivním uložistům a jako jediné řešení se ukázalo využití uzavřených dolů. Po celém světě aktuálně vznikají projekty na využití vytěžených dolů na ukládání stlačeného vzduchu. Veliký rozmach tohoto typu uložistí je v Číně, kde vzniká řada projektů. Nejaktuálnější je uložisté v Shangdongu, které má začít pracovat v roce 2024 a jeho plánovaný výkon je 350 MW na kapacitu 1,4 GWh. V tomto případě bude vzduch stlačován pomocí kompresorů do utěsněných solných dolů. Maximální úroveň tlaku dosáhne po osmi hodinách a následně může uvolňovat energii po dobu čtyř hodin. V následujících letech je povolena výstavba dalších uložistí s možným výkonem 700 MW, dále vznikají projekty s celkovou možností výkonu až 5 GW. Obecně největší nevýhodou těchto uložistí je malá účinnost, která činí přibližně 50 %, a to hlavně z důvodu nevyužití odpadního tepla vznikajícího při stlačování. Proto se zavádí adiabatické uložisté, kde je vznikající teplo uchováno pro následný ohřev vypouštěného vzduchu. Tím se zvětší účinnost na 70–75 % a zároveň se sníží emise dříve vznikající z ohřevu vypouštěného plynu za pomoci plynových hořáků. Další nevýhodou je zatím vysoká cena výstavby. Mezi výhody patří v podstatě neomezená doba uložení zapříčiněná nulovým samovybíjením. Dále je mezi výhody řazeno poměrně dlouhé vybíjení, dosahující podobných časů jako přečerpávací elektrárny, s nimiž je tato technologie často srovnávána a zaostává za nimi pouze řádově jednotkami procent účinnosti a nemožností maximálního výkonu v několika sekundách. Obecně se dá říct, že tyto uložisté aktuálně vznikají na územích států, které cílí na obnovitelné zdroje a jejich převahu v blízkých letech jako je například Kalifornie zaměřená na převahu obnovitelných zdrojů do roku 2030. [62][63]



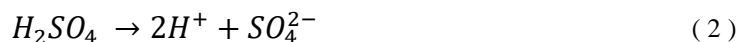
Obr. 10 Principiální schéma CAES systému, převzato z [64]

2.3 Chemické akumulátory

Jedná se o úložiště založené na principu chemických změn látek uložených v akumulátoru. Tento princip je již dlouhodobě prozkoumaný a patří k nejlevnějším variantám úložišť. Technologie výroby a celkového zpracování je zvládnutá na vysoké úrovni, a právě z toho důvodu jsou rozšířené i mezi širokou veřejnost v podobě „příručních“ akumulátorů. Mezi velké výhody patří možnost opětovného nabíjení a vybíjení. „Vybitý akumulátor se nabíjí tak, že reakční produkty se převedou elektrickým proudem opět na původní reaktanty. Během nabíjení nabíjecím proudem z jiného zdroje se dodávaná elektrická energie mění na chemickou energii a během vybíjení se akumulovaná chemická energie opět mění na elektrickou energii dodávanou do elektrického obvodu, do kterého je akumulátor zapojen. Záporná elektroda je katodou během vybíjení a anodou během nabíjení. Při vybíjení zde reaktant oxiduje a volné elektrony předává záporné elektrodě. Kladná elektroda je anodou během vybíjení a katodou během nabíjení. Při vybíjení je zde redukován reaktant a volné elektrony reaktant přijímá z kladné elektrody [65].“ Za léta vývoje vykristalizovalo několik druhů takových úložišť, které jsou vhodné do elektrických soustav jako třeba olověné akumulátory, nikl-kadmiové a nikl-metal hydrid akumulátory, Li-ion baterie a sodíkovosírové akumulátory. [65]

2.3.1 Olověný akumulátor

Jedná se o úplně první vynalezený typ chemické baterie. Její konstrukce je tvořena ochranným pouzdem, ve kterém jsou uloženy mřížkové elektrody ze slitin olova. Slitiny se používají pro vylepšení mechanických i chemických vlastností elektrod a lze použít například vápník, cín a selen. Dále se v pouzdře nachází elektrolyt v podobě roztoku kyseliny sírové, které svými vlastnostmi disociuje na kladné vodíkové ionty a záporné síranové ionty.



Mezi výhody tohoto typu baterií patří nízká cena, poměrně dlouhá doba na samovybití a schopnost flexibility co se týče provozních teplot. Nevýhodou je pak poškozování ve stavu úplného vybití, dlouhá nabíjecí doba, která se pohybuje okolo 15 hodin, nebezpečí pro životní prostředí a degradace použitých materiálů. Z nevýhod vyplývá, že pro budoucí využití nejsou tyto akumulátory příliš dobré, ať už z důvodu sebepoškozování, tak z důvodu nebezpečí pro životní prostředí. [66][67]

2.3.2 Nikl-kadmiové a nikl-metal hydrid akumulátory

Nikl-kadmiové baterie jsou v nabitěm stavu složené z kladné elektrody v podobě oxidu trojmocného niklu (NiOOH) a záporné elektrody složené z kovového kadmia. Prosto mezi elektrodami je vyplněn hydroxidem draselným coby elektrolytem. Ve vybitěm stavu je pak kladná elektroda pokryta hydroxidem nikelnatým a záporná hydroxidem kademnatým.

Tabulka 5 Chemické reakce nikl-kadmiové baterie

	Nabitý stav	Vybitý stav
Anoda	$NiOOH + H_2O + e^-$	$Ni(OH)_2 + OH^-$
Katoda	$Cd + 2OH^-$	$Cd(OH)_2 + 2e^-$

Z důvodu chemického složení baterie je tlak na jejich úplné zakázání, což je možné u malých baterií s dobrou možností náhrady za jiný typ. U velkých provedení využívaných v energetice není zatím náhrada, a proto je jejich provoz stále povolen, i když se speciálním povolením. Výhodou tohoto akumulátoru je velká životnost, obecně malá náchylnost na poškození a dobrý teplotní rozsah pro provoz. Baterie je možné skladovat i ve vybitěm stavu a nedochází k jejich degradaci. Mezi nevýhody patří nízké napětí článku a paměťový efekt, který v případě neúplného vybití snižuje výslednou kapacitu. NiCd akumulátory jsou hojně

využívané pro fotovoltaické instalace z důvodu stabilní vybíjecí charakteristiky, která zajišťuje konstantní napětí od 80 do 20 % kapacity a také pro jejich dříve zmiňované dobré teplotní rozsahy. Druhý zmiňovaný typ baterií je nikel-metal hydrid. Jedná se v podstatě o vylepšení NiCd baterií.

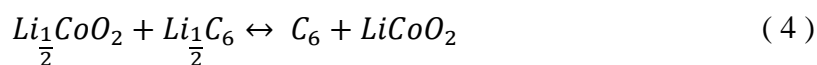
Tabulka 6 Chemické reakce nikel-metal hydrid baterie

	Nabitý stav	Vybitý stav
Anoda	$2NiOOH + 2H_2O + 2e^-$	$2Ni(OH)_2 + 2OH^-$
Katoda	$H_2 + 2OH^-$	$2H_2O + 2e^-$

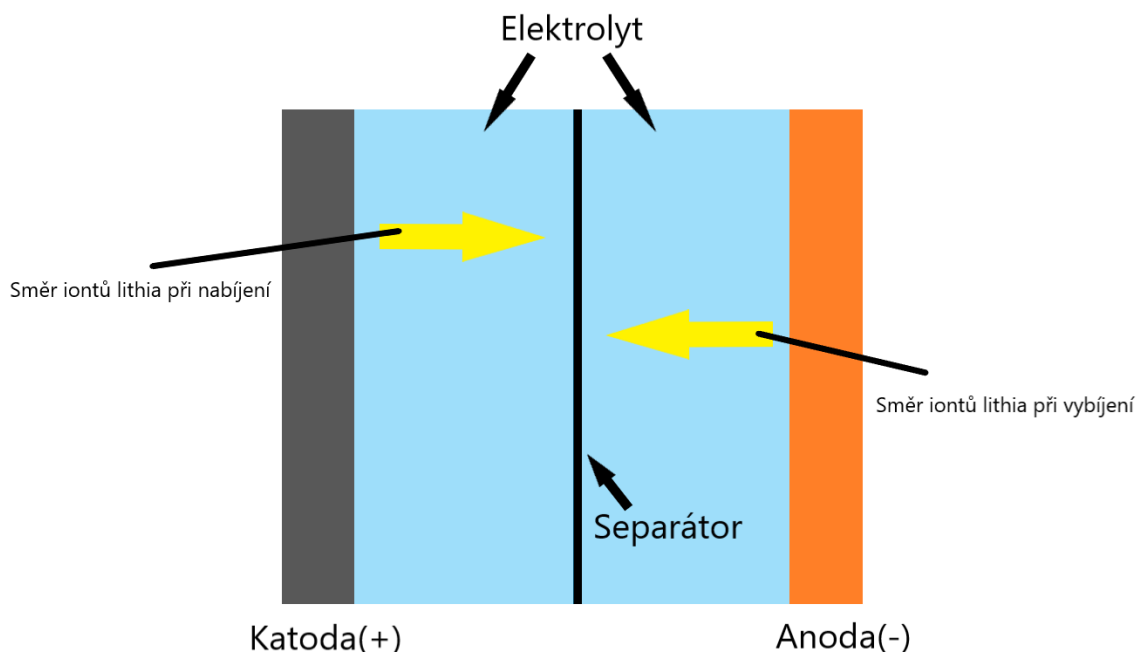
Rozdílem je uložený vodík na kladné elektrodě v podobě hydridu kovu a na záporné elektrodě není použito kadmium. Právě jeho nahrazení zpřičiňuje přijatelnost pro životní prostředí a zlehčení celkové konstrukce. Další výhodou je téměř úplné odstranění paměťového efektu, a tím je možné baterii využívat na časté střídání nabíjení a vybíjení. Nevýhodou je vyšší cena, která činí přibližně 18 dolarů za kWh, oproti 7 dolarům v případě NiCd. Zmiňované výhody předurčily nikel-metal hydrid akumulátory pro využití v automobilovém průmyslu. V roce 2015 bylo 95 % hybridních automobilů osazeno právě tímto typem baterií. [68][69]

2.3.3 Li-ion akumulátor

Tento druh je nejpoužívanějším typem akumulátorů. V roce 2015 byla celková světová kapacita baterií zastoupena z 85,6 % právě typem Li-ion. Baterie se skládá z oxidů kovů lithia v kladné elektrodě a z uhlíkové (grafitové) záporné elektrody. Mezi těmito elektrodami je elektrolyt složený ze solí lithia rozpuštěných v organických uhličitanech, a také se zde nachází separátor zabraňující elektrickému kontaktu mezi elektrodami.



Funkčnost akumulátoru je založena na přechodu iontů lithia. Při nabíjení dochází k přechodu iontů z kladné na zápornou elektrodu a při vybíjení se cyklus obrátí a ionty přecházejí opačným směrem.



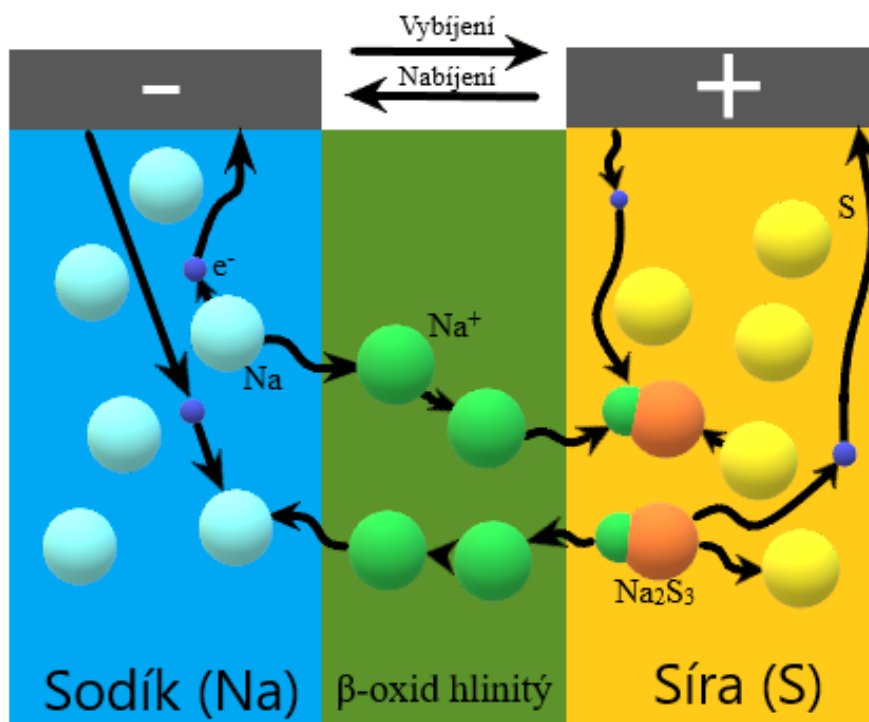
Obr. 11 Schematické zobrazení struktury li-ion baterie, překresleno z [70]

Mezi výhody této baterie patří velká spolehlivost, množství konstrukčních provedení a tvarů, malé samovybití. Nevýhody jsou stárnutí baterie, které může být urychleno vystavením vysokým teplotám či velkými nabíjecími proudy. Další nevýhodou je poškozování při okrajových stavech, to znamená že baterie degraduje při vysokém nabití či vybití a ideální pro zachování parametrů je provoz mezi 20 a 80 procenty. Z důvodu zamezení poškozování se zavádějí systémy hlídající stav nabití, a tím značně prodlužují životnost. K dalšímu snížení vlivu negativ může přispět vývoj nanomateriálů a jejich zakomponování. [71]

2.3.4 Sodíko-sírový akumulátor

Baterie původně vynalezená a zkoumaná firmou Ford pro automobilový průmysl, později prodaná společnosti NGK, která se zaměřila na její instalaci do statických stanic. Základní konstrukce je tvořena kovovým pouzdrem, ve kterém je uložena kladná elektroda v podobě roztavené síry a záporná elektroda v podobě roztavené sodíku. Obě elektrody jsou od sebe odděleny keramikou složenou z beta oxidu hlinitého. Tato keramika funguje jako elektrolyt nepropustný pro tekuté látky a propouští pouze kladné sodné ionty ze záporné elektrody na kladnou elektrodu, kde redukují za vzniku sulfidu sodného (Na_2S_3). Při procesu nabíjení se tento proces obrací.





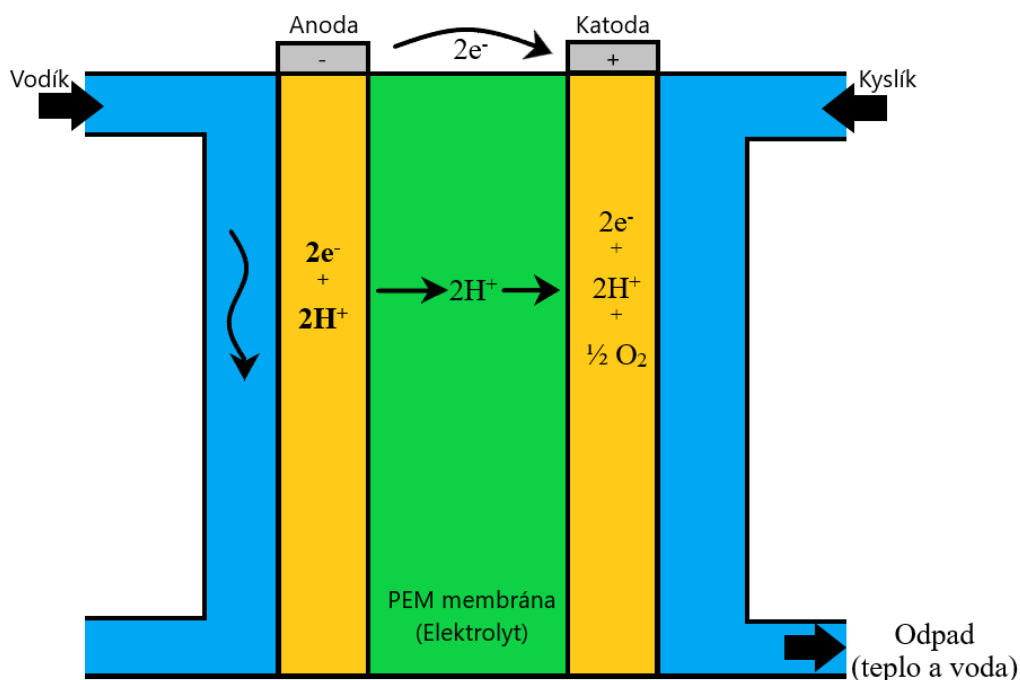
Obr. 12 Strukturální schéma sodíko-sírové baterie, překresleno z [72]

Pro správné fungování je potřeba udržovat akumulátor na teplotě pohybující se nad 300 °C, což je aktuálně největší slabinou. Při této teplotě se udržuje síra i sodík v tekutém stavu a zároveň se udržuje dobrá vodivost elektrolytu. Tato podoba baterií je původní vyvíjená cesta s účinností okolo 90 % a potřebou vyhřívání, což zapříčiňuje požadavky na větší údržbu a přináší poruchovost. Ovšem i přes tyto problémy jde o baterie s hustotou energie lepší než u Li-ion baterií a obsažené materiály nejsou toxické. Další výhodou je nižší cena prvků v porovnání s lithiem, které naopak na ceně stoupá z důvodu velkého odběru na baterie elektromobilů. Ve výsledku tyto baterie v původní podobě nemají příliš velkou budoucnost, proto specializované výzkumy a startupy pracují na snížení provozní teploty a zvýšení životnosti akumulátorů za použití jiných sloučenin a materiálů jak pro elektrody, tak elektrolyt. Jedním z takových výzkumů může být práce Dr. Shenlong Zhaa a docenta Bin-Wei Zhanga, kteří se zaměřují na snížení provozní teploty až na úroveň okolo 20 °C, tedy na pokojovou teplotu. Základem jejich práce je vývoj a vylepšení katody za pomoci katalyzátoru na atomové úrovni představující grafenové rámce dotované sírou. Nové provedení zajistí funkčnost za pokojové teploty a zvedne výslednou kapacitu na čtyřnásobek maxima lithiových baterií. Tento výzkum si dává za úkol do poloviny roku 2024 dokončit měření a výzkum a následně za další dva až tři roky provést komerční rozšíření. V případě, že by se prokázala laboratorní funkčnost i u velkých instalací, znamenalo by to velký posun

nejen pro samotné uložení, ale i pro rozšíření obnovitelných zdrojů, které jsou právě na skladování přebytečné energie závislé. [73][74][75]

2.3.5 Vodíkové baterie

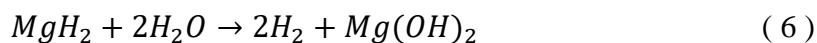
Aktuálně je vodík přibližně jedním procentem ze všech zdrojů energie a vodíková baterie je technologie založená na ukládání vodíku v různých podobách. Jedná se o nejlehčí a nejjednodušší plynný prvek a tvoří převážnou část hmoty ve vesmíru. Aktuálně největší podíl na jeho výrobě zabírají fosilní paliva, což není příliš perspektivní, jelikož vzniká uhlíková stopa. Z toho důvodu je do budoucna uvažována pouze elektrolýza vody probíhající průchodem stejnosměrného proudu z jedné na druhou elektrodu. Proud průchodem vodou rozštěpí vazbu mezi vodíkem a kyslíkem. Následně je z tohoto procesu odebírán vodík v čisté formě a odpadem je pouze kyslík. K vyrobení jednoho kilogramu vodíku se využije přibližně 38 kWh energie za předpokladu, že elektrolýza probíhá za účinnosti okolo 90 %. Dále je často využito dalších asi 10 kWh energie na zkapalnění vodíku, ke kterému dochází při teplotách $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Úprava na kapalný vodík se provádí z důvodu skladování. Právě ukládání vodíku je jedním z největších problémů této technologie, jelikož vodík reaguje s kyslíkem, což způsobuje hoření. Nádoby na vodík musí být vyráběné z materiálů nereagujících s tímto prvkem, reakce by mohla způsobit degradaci materiálů a následný únik způsobující požár či výbuch. Při použití nízkouhlíkové oceli je skladován při tlacích 20 MPa a při použití kompozitních materiálů se speciální vnitřní kovovou vrstvou dosahujeme tlaků až 70 MPa. Při ukládání v kapalné formě jsou používány nádrže s více vrstvami pláště, který izoluje teplotu, ale zároveň působí jako bezpečnostní prvek z důvodu vyplnění prostoru mezi vrstvami vakuem. Následně je vodík využíván na zpětnou výrobu elektřiny za pomoci palivových článků nebo upravených plynových aktuálně používaných turbín. Zmiňované palivové články pracují na principu chemické reakce paliva a okysličovadla. Na jedné straně je zápornou elektrodou přiváděno palivo, v tomto případě vodík a na druhé straně je kladnou elektrodou přiváděno okysličovadlo, v tomto případě kyslík. Reakcí pak vzniká voda a elektrická energie. Palivové články v teoretickém případě pracují s účinností až 90 %, ovšem ve skutečném provozu dosahují maxima 60 %.



Obr. 13 Schematické zobrazení palivového článku, překresleno z [76]

Jedná se tak o bezuhlíkový zdroj elektrické energie a zajímavé uplatnění by mohly naleznout u elektromobilů, kde by vyráběli elektřinu pro pohon automobilu. Druhým zmiňovaným způsobem zpětné přeměny vodíku na elektřinu je využití plynových turbín. Prvním projektem na toto téma je experiment firmy Siemens v jejich pobočce ve Francii. Siemens přeměňuje aktuální turbínu využívající zemní plyn na turbínu postupně využívající jen vodík. Vize tohoto projektu je poměrně jasná. Z obnovitelných zdrojů energie jako jsou větrné elektrárny a sluneční elektrárny je získávána kolísající elektrická energie, která je ukládána do vodíku za použití elektrolýzy vody. Následně je tento vodík v případě potřeby spalován a využíván k roztáčení turbíny a výrobě elektřiny a tepla. Projekt vznikl v roce 2020 s cílem v roce 2023 vyrábět se 100% využitím vodíku. Mezi těmito lety se věnovalo úsilí do technologie ukládání a úpravy turbíny pro spalování vodíku. Specifická možnost využití vodíku je přímé použití coby paliva ve spalovacím motoru. Jedná se o velice podobnou konstrukci aktuálního motoru na konvenční paliva. Mezi výhody tohoto řešení patří nulové emise, lepší kompresní poměr vodíku a široký rozsah hořlavosti. Nevýhodou je pak nerozvinutý systém skladování a bezpečnosti. Dále nejsou čerpací stanice na vodík a ani jeho světová produkce není ani zdaleka dostatečná pro pokrytí potřeb spojených s případným velkým rozvojem tohoto odvětví. Velkým průlomem vodíkového průmyslu je objev zvaný Powerpaste. Jedná se o pastu slučující hořčíkový prášek a vodík při teplotách $350\text{ }^\circ\text{C}$ a pětinasobku atmosférického tlaku, následně je přidán ester a sůl kovu. Výsledným

produktem je hydrid hořečnatý (MgH_2) v podobě kašovitého skupenství, stabilní při běžném tlaku a teplotě. Stabilita se narušuje až při teplotách okolo 250 °C. Takto připravená pasta je plněna do kartuší podobných dnes užívaným ve stavebnictví například na silikon, nebo lze pastu naplnit do větších nádrží či cisteren. Pro zpětné uvolnění vodíku potřebného k výrobě elektřiny postačí pouze voda.



Z této rovnice je vidět že pouze polovina vyrobeného vodíku pochází z pasty a druhá je produkována z vody. Powerpaste je schopna ve svém objemu uložit až desetkrát více energie při stejné hmotnosti jako lithiové baterie. Ovšem následně musíme započítat nízkou účinnost palivových článků, což výrazně sníží maximální potenciál pasty. Dle výzkumníků z Fraunhoferova institutu, kteří pastu vynalezli, je při využití v automobilovém průmyslu dojezd srovnatelný s tradičními prostředky poháněnými spalovacími motory nebo i vyšší. Největší posun pasta zajišťuje v oblasti nevýhod plynného nebo i kapalného vodíku, a to je ukládání a transport. Díky stabilitě při běžném tlaku odpadá potřeba nákladných tlakových nádrží, a zároveň nejsou potřeba takové bezpečnostní opatření. Díky polotekutému skupenství je možné powerpaste čerpat a převážet v běžných cisternách, což usnadní transport k čerpacím stanicím, ale vytvoří i možnost dočerpání kartuší či zásobníků pro domácí užití. Představa vědců, kteří pastu vynalezli je jasná. Na čerpacích stanicích by nahradila fosilní paliva a díky stabilitě by mohla být skladována i v domácím prostředí. Následně by se kartuše libovolně měnily ve vozidlech a k provozu by stačilo dotankovat nádrž vodou. Díky odpadnutí potřeby rozměrných tlakových lahví by pak mohla nahradit i palivo u menších dopravních prostředků jako jsou motorky či skútry. Díky značně menší hmotnosti oproti bateriím je pak i možnost rozšíření pro letecký průmysl či pro bezpilotní drony, u kterých by mohla pasta prodloužit letovou dobu z řádově minut na hodiny. Obecně se dá říci, že powerpaste by našla uplatnění v mnohých oborech, od automobilového průmyslu až po turistiku. Všude stačí jen kartuše s pastou, voda a palivový článek. Fraunhofer IFAM v roce 2021 uvedl do provozu první výrobu této pasty a jejich produkce činí 4 tuny ročně. Ve výsledku se dá říct, že je to další krok k bezuhlíkové budoucnosti a v tomto případě se jedná o krok opravdu velký. Tento objev volně navázal na o něco starší průlom v ukládání vodíku, a to přesněji na vynalezení kovové „houby“ vázající do své struktury vodík. K průlomu došlo na Northwestern University, kde vědecký tým vynalezl nový kovovo-organický materiál s velkou porézností vázající jak kapalně, tak plynné skupenství vodíku či metanu. Takto uložený vodík má velkou stabilitu a není potřeba

zvýšeného tlaku. To by při použití v automobilovém průmyslu odstraňovalo problém s nebezpečným a objemným ukládáním vodíku a umožnilo větší dojezd, jelikož struktura uloží několika násobek vodíku. Tato struktura ovšem nenachází jediné užití v automobilovém průmyslu, ale již jsou první případy užití pro domácí podmínky. Australská firma LAVO uvedla na trh první domácí jednotku ukládající vodík právě za použití kovové houby.

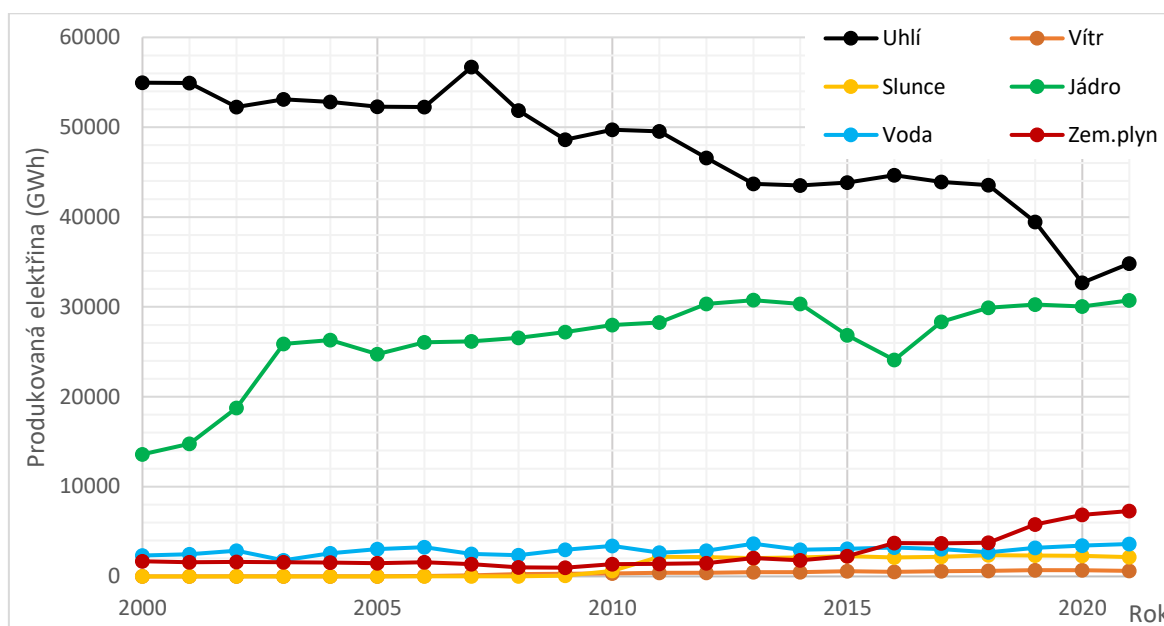


Obr. 14 Domácí jednotka vodíkové baterie, převzato z [80]

Jedná se o zařízení velikosti lednice, ve kterém probíhá jak elektrolýza vyrábějící vodík, tak následná zpětná přeměna za pomoci palivového článku. Ovšem produkt se nestal příliš populárním, a to hlavně díky ceně 25000 amerických dolarů při udávané účinnosti okolo 50 %. Nevýhodu v účinnosti by měla nahrazovat dlouhá životnost udávaná na 30 let, co je životnost i fotovoltaické elektrárny a poměrně dobrá kapacita zajišťující dodávku elektřiny na dva dny pro průměrnou domácnost. [77][78][79][80]

3 Hodnocení a predikce energetiky v ČR

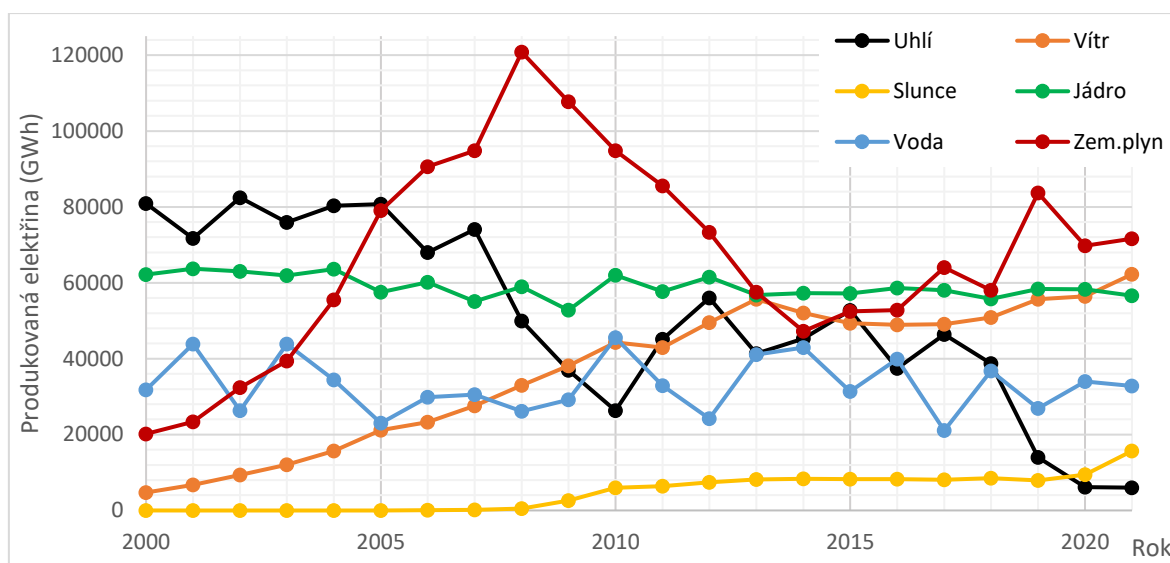
Jak naznačuje Graf 1 a jak bylo dříve v textu zmiňováno, nejrozšířenějším zdrojem elektrické energie v České republice jsou uhelné elektrárny, které zároveň zapříčiňují největší problém v budoucím dodržení energetického mixu. V roce 2020 byl cíl stanovený Českou republikou 13 % podíl obnovitelných zdrojů na celkovém objemu vyrobené elektřiny. Tento cíl se podařilo dodržet. Ovšem dalším cílem Evropské unie je dosažení 32 % OZE pro rok 2030, a to už nutí radikálnější změny energetické strategie různých států. [81]



Graf 1 Energetický mix ČR pro vybrané zdroje, data převzata z [82]

Z trendu grafu energetického mixu ČR od roku 2000 je patrné, že hlavně v minulosti byl jasně preferovaný a vlastně nezpochybnitelný zdroj elektrické energie zajišťován uhelnými elektrárnami. Nemalou součástí energetického mixu zastávala i jaderná energie, v té době pouze v podobě jaderné elektrárny Dukovany. Později v roce 2002 byl zahájen provoz Jaderné elektrárny Temelín, a tím byl navýšen obsah vyráběné elektrické energie na našem území a bylo tak možné elektřinou zásobovat i okolní státy. Tak se zajistila energetická stabilita a od té doby se jako by ztratil zájem o rozvoj jiných zdrojů. Byly zde stále vodní elektrárny zajišťující dorovnávání nestabilit sítě a jiné zdroje nebyly příliš diskutované. Okolo roku 2009 pak vypukla vlna rozvoje fotovoltaických elektráren, která ovšem rychle narazila na strop objemu výroby, trvající až do aktuální doby. To je zapříčiněno nedostatečnou přesvědčivostí účinnosti a ekologičnosti panelů, zároveň působí problémy nulový rozvoj legislativních mantinelů. V neposlední řadě je aspektem zastavení většího

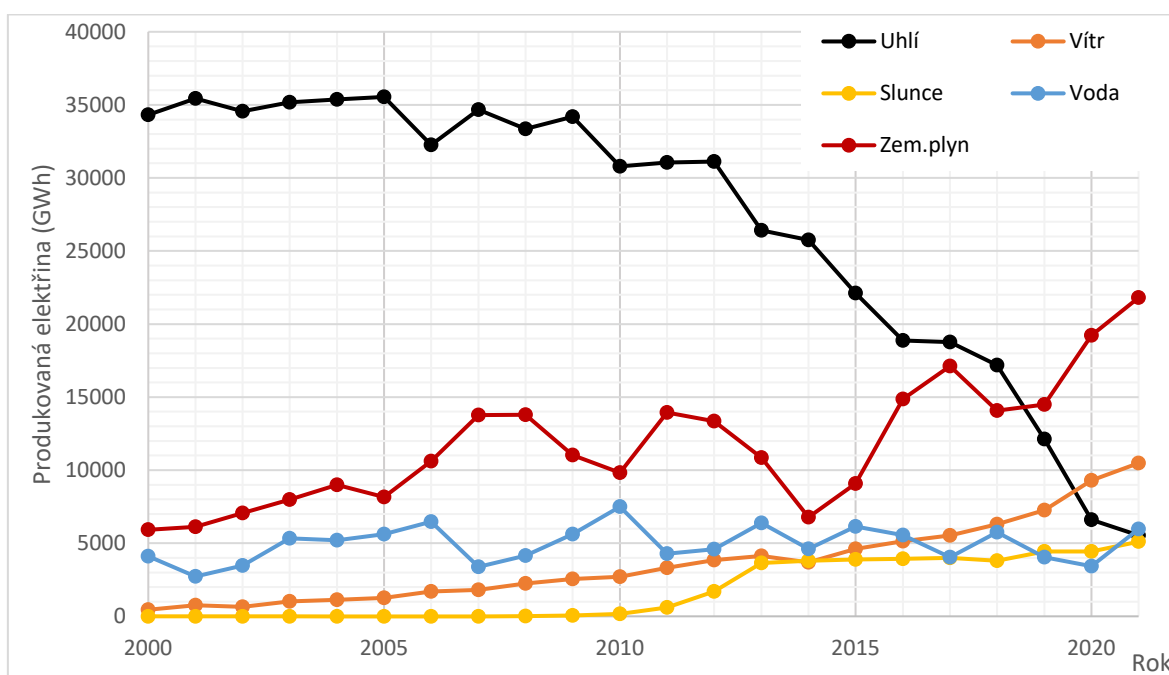
rozvoje dotační systém, který je přehlcený a stát nestíhá odbavovat v dostatečné rychlosti. Ve výsledku je čím dále častější otázka znalé veřejnosti, ale i části odborníků, zda je potřeba dotační systém pro fotovoltaické systémy, jelikož jejich cena se tím uměle zvyšuje a dá se téměř říct, že je navýšena právě o část dotovanou státem. Řešením tohoto problému by mohla být regulace ceny fotovoltaik při zachování stejných výší dotací, a tím by se rapidně zvedla dostupnost, a tím i zvýšil podíl na zásobování elektřinou. Předlohou pro Českou republiku mohou být jiné státy, které měly, anebo mají podobnou energetickou situaci. Nejlepším ukazatelem směrů vývoje by mohlo být Španělsko, které se stalo v posledních pěti letech velmocí ve výstavbě nových solárních elektráren.



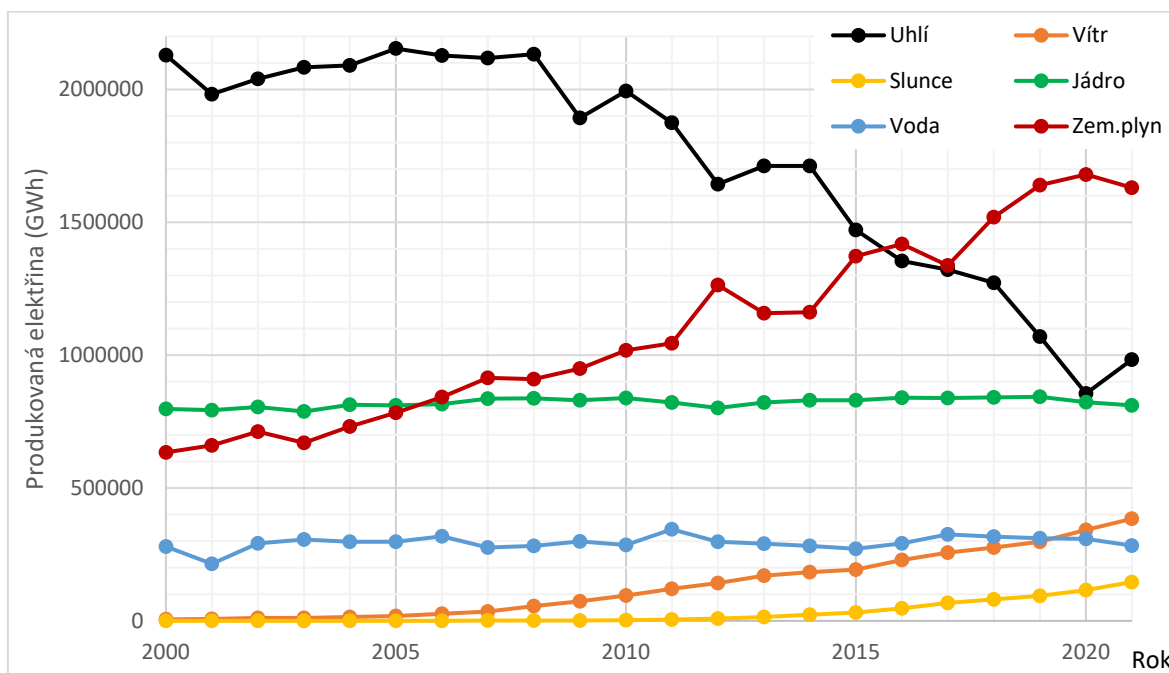
Graf 2 Energetický mix Španělska pro vybrané zdroje, data převzata z [82]

Jak je vidět z grafu 2, okolo roku 2009 zaznamenalo Španělsko podobný nárůst výkonu fotovoltaických elektráren, a naopak co do podílů v energetickém mixu bylo ČR na větším procentuálním podílu ovšem s rozdílem jasně španělské vize ohledně dalšího rozvoje. V České republice šlo o “úžasný” pokrok v rozvoji a dalších 10 let se v podstatě mluvilo jen o zvládnutí velkého nárůstu, ale v ten nejvíce kritický moment nutnosti dalšího rozvoje se přestaly dít jakékoliv kroky, jak po legislativní stránce, tak po stránce rozvoje komponent potřebných k obnovitelným zdrojům. Například se úplně zastavil rozvoj úložišť elektrické energie, a díky tomu hrozí sankce od Evropské unie za nedostatečnou podporu rozvoje obnovitelných zdrojů. Změna by mohla nastat nástupem nové vlády s programem jasně podpory obnovitelných zdrojů. Predikce je taková, že by plán vycházel z druhého nárůstu fotovoltaiky ve Španělsku, kdy rapidně klesla cena panelů a firmám se začalo vyplácet budovat fotovoltaické pole bez dotačních programů. To není ale jediná věc, která musí provázet velký nárůst. Dále se musí budovat legislativní rozměr a musí se zrychlit výstavba

všech potřebných staveb. Právě legislativní stránka a její nedostatečná flexibilita je největší překážkou španělské cestě k dalšímu masivnímu rozvoji fotovoltaiky. Narážejí na to, že z šestiletého cyklu realizace fotovoltaického pole jsou až čtyři roky zabrány byrokratickými záležitostmi. [84] Přitom plánování zabere pouze rok a další rok trvá výstavba. Z toho by si Česká republika měla poučit a jasně zjednodušit vyřizovací rámec pro výstavbu velkoplošných elektráren, ale i pro montáž fotovoltaiky na rodinné domy. Velké množství lidí odsouvá myšlenky využití na svém domě právě z důvodu složitosti vyřizování povolení. Do velké míry podobné je to s větrnými elektrárnami, které ovšem zasahují pouze prostor velkých společností a množství možných žádostí o výstavbu je značně menší než u fotovoltaických elektráren. Větrné elektrárny na území ČR naráží na problém prostoru výstavby, kdy se nejvhodnější prostory pro výstavbu nacházejí v lokalitách národních parků. Dalším problémem je velká skeptičnost obyvatelstva z důvodu neznalosti a nedostatečné informovanosti ohledem hluchnosti a zásahu do jejich životů. Je jasné, že na našem území nemůžou vzniknout obří větrné farmy, jako je to možné u přímořských států, ale i při dosažení zásahu do energetického mixu v řádech vyšších jednotek procent, umožní to snížení využití uhelných elektráren či elektráren na zemní plyn. Právě u států jako je Česká republika by mělo platit, že je potřeba budovat každý dostupný obnovitelný zdroj, jelikož geografická poloha neumožňuje velkou dominanci jednoho zdroje jako je například větrná energie v Dánsku či sluneční energie ve Španělsku. Tento trend je potvrzený a ověřený i v jiných státech jako je Řecko či USA.



Graf 3 Energetický mix Řecka pro vybrané zdroje, data převzata z [82]



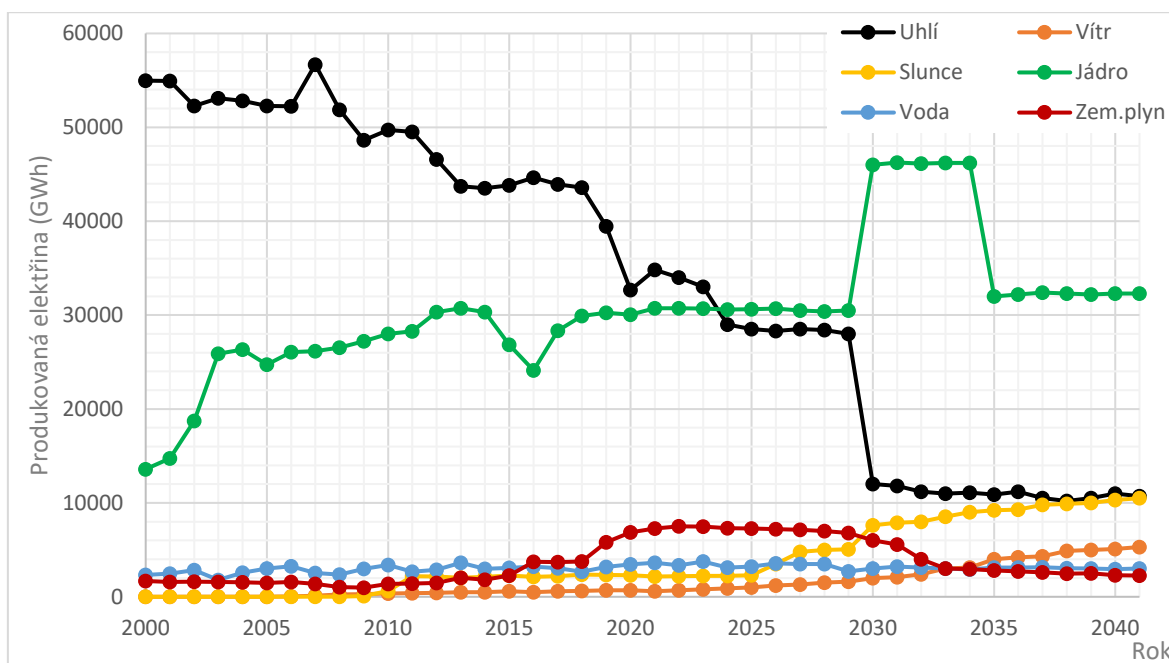
Graf 4 Energetický mix USA pro vybrané zdroje, data převzata z [82]

Při pohledu na výše zmiňované státy se ukazuje trend vývoje energetiky a je jasně viditelné zaostávání České republiky. Díky tomu se nechá předpovídat, jak by se měla energetika ČR měnit a jakým směrem by se měla vydat a zároveň jsou ukázány i chyby, které státy přibližující se 50 % obnovitelných zdrojů udělaly, a i to by mohlo pomoci k rychlejšímu dosažení deklarovaných 32 % obnovitelných zdrojů do roku 2030. Při zaměření na významná specifika všech ukázaných energetických mixů se ukazuje, že pokles uhelných elektráren je doprovázen velkým nárůstem elektráren na zemní plyn, a to do míry vyrovnání uhelného poklesu. To by mohla být jedna z chyb, ze které by se Česká republika mohla poučit, jelikož i elektrárny na zemní plyn nejsou dlouhodobě udržitelné a nijak nepřispějí dosažení 30% obnovitelnosti. Sice se tato změna projeví ve snížení uhlíkové stopy, ale stále je to několika násobně větší zátěž, než při použití obnovitelných zdrojů a dalším bodem, který je proti, je možný nedostatek dodávek zemního plynu díky vyhrcované politické situaci ve světě. Další trend, co lze z grafů vyčíst, naznačuje, že každá země má určité zdroje, které jsou dlouhodobě stabilní. Často jsou to jaderné a vodní elektrárny. U vodních elektráren to naznačuje využití maximálního potenciálu výstavby, jelikož většina zemí využila veškerý možný prostor již v minulém století. V případě jaderných elektráren je stabilita způsobena nákladným rozšířením o další výkon, ale v případě vnitrozemských států s „neutrální“ přírodou, kde není možnost jednoho dominantního obnovitelného zdroje je to jedna

z možností, jak rapidně snížit uhlíkovou stopu, jelikož jaderné elektrárny jsou jeden z nejčistších zdrojů. V případě ČR tuto možnost provází problémy již od času prvních diskusí o rozšíření jaderné elektrárny Temelín. Není jasné, kdo by měl výstavbu zajišťovat a s tím je spojené, že dopředu není jasné, jak dlouho bude výstavba trvat. Problémem tohoto zdroje by mohla být životnost při nedostatečném naplánování a zajištění jiných náhradních zdrojů. Jelikož odstavením by vznikl obrovský energetický deficit. Životnost jaderné elektrárny Temelín je udávána na maximum 80 let, což je poměrně vzdálená budoucnost, jelikož do provozu byl uveden teprve v roce 2002, ale v případě jaderné elektrárny Dukovany je plánování scénáře výpadku potřebné v mnohem bližším časovém horizontu. Dukovany byly uvedeny do provozu v roce 1987 a jejich životnost je udávána na 30 let a v případě rekonstrukce na 50 let, což je rok 2037, a to už je poměrně blízká budoucnost, která by se měla již dnes promítat do vývoje energetických možností. Řešením by bylo rozšíření o nové bloky, které by nahradily starší dosloužilé a výkon by přešel plynule bez znatelných potíží. Další spíše nepravděpodobnou možností je nahrazení úplně jiným, obnovitelným zdrojem. Tato možnost má ale nulové šance a nic nenaznačuje, že by obnovitelné zdroje v krátké době měly pokrývat takové výkony. Řešením pro vzdálenější problémy Temelína by mohl být vývoj fúzních reaktorů, které by při větším boomu dokázaly nahradit většinu energetiky státu. To je ovšem velice vzdálená budoucnost, a do té doby je potřeba hledat známé a ověřené alternativy.

Pokud se zaměříme na výše ukázané grafy energetických mixů je jasně patrné, že česká energetika zaostává o přibližně 18 let za energetikou Španělska, které už v roce 2005 zaznamenalo výměnu na pozici primárního zdroje elektřiny. V případě USA došlo k této změně mezi lety 2015 a 2016. Posledním ukázaným státem je Řecko, jež dosáhlo změny mezi lety 2018 a 2019. V ČR je možné toto zaostávání svádět na předešlý politický režim, kdy byla jediná možnost a nehledělo se příliš do budoucnosti. Ovšem od změny režimu uběhla poměrně dlouhá doba, během bylo možné energetický koncept měnit a v tomto směru politické špičky značně selhávají. Jedinou razantní změnou bylo spuštění jaderné elektrárny Temelín, a od té doby se nechává energetika stagnovat a stárnout. Tento přístup nás ovšem v brzké době dostihne ve značné šíři. Jak už bylo zmíněno, začnou se uplatňovat sankce za nedodržení podílu obnovitelných zdrojů, dále bude postupně klesat množství vyrobené elektrické energie až do doby nutného odstavení některého z primárních zdrojů, a tím nás dostihne nedostatečné množství elektřiny k pokrytí potřeb. V dřívější době bylo možné pokrýt nedostatky některých zemí odkupem elektřiny od těch energeticky silnějších, ale tím,

jak se všichni zaměřují na odstavování uhlí a zavádění obnovitelných zdrojů, dochází k propadům jejich roční výroby, jelikož OZE nedosahují výkonu uhelných elektráren, a tak bude každý stát brzy závislý pouze na sobě. Vše toto by měl být vykřičnem pro politickou scénu k zavedení nových a často v zahraničí ověřených mechanismů k omlazení energetiky a vytvoření si budoucí jistoty.



Graf 5 Predikce energetického mixu ČR do roku 2041, data převzata z [82] pouze do roku 2021

Ze všeho výše zmíněného lze do určité míry predikovat, jak by se energetika České republiky mohla v dalších letech vyvíjet. Do predikce je zahrnuta konstanta vodních elektráren, u kterých se nedá předpokládat nějaký razantní nárůst kapacit a výkonu. Dalším předpokladem je nutnost poklesu uhlíkové stopy způsobené odstavováním uhelných elektráren a elektráren na zemní plyn, to vyžaduje nárůst jiného zdroje. V případě nedodržení velkého nárůstu jiného zdroje není cesta jak tyto „nečisté“ zdroje odstavit. Jiné státy se vydaly cestou přechodu odstavení uhlí zemním plynem a pak následně odstavovat plyn obnovitelnými zdroji. V našich podmínkách se ukazuje lepší a šetrnější možnost, a to je přistavení nových bloků pro jaderné elektrárny. To by vytvořilo velký prostor přebytečného výkonu, o který by mohl klesnout výkon uhelných a plynových elektráren. Ovšem je potřeba počítat, že tento nárůst výkonu jaderných elektráren je pouze omezený do doby odstavení starých bloků, a tím výkon opět klesne. V čase, kdy bude tato energetická „kapsa“, je potřeba vybudovat dostatečné sekundární zdroje, které následně odstavení starých bloků pokryjí. Tyto sekundární zdroje by měly být tvořené obnovitelnými zdroji jako jsou solární a větrné elektrárny. Veškeré hodnoty v predikci jsou pouze předpokladem a nemusí být dodrženy.

Dalším faktorem může být zavedení nějakého dosud nerozvinutého zdroje například fúzní reaktory, které kompletně změní vývoj energetiky nejen na území ČR, ale v mnohých dalších státech. S tím se ale nedá počítat do jasného plánu energetiky, a proto se musíme spoléhat na aktuální ověřené zdroje. I kdyby byla dodržena predikce z grafu, kdy dojde nárůstu jaderné energetiky a k opačnému stejně velkému poklesu uhelných elektráren a zároveň v ČR porostou obnovitelné zdroje stejným trendem jako v zahraničí, nebude toto tempo stačit k dorovnání aktuálního objemu roční výroby, proto bude potřeba zahrnout i jiné zdroje, než jen větrné a solární elektrárny. V úvahu připadají spalovací elektrárny na biomasu, které jsou sice producentem poměrně vysoké uhlíkové stopy, ovšem tato stopa je kompenzována spotřebovaným oxidem uhličitým během života rostlin následně spalovaných. Ve výsledku se pak dostáváme na hodnoty blízké nule. Na tento zdroj se začíná v posledních deseti letech častěji vsázet právě pro dorovnání poklesu nešetrných zdrojů. V severských státech jako je Finsko či Švédsko se biomasa dostává mezi 4 největší zdroje. Nejde o zdroj pouze těchto států. Vliv biomasy se začal projevovat i ve státech jako Portugalsko, Nizozemsko, Lucembursko či Dánsko.

Zhodnocení a závěr

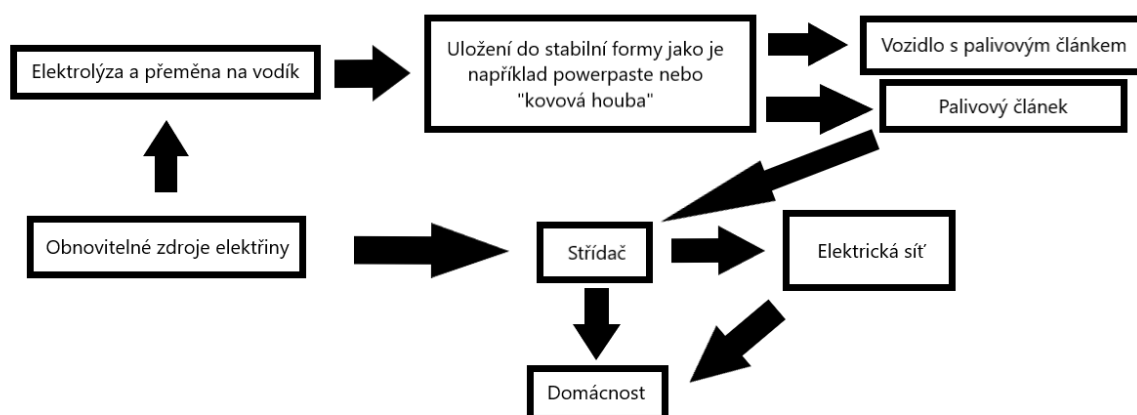
V první části bakalářské práce jsou popsány způsoby zisku elektrické energie, a to jak z neobnovitelných a lehce zastaralých zdrojů, tak i z nejmodernějších obnovitelných zdrojů. Ze zmiňovaného výčtu lze vyzdvihnout některé obzvláště neperspektivní, jako jsou hlavně ty, co mají velký zásah, co se týče uhlíkové stopy a nebezpečnosti k životnímu prostředí. Prvním takovým zdrojem jsou uhelné elektrárny, které na našem území do značné míry táhnou energetiku, s příspěvkem 44 % do energetického mixu. Jejich rušení z důvodu zátěže životního prostředí je stále oddalováno a nadále se hledají způsoby, jak takové množství energie nahradit. O něco lépe jsou na tom elektrárny na biomasu a topný olej, ale ani u nich není počítáno s budoucností provozu. Stejně jako uhelné elektrárny do značné míry zatěžují životní prostředí, a to je právě jedním z důvodů neperspektivity. Jak ukazuje Tabulka 3, tyto zmiňované zdroje jsou jediné s podílem v řádek stovek gramů oxidu uhličitého na jednu kilowattu. Na druhé straně vah leží zdroje s malou zátěží životního prostředí a takovým zdrojů je věštěna budoucnost se zásobování veškeré světové infrastruktury. Úplně nejlépe jsou na to co do zásahu uhlíkovou stopou větrné elektrárny, které se stávají obzvláště oblíbené v přímořských a větrných státech. Větrná energie je jedním z obnovitelných zdrojů, a tak je podporována dotačními programy po celém světě. Dalším obnovitelným zdrojem může být například voda, využívaná ve vodních elektrárnách různých typů, jako jsou průtokové vodní elektrárny umístované do vodních toků, přehradní vodní elektrárny umístěné v hrázích velkých vodních děl a jedním z posledních druhů jsou přečerpávací vodní elektrárny, které jsou do značné míry odděleny od vodního toku z důvodu potřebného rozdílu hladin zadržovacích nádrží. Vodní zdroje jsou omezené kondicí vodního toku v závislosti na ročním období, a v případě velkých vodních děl se jedná o prostorově náročné stavby s velice omezenou možností pozice výstavby, jež je daná terénem vhodné lokality. Posledním z velkých obnovitelných zdrojů je sluneční energie využívaná na provoz fotovoltaických elektráren. Fotovoltaika je nejvíce se rozšiřující zdroj elektrické energie poslední dekády, hlavně díky možnosti rozšíření mezi běžné občany. Zlevňující a zefektňující se technologie tomu jen pomáhají, a tak je to jeden z předpokládaných zdrojů budoucnosti, i když aktuálně má největší dopad na životní prostředí ze všech obnovitelných zdrojů. Předpoklad je takový, že tento dopad bude klesat se zaváděním šetrnějších metod těžby potřebných materiálů, založený na strojích poháněných obnovitelnou energií. I přes to, že je to aktuálně nejméně šetrný obnovitelný zdroj elektrické energie, jeho zátěž činí několika násobně menší dopad, než elektrárny na fosilní paliva. Obecně se nedá říci, že

jedinou budoucností jsou elektrárny založené na obnovitelných zdrojích, a to hlavně z důvodu, že již dlouhou dobu jsou v provozu jaderné elektrárny ukazující nulovou uhlíkovou stopu a obrovskou možnost pokrytí velkého množství části potřeb po elektrické energii. Jaderné elektrárny jsou nyní společně s větrnými elektrárnami nejšetrnější, co se týče uhlíkové stopy. Velkým problémem je radioaktivní odpad ze štěpného procesu v jádře, který není možné nijak recyklovat, a tak musí být skladován. Odstranění této nedokonalosti by mohlo pomoci zavedení fúzních reaktorů. Ten je založený na procesu spojování prvků, a ne na štěpení jako je to u tradičních jaderných elektráren. Odpadem pak není radioaktivní materiál, ale jen helium. Je nutné říct, že pokud vývoj půjde podle aktuálních předpokladů, pak první fúzní čistá energie bude dostupná až přibližně v polovině 21. století. Všechny tyto fakty nahrávají nutnosti rozšíření obnovitelných zdrojů a odsun elektráren na fosilní paliva. Obzvláště když není vývoj v oblasti fúze jistý a pracuje se jen s předpoklady.

Druhá část práce je zaměřená na ukládání vyrobené elektrické energie. Toto téma je jedním z hlavních problémů dnešní energetiky, jelikož s nestabilitou povětrnostních podmínek přichází i nestabilita dodávky elektrické energie. Úložiště pomáhají vyhlazovat stav sítě a v případě výpadku mohou překlenout dobu opětovného zařazení primárního zdroje. Ukládání energie probíhá už od nepaměti, i když dříve nešlo o potřebu výroby elektřiny, ale akumulace byla za účelem zadržení například vodního toku k následnému uvolnění většího množství energie k pohonu například vodních mlýnů. Takovým způsobem jsou inspirovány i dnešní díla na výrobu elektřiny, jako jsou přehradý či přečerpávací elektrárny. Vždy jde o zadržování energie po dobu přebytku a následnému uvolnění v případě potřeby. U přečerpávací elektrárny se začne vypouštět vrchní nádrž a u přehrady se začne „upouštět“ skrze turbíny. V obou případech jde o jistý druh baterie, i když by se na první pohled nemuselo zdát. Na podobném principu fungují i jiné mechanické uložení, jako jsou gravitační baterie zvedající břemena a spouštějící je k zemi v případě nutnosti. Tato uložení jsou populární hlavně z důvodu jednoduchosti a jasnosti jejich provedení, nejsou potřeba žádné chemické výzkumy a jejich rozvoj je hnán různými startupy. Problémem je velká konstrukce, a tím nepraktičnost v uplatnění ve všech oblastech využívající elektrickou energii. Z toho důvodu jsou mnohem perspektivnější chemické baterie, jejichž rozměry se pohybují od malých využitelných pro příruční elektroniku a stejně tak jsou vyráběny velké využitelné v energetice. Dříve to byly výhradně olověné akumulátory s jednoduchou konstrukcí a dobrými vlastnostmi, ale z důvodu nalezení lepších alternativ jak v chemických vlastnostech, tak ve vlastnostech týkajících se životního prostředí jsou olověné baterie

odsouvány. Aktuálně globálně nejpoužívanější baterií je lithium iontová. Li-ion baterie nacházejí obrovské využití v příruční elektronice z důvodu možných malých rozměrů se zachováním dobré spolehlivosti a malého samovybití. Nevýhodou je malá životnost baterie umocněná sebepoškozováním při okrajových stavech nabití baterie a dále vystavováním extrémnějších teplot jak kladných, tak záporných. Při použití této baterie u příruční elektroniky jako jsou mobilní telefony nenalzáme příliš možných náhrad, ale ve využití většího rozsahu už známe mnohé lepší varianty. Jednou z těch, co by mohla všechny ostatní druhy baterií zastínit je ukládání elektřiny do vodíku. Jedná se o nejrozšířenější prvek ve vesmíru a na planetě Zemi je ho velká zásoba ve vodě, ze které se získává elektrolýzou, při které dochází na rozštěpení vody na vodík a kyslík. V případě využití elektrolýzy na výrobu palivového článku na zpětnou přeměnu do podoby elektřiny se dostáváme na nulovou uhlíkovou stopu a žádný chemický odpad. To nahrává bez uhlíkové budoucnosti ve všech možných odvětvích spojených s potřebou elektřiny.

Ve světové energetice zahrnující jak distribuci pro domácnosti a firmy, tak automobilový průmysl, který v elektrické budoucnosti bude hrát dost velkou roli a bude zastávat značnou část spotřebované energie se zvažuje množství teorií. Každá z teorií uvažuje jiné využívané zdroje a baterie k nim přiřazené. Některé predikce zvažují pouze aktuálně používané elektrárny s jiným rozložením procentuálního zastoupení v energetickém mixu a jiné zase uvažují i teprve se vyvíjející zdroje s prozatímními slibnými výsledky. Obecně nejpopulárnější teorií, která se do značné míry začíná aplikovat je využívání pouze obnovitelných zdrojů. Mnohé státy světa již dosahují 50 % energetického mixu vyplněného pouze tímto typem elektráren a další budou jen přibývat. Tato teorie ovšem naráží u států s ne tak dobrou geografickou polohou, která by nahrávala využití větrných či solárních elektráren. Proto jsou i další predikce, které zahrnují i jaderné elektrárny v budoucnu nahrazené fúzními reaktory. Rovněž nebude produkována žádná uhlíková stopa a jedná se o téměř nevyčerpatelný zdroj elektřiny. Věci, co je ale potřeba zmínit je, že i když bude energetika kompletně obnovitelná a uhlíkově čistá bude potřeba zavádět dokonalejší úložiště potřebné k vyhlazování průběhu dodávané elektřiny a zároveň je potřeba vhodné úložiště využitelné i u automobilového průmyslu. Tak ze všech teorií vychází jedna obzvláště perspektivní podpořená nedávnými průlomy ve vodíkových bateriích a fúzních reaktorech. Jedná se o spojení obnovitelných zdrojů a fúzního reaktoru na straně zdrojů, vodíková baterie na straně úložiště a v poslední koncové části plynové turbíny na vodík či palivového článku rovněž na vodík.



Obr. 15 Systém OZE + vodíkové úložiště

Poslední částí bakalářské práce je pak predikce vývoje energetiky na území České republiky. Předpoklad vývoje vybraných druhů elektráren je predikován na základě vývoje energetiky u rozvinutějších států s pokročilejší infrastrukturou zahrnující obnovitelné zdroje. Jedná se o státy jako Španělsko, Řecko či USA. Všechny tyto státy mají jeden společný rys, a to snahu o navýšení podílu obnovitelných zdrojů i nad rámec deklarovaných procent podílu obnovitelnosti stanovených nadnárodními uskupeními jako je Evropská unie. Z vývoje těchto států si predikce nebere inspiraci jen v rozvoji OZE, ale i v odbourávání uhelných a plynových elektráren, případně ve vyvarování se chyb učiněných v důsledku neznalosti dané problematiky a nemožnosti přesně určit vývoj společnosti dalších let.

Literatura

- [1] Úvod do výroby. EIA [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php>
- [2] Energetický mix ČR. OTE [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/zbytkovy-energeticky-mix>
- [3] Tepelné elektrárny. Electrical engineering [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.electricalengineeringinfo.com/2014/12/steam-power-station-or-steam-power-generation-plant-or-thermal-power-plant.html>
- [4] Tepelná elektrárna. Vida [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://vida.cz/exponaty/tepelna-elektrarna>
- [5] Výroba energie. Tzbinfo [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/23458-kde-a-jak-se-vyrabi-elektricka-energie>
- [6] Jaderná elektrárna. Cez [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice>
- [7] Jaderná elektrárna. Svet energie [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne>
- [8] Jaderné elektrárny. Maturitka [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.maturitka.cz/en-ustni-16.php>
- [9] Fúzní testování. ITER [online]. [cit. 2023-01-17]. Dostupné z: <https://www.iter.org/proj/inafewlines>
- [10] Fúzní průlom. National geographic [online]. [cit. 2023-01-17]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/scientists-achieve-breakthrough-nuclear-fusion>
- [11] NAJMABADI, Farrokh. Fusion reactor [online]. [cit. 2023-01-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/fusion-reactor>
- [12] Základy fúze. Tzbinfo [online]. [cit. 2023-01-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/14704-zaklady-fuzni-energetiky-v-vyroba-elektriny>

-
- [13] Vodní elektrárny. *OENERGETICE* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>
- [14] Orlik. ČEZ [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/orlik-58164>
- [15] Akumulační elektrárny. Svetenergie [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/vodni-energie-pro-deti/prutocne-a-akumulacni-vodni-elektrarny/jak-funguji>
- [16] Přečerpávací elektrárny. OENERGETICE [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrarny-v-ceske-republice>
- [17] Větrné elektrárny. *OENERGETICE* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [18] Ústav fyziky atmosféry Akademie věd České republiky. Aktualizovaný odhad realizovatelného potenciálu větrné energie z perspektivy roku 2012 [online]. 2012-07-18 [cit. 2019-05-06]. Kapitola Aktualizovaný odhad realizovatelného potenciálu, s. 18 dostupné z https://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/VtE_potencial2012.pdf
- [19] Solární elektrárny. Hybrid [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/solarni-elektrarny-cesko-prerazuje-na-vyssi-rychlost/>
- [20] Porovnání panelů. Havenhill Synergy [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://havenhillsynergy.com/3-major-types-of-solar-panel/>
- [21] Monocrystalline vs. polycrystalline solar panels. Energysage [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://news.energysage.com/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar/>
- [22] Fotovoltaické panely. ČEZ [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/fotovoltaicke-panely-v-roce-2021-jake-si-poridit-154269>
- [23] Types of solar panels. Solar reviews [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>

-
- [24] Revolutionize solar energy. Solar reviews [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/solar-panel-technologies-that-will-revolutionize-energy-production>
- [25] Elektřina ze Sahary. Elektřina [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/slunecni-energie-ze-sahary>
- [26] Solární farma na Sahaře. Vtm [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/obri-solarni-farma-na-sahare-zni-jako-skvely-napad-mohla-by-vsak-vyvolat-zasadni-klimaticke-zmeny/sc-870-a-215083/default.aspx>
- [27] Elektřina z pouště. 3pol [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1037-elektrina-z-pouste>
- [28] Energy carbon footprint. World nuclear [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity.aspx>
- [29] Carbon footprint. Treehugger [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.treehugger.com/how-much-co-does-one-solar-panel-create-4868753>
- [30] Clear energy. Carbonbrief [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.carbonbrief.org/solar-wind-nuclear-amazingly-low-carbon-footprints/>
- [31] Carbon footprint. Circular ecology [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://circularecology.com/solar-pv-embodied-carbon.html>
- [32] Efektivita uhelné elektrárny. Svet energie [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/uhelne-elektrarny/uhelna-elektrarna-podrobne/charakteristika-zdroje/parametry>
- [33] Účinnost paroplynových elektráren. Svet energie [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/plynove-a-paroplynove-elektrarny/paroplynova-elektrarna>
- [34] Účinnost elektráren na biomasu. OENERGETICE [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [35] Účinnost geotermálních elektráren. Svet energie [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-elektrarna/vyklad>
- [36] Účinnost vodních elektráren. Svet energie [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/vodni-elektrarna-podrobne/kaplanova-turbina/fyzikalni-principy>

-
- [37] Účinnost jaderné elektrárny. Energy education [online]. [cit. 2023-04-07].
Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant
- [38] Účinnost větrných elektráren. OENERGETICE [online]. [cit. 2023-04-07].
Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [39] Legislativa. Elektrické vozy [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z:
<https://elektrickevozy.cz/clanky/fotovoltaika-v-cesku-2023-zmeny-legislativy>
- [40] Změna legislativy. Komora obnovitelných zdrojů energie [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.komoraoze.cz/?fullpage=1&tema=12>
- [41] Agro fotovoltaika. Tzbinfo [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z:
<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/19302-pole-stinene-fotovoltaikou>
- [42] Hloubka vrtů ČR. OENERGETICE [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z:
<https://oenergetice.cz/nazory/jake-jsou-moznosti-vyuziti-geotermalni-energie-cesku>
- [43] Geotermální energie. Publi.cz [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z:
<https://publi.cz/books/93/03.html>
- [44] Energie příboje. Svet energie [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z:
<https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/energie-morske-vody/vyklad>
- [45] Korejská elektrárna. Tethys [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z:
<https://tethys.pnnl.gov/project-sites/sihwa-tidal-power-plant>
- [46] Přílivové a příbojové elektrárny. Svetenergie [online]. [cit. 2022-12-17].
Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/vodni-energie-pro-deti/morske-elektrarny/jak-funguji>
- [47] Skladování energie. Svet Energie [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z:
<https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika/decentralizovane-energeticke-zdroje-podrobne/akumulace-energie/vyklad>
- [48] Ukládání energie. Nalezeno [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z:
<https://www.nazeleno.cz/skladovani-elektricke/energie/energetika/skladovani-elektricke-energie-moznosti.aspx>
- [49] Skladování energie. ELEKTRO [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/akumulace-elektricke-energie--9696>

-
- [50] Superkondenzátory. Tzbinfo [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21462-superkondezator-vs-baterie-parametry-a-pouziti>
- [51] Superkondenzátory. Automatizace.hw [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006122601>
- [52] Skladování energie. ELEKTRO [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/akumulace-elektricke-energie--9696>
- [53] Přecherčovací elektrárny. OENERGETICE [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2>
- [54] Fengning. ECNS [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <http://www.ecns.cn/news/2021-12-31/detail-ihauemxn3938662.shtml>
- [55] Uložení do hloubky. Gravitricity [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://gravitricity.com/>
- [56] Gravitační baterie. Wikijii [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: https://wikijii.com/wiki/Gravity_battery
- [57] Gravitační baterie. Idnes [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/baterie-zavazi-elektrina-vez-gravitace-gravitricity.A210625_144704_tec_technika_vse
- [58] Betonové věže. Energyvault [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.energyvault.com/newsroom/gravity-energy-storage>
- [59] Setrvačnick. Electricalfundablog [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://electricalfundablog.com/flywheel-energy-storage-calculations-rotor/>
- [60] Setrvačnick. 3pol [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/2157-setrvacnikova-baterie>
- [61] Setrvačnick. Akademie věd České republiky [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <http://upase.it.cas.cz/skladovani-energie-setrvacniky/>
- [62] CAES Čína. Energy storage [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.energy-storage.news/construction-starts-on-1-4gwh-compressed-air-energy-storage-unit-in-china/>

-
- [63] Stlačený vzduch. Osel [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.osel.cz/10374-startup-hydrostor-bude-ukladat-energii-stlacovanim-vzduchu-v-zinkovem-dolu.html>
- [64] Stlačený vzduch. Researchgate [online]. [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-compressed-air-energy-storage-CAES_fig2_327320157
- [65] ELEKTRO [online]. 2021 [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/akumulace-elektricke-energie--9696>
- [66] WILBERFORCE, Tabbi, James THOMPSON a Abdul GHANI OLABI. Encyclopedia of Smart Materials [online]. 2. Elsevier Science Publishing Co Inc, 2021, 2022 [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012803581811762X>
- [67] Olověný akumulátor. Tzbinfo [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>
- [68] SPIERS, David. McEvoy's Handbook of Photovoltaics [online]. 3. 2018 [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128099216000215>
- [69] AMEUR, Arechkik, Asmae BERRADA, Khalid LOUDIYI a Raymond ADOMATIS. Hybrid Energy System Models [online]. 1. Academic Pr, 2020 [cit. 2023-01-23]. ISBN 9780128214039. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128214039/hybrid-energy-system-models>
- [70] Struktura li-ion. Researchgate [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-principle-of-the-lithium-ion-battery-LiB-showing-the-intercalation-of-lithium-ions_fig1_344448023
- [71] EL HAJ ASSAD, Mamdouh, Ali KHOSRAVI, Mohammad MALEKAN, Marc A. ROSEN a Mohammad ALHUYI NAZARI. Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems [online]. Academic Pr, 2021 [cit. 2023-01-23]. ISBN 9780128232323. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012821602600016X>
- [72] Struktura sodík-síra. Unido [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: http://www.unido.or.jp/en/technology_db/4394/

-
- [73] Zhang, Binwei & Cao, Liuyue & Tang, Cheng & Tan, Chunhui & Cheng, Ningyan & Lai, Wei-Hong & Wang, Yunxiao & Cheng, Z. & Dong, Juncai & Kong, Yuan & Dou, Shi-Xue & Zhao, Shenlong. (2022). Atomically Dispersed Dual-Site Cathode with a Record High Sulfur Mass Loading for High-Performance Room-Temperature Sodium-Sulfur Batteries. *Advanced materials* (Deerfield Beach, Fla.). 35. e2206828. 10.1002/adma.202206828. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/364926999_Atomically_Dispersed_Dual-Site_Cathode_with_a_Record_High_Sulfur_Mass_Loading_for_High-Performance_Room-Temperature_Sodium-Sulfur_Batteries
- [74] BREEZE, Paul. *Power System Energy Storage Technologies* [online]. Academic Pr, 2018 [cit. 2023-01-23]. ISBN 9780128129029. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128129029000043>
- [75] Xu, X., Zhou, D., Qin, X. et al. A room-temperature sodium–sulfur battery with high capacity and stable cycling performance. *Nat Commun* **9**, 3870 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06443-3>
- [76] Palivový článek struktura. OENERGETICE [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni>
- [77] ELEKTRO [online]. 2021. 2021 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/cislo-12-rocnik-2021--1223>
- [78] HYFLEXPOWER. Siemens [online]. 2020, 2020 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/hyflexpower-worlds-first-integrated-power-x-power-hydrogen-gas-turbine-demonstrator>
- [79] BIOGRADLIJA, Arnes. Power paste. : *Industry and Energy* [online]. 2022 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://www.industryandenergy.eu/hydrogen/hydrogen-paste-to-power-small-to-large-fuel-cell-vehicles/>
- [80] GALLUCCI, Maria. Home storage. *IEEE Spectrum* [online]. 2021 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/hydrogen-batteries-solar-energy>
- [81] Cíle EU z OZE. Zpravodajství Evropský parlamentu [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20171124STO88813/ovitelne-zdroje-energie-ambiciozni-cile-pro-evropu-i-cesko>

[82] Energetický mix. IEA [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z:
<https://www.iea.org/countries>