

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technicko-ekonomická analýza obnovitelných a konvenčních
zdrojů elektrické energie

Techno-economic Analysis of Renewable Energy Resources

AUTOR: Hovorka David

STUDIJNÍ PROGRAM: Teoretický základ strojního inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Žilka Miroslav, Ph.D.

PRAHA 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hovorka** Jméno: **David** Osobní číslo: **467311**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Technicko-ekonomická analýza obnovitelných a konvenčních zdrojů elektrické energie

Název bakalářské práce anglicky:

Techno-economic Analysis of Renewable Energy Resources

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod, cíle a úkoly práce
2. Technická charakteristika jednotlivých typů energetických zdrojů - konvenčních i obnovitelných
3. Ekonomické zhodnocení energetického zdroje - charakteristika CAPEX a OPEX
4. Stručné environmentální zhodnocení energetického zdroje
5. Celkové srovnání a zhodnocení energetických zdrojů
6. Závěr

Seznam doporučené literatury:

Státní energetická koncepce České republiky, Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>
Renewable Power Generation Costs in 2018 [online]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. ISBN 978-92-9260-126-3. Dostupné z: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf
ČSN EN ISO 14040. Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2006

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **07.10.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **03.01.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **28.02.2020**

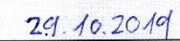

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

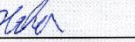

prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


29.10.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis

Anotace

Tato bakalářská práce je zaměřena na obnovitelné a konvenční zdroje elektrické energie. Předmětem práce je kompletní charakteristika jednotlivých energetických zdrojů a jejich vzájemné porovnání z technické, ekonomické a environmentální stránky. V samostatných částech je rozebrán také vliv jednotlivých zdrojů na energetiku České republiky a nastíněn jejich potenciální budoucí rozvoj.

Klíčová slova

Obnovitelný zdroj, konvenční zdroj, ekonomická situace, environmentální situace, technická analýza, srovnání energetických zdrojů, výhody a nevýhody zdrojů energie, LCA, situace v ČR.

Annotation

The focus of this bachelor thesis is renewable and conventional sources of electrical energy. The subject of this work is complex characteristics of each energy source and their comparison to each other from technical, economical and environmental aspects. In the separate chapters there is also discussed the influence of each electrical energy source on the energetic industry of the Czech Republic and its suggested future development.

Keywords

Renewable source, conventional source, economical situation, environmental situation, technical analysis, comparison of energy sources, advantages and disadvantages of energy sources, LCA, situation in the Czech Republic

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Žilkovi, Ph.D. za odborné konzultace, rady a věcné připomínky v průběhu vypracování této práce.

Obsah

ÚVOD	10
1 VYSVĚTLENÍ UŽITÝCH POJMŮ	11
2 PESTLE ANALÝZA ZDROJŮ ENERGIE	14
3 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	16
3.1 HISTORIE	16
3.2 ROZDĚLENÍ.....	17
3.3 PRINCIP FUNKCE.....	18
3.4 EKONOMICKÁ SITUACE.....	19
3.4.1 <i>Onshore větrné elektrárny (Pevninské)</i>	19
3.4.2 <i>Offshore Elektrárny (Mořské)</i>	20
3.4.3 <i>Provozní náklady (OPEX)</i>	21
3.5 ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE.....	22
3.5.1 <i>Life Cycle Assessment:</i>	22
3.5.2 <i>Problémy s výstavbou a provozem</i>	24
3.6 VÝHODY A NEVÝHODY.....	25
3.7 SITUACE V ČR.....	25
4 VODNÍ ELEKTRÁRNY	27
4.1 HISTORIE	27
4.2 ROZDĚLENÍ.....	27
4.3 PRINCIP FUNKCE.....	28
4.4 EKONOMICKÁ SITUACE.....	29
4.4.1 <i>CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE</i>	29
4.4.2 <i>Provozní náklady (OPEX)</i>	30
4.5 ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE.....	31
4.5.1 <i>Life Cycle Assessment:</i>	31
4.5.2 <i>Dopady na životní prostředí</i>	31
4.6 VÝHODY A NEVÝHODY.....	32
4.7 SITUACE V ČR.....	33
5 SPALOVÁNÍ BIOMASY.....	34
5.1 HISTORIE	34
5.2 ROZDĚLENÍ.....	34
5.3 PRINCIP FUNKCE.....	35
5.3.1 <i>Spalování</i>	35

5.3.2	<i>Zplyňování</i>	36
5.4	EKONOMICKÁ SITUACE.....	36
5.4.1	<i>CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE</i>	37
5.4.2	<i>Provozní náklady (OPEX)</i>	38
5.5	ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE.....	38
5.5.1	<i>Live Cycle Assessment</i>	38
5.5.2	<i>Dopady na životní prostředí</i>	39
5.6	VÝHODY A NEVÝHODY.....	40
5.7	SITUACE V ČR.....	40
6	ENERGIE SLUNCE	41
6.1	HISTORIE	41
6.2	ROZDĚLENÍ.....	42
6.2.1	<i>Fotovoltaické elektrárny</i>	42
6.2.2	<i>Koncentrační elektrárny</i>	43
6.2.3	<i>Jiné</i>	44
6.3	PRINCIP FUNKCE	44
6.3.1	<i>Fotovoltaické elektrárny</i>	44
6.3.2	<i>Koncentrační elektrárny</i>	45
6.4	EKONOMICKÁ SITUACE.....	46
6.4.1	<i>Fotovoltaické elektrárny</i>	46
6.4.2	<i>Koncentrační elektrárny</i>	49
6.5	ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE.....	50
6.5.1	<i>Live Cycle Assesment</i>	50
6.5.2	<i>Dopady na životní prostředí</i>	51
6.6	VÝHODY A NEVÝHODY.....	52
6.7	SITUACE V ČR	53
7	GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	54
7.1	HISTORIE	54
7.2	ROZDĚLENÍ A PRINCIP FUNKCE	54
7.3	EKONOMICKÁ SITUACE	57
7.3.1	<i>CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE</i>	57
7.3.2	<i>Provozní náklady</i>	58
7.4	ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE.....	58
7.4.1	<i>Live Cycle Assessment</i>	59
7.4.2	<i>Dopady na životní prostředí</i>	59
7.5	VÝHODY A NEVÝHODY.....	60
7.6	SITUACE V ČR.....	60

8	ELEKTRÁRNY NA FOSILNÍ PALIVA.....	61
8.1	HISTORIE	61
8.2	ROZDĚLENÍ.....	61
8.3	PRINCIP FUNKCE.....	62
8.4	EKONOMICKÁ SITUACE.....	63
8.4.1	<i>CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE</i>	<i>63</i>
8.4.2	<i>Provozní náklady.....</i>	<i>64</i>
8.5	ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE.....	64
8.5.1	<i>Live Cycle Assessment</i>	<i>65</i>
8.5.2	<i>Dopady na životní prostředí.....</i>	<i>65</i>
8.6	VÝHODY A NEVÝHODY.....	66
8.7	SITUACE V ČR.....	67
9	JADERNÉ ELEKTRÁRNY	68
9.1	HISTORIE	68
9.2	ROZDĚLENÍ.....	68
9.3	PRINCIP FUNKCE.....	69
9.4	EKONOMICKÁ SITUACE.....	70
9.4.1	<i>CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE</i>	<i>70</i>
9.4.2	<i>Provozní náklady.....</i>	<i>71</i>
9.5	ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE.....	71
9.5.1	<i>Live Cycle Assessment</i>	<i>72</i>
9.5.2	<i>Dopady na životní prostředí.....</i>	<i>72</i>
9.6	VÝHODY A NEVÝHODY.....	73
9.7	SITUACE V ČR.....	73
10	SROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ.....	75
10.1	TECHNICKÉ SROVNÁNÍ.....	75
10.2	EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ	77
10.3	ENVIRONMENTÁLNÍ SROVNÁNÍ	80
10.4	SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ	83
10.5	SROVNÁNÍ ZDROJŮ ENERGIE V ČR	84
	ZÁVĚR.....	86
	LIST SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	88
	SEZNAM GRAFŮ	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK	91

SEZNAM ZDROJŮ..... 92

Úvod

Využívání zdrojů energie se týká každého z nás, elektrickou energii potřebujeme k našemu každodennímu životu a spolu s jejím využíváním bychom si měli uvědomit, odkud pochází a jaký má její výroba a distribuce vliv na naši planetu, ale i na naše blízké okolí. Až donedávna se o problematice energetických zdrojů příliš nemluvilo – elektrická energie je věc v naší historii poměrně mladá a zpočátku nikdo nepřemýšlel nad negativní stránkou její výroby. Poměrně brzy se ale ukázalo, že nejrozšířenější zdroj energie na naší planetě, jímž jsou fosilní paliva, velmi znečišťují životní prostředí a jejich zásoby nejsou neomezené. K těmto faktům můžeme připojit také stále rostoucí světovou populaci a spolu s ní se zvyšující spotřebu elektrické energie.

V dnešní době je otázka zdrojů energie velmi aktuální a ve vyspělých zemích se většinou setkáváme se snahou pokrývat energetickou poptávku co nejefektivněji, ale zároveň s ohledem na životní prostředí. V důsledku tohoto trendu se v poslední době rozmáhají i některé z dříve méně využívaných zdrojů energie, jmenovitě například energie Slunce. Cestu k některým alternativním zdrojům nám však otevřel až technologický pokrok postupně probíhající zejména v druhé polovině minulého století.

Ve své bakalářské práci se budu zabývat problematikou energetických zdrojů, jejich komplexním popisem a výčtem vlastností, jimiž oplývají. Chtěl bych získat širší náhled na tuto problematiku a porovnat jednotlivé zdroje energie mezi sebou.

Mezi hlavní cíle této práce patří:

- Kompletní analýza jednotlivých zdrojů elektrické energie
- Zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých zdrojů, určení jejich uplatnění
- Porovnání jednotlivých zdrojů energie mezi sebou

První část této práce je zaměřena na celkovou analýzu jednotlivých zdrojů po technické, ekonomické a environmentální stránce s popisem jejich největších kladů a záporů. Součástí této části je také stručný přehled využití jednotlivých zdrojů v České republice. Druhá část je pak zaměřena na porovnání a vyhodnocení dat získaných v části první, vzájemné srovnání jednotlivých zdrojů ve vybraných parametrech a jejich zhodnocení.

Všechny částky v této práci jsou uváděny v Americkém dolaru (USD)

1 Vysvětlení užitých pojmů

V této kapitole bych rád uvedl a vysvětlil základní pojmy, které budu ve své práci používat. Jedná se zde hlavně o vysvětlení jednotlivých ekonomických a environmentálních kritérií, je zde také zahrnuto vysvětlení pojmů obnovitelný a neobnovitelný energetický zdroj.

Zdroje elektrické energie

Zdroje elektrické energie můžeme dělit podle více kritérií, ale nejčastější a pro účely této práce nejvýstižnější je rozdělení podle obnovitelnosti na zdroje obnovitelné a neobnovitelné.

Obnovitelné – Podle zákona č. 17/1992 Sb.: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ [1] Mezi tyto zdroje patří:

- Sluneční energie
- Energie větru
- Energie vody, moří
- Biomasa
- Geotermální energie

Neobnovitelné – Jak uvádí Mastný a kol., jsou zdroje takové, u nichž se očekává úplné vyčerpání v nedaleké budoucnosti a jejich obnova není možná, nebo neprobíhá dostatečně rychle. [2] Nebo v podání zákona č. 17/1992 sb.: „Neobnovitelné přírodní zdroje spotřebováváním zanikají.“ Významné pro výrobu elektrické energie jsou:

- Fosilní paliva
- Jaderná paliva

Hodnocení nákladů

V rámci ekonomického hodnocení jednotlivých zdrojů budu používat také porovnání z hlediska nákladů. Ty se dají rozdělit na dva druhy, a to konkrétně:

- **OPEX (Operational Expenditures)** – Operační (provozní) náklady – jsou náklady na provoz a údržbu, zahrnují v sobě všechny potřebné výdaje k udržení zařízení v provozu, tedy mzdy zaměstnanců, údržbu, energetické nároky, pojištění, náklady na provoz.

- **CAPEX (Capital Expenditures)** – Kapitálové (investiční) náklady – jedná se o náklady na pořízení nového, případně obnovení starého zařízení nebo jeho modernizaci. Jsou to větší výdaje, které je nutné předem plánovat. V účetnictví se tyto náklady zpravidla odpisují po dobu několika let.

Kapacitní faktor

Jde o poměr celkové skutečně vyrobené energie nebo dodávky za určité časové období vůči energii, která by byla vyrobena, kdyby bylo zařízení provozováno po celé toto období na maximální možný výkon. Následující vzorec ukazuje výpočet kapacitního faktoru za časové období jednoho roku.

$$\text{Kapacitní faktor} = \frac{\text{Vyrobená energie [MWh]}}{365 [\text{dny}] \times 24 \left[\frac{\text{hodin}}{\text{den}} \right] \times \text{instalovaný výkon [MW]}} \quad [-]$$

Tento parametr se používá k hodnocení všech zdrojů elektrické energie.

Levelized Cost of Electricity (LCOE)

Tento údaj nám popisuje, kolik stojí vyrobít jednotkové množství elektrické energie. Typicky se uvádí v USD za kWh nebo USD za MWh. Zahrnuje v sobě cenu výstavby nové elektrárny, cenu údržby a provozu, cenu paliva a plánovanou životnost. V různých zdrojích můžeme nalézt více možností výpočtu, pro potřeby této práce však postačí velmi zjednodušený vzorec:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Celkové náklady v průběhu životního cyklu} \left[\frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right]}{\text{Celková vyrobená energie}}$$

Life Cycle Assessment (LCA)

V překladu „Posuzování životního cyklu“ je definováno podle normy ČSN EN ISO 14040 jako: „shromažďování a vyhodnocování vstupů, výstupů a možných dopadů na životní prostředí výrobního systému během jeho celého životního cyklu“. [3]

Metoda LCA bere v potaz celý životní cyklus hodnoceného produktu, a podává tak ucelený obraz o jeho skutečných dopadech na životní prostředí. V hodnocení zahrnuje vše od těžby výchozích surovin, přes výrobu a užívání až po konečnou likvidaci produktu. [4]

V této práci se zaměřím hlavně na Energy Payback Ratio a množství skleníkových plynů emitovaných do atmosféry.

Skleníkové plyny (GHG)

Množství skleníkových plynů se udává v jednotkách gramů referenčního plynu. Jako tento plyn byl zvolen CO₂, jehož potenciální vliv na globální oteplování je tudíž roven jedné. (1 g CO₂ = 1 g CO₂eq) Tento systém byl zaveden organizací Intergovernmental Panel on Climate Change v roce 1996. [5]

Energy Payback Ratio

Energy Payback Ratio je v překladu definován jako: „poměr energie produkované během funkčního období systému ku energii potřebné pro postavení, udržování a napájení tohoto systému.“ [6]

2 PESTLE analýza zdrojů energie

PESTLE analýza „je analytická technika sloužící ke strategické analýze okolního prostředí organizace“. [7] Písmena v názvu jsou prvními písmeny jednotlivých vnějších faktorů, kterými se tato metoda zabývá. Tyto faktory jsou:

- Politické (P)
- Ekonomické (E)
- Sociální (S)
- Technologické (T)
- Legislativní (L)
- Ekologické (E)

Tato analýza může být velmi obsáhlá, pro potřeby této práce však postačí stručný přehled jednotlivých faktorů s pouze nejvýznamnějšími vlivy.

Politické a legislativní faktory: V současné době je viditelná celosvětová snaha o zvýšení produkce energie prostřednictvím obnovitelných zdrojů. Ve většině zemí je také tendence omezování produkce emisí snížením počtu tepelných elektráren. V důsledku toho vznikají různé dotační a podpůrné programy na stavby, ale i opravy zdrojů energie šetrnějších k životnímu prostředí. Jako příklad můžeme uvést v dnešní době probíhající dotační program Evropské Unie na obnovitelné zdroje ve výši až 400 milionů korun. Další podpory se obnovitelným zdrojům dostává ve formě lepších výkupních cen energie do sítě. [8]

Ekonomické faktory: Ekonomickým faktorem v případě zdrojů energie může být cena, za kterou je daný zdroj schopný elektrinu vyrobit. V tomto ohledu mají výhodu spíše zdroje neobnovitelné, ačkoli i u nich je výsledná cena elektřiny navyšována společně se zaváděním opatření pro snižování ekologického dopadu. Obecně lze říci, že poptávka po elektrické energii stále roste a tento trend bude zřejmě pokračovat.

Ekologické a sociální faktory: Zde hraje velkou roli čistota jednotlivých zdrojů energie, která souvisí i s vhodností výstavby elektráren na určitých místech. Tento problém se nejvíce týká tepelných elektráren, zejména pak uhelných, které produkují velké množství škodlivin, a po těžbě uhlí zůstává zdevastovaná krajina. Lidé ale obecně nechtějí mít poblíž svého bydliště ani větrné nebo jaderné elektrárny, ať už jde o bezpečnost nebo emitovaný hluk a vzhled elektráren.

Dalšími vlivy můžou být zalidněnost území a lokace samotných elektráren, kdy je potřeba zvolit vhodnou lokalitu s ohledem na dostupnou infrastrukturu, vzdálenost od místa potřeby energie a vhodnost lokality pro konkrétní zdroj energie.

Technologické faktory: Jako jeden z nejvýznamnějších technologických faktorů vnímám schopnost elektrárny vyrábět energii stabilně a nezávisle na okolním prostředí. V tomto ohledu mají konkurenční výhodu tepelné elektrárny, jejichž provoz není závislý na lokálních klimatických podmínkách. Dalšími kritérii jsou pak regulace výkonu, možnost jednoduchého odstavení a znovu zahájení provozu, ale i schopnost pracovat bez potřeby dodávání externího paliva – tzn. využívání energie přírody.

Následující hlavní část této práce je rozdělena do kapitol podle jednotlivých zdrojů energie, jimiž se tato práce zabývá. Postupně bude každý zdroj podrobně charakterizován po technické, ekonomické a environmentální stránce. V závěru kapitoly každého zdroje je zmíněno také jeho zastoupení v energetice České republiky a případné možnosti rozvoje v blízké budoucnosti. Data shromážděná v těchto kapitolách následně poslouží jako základ pro zhodnocení a srovnání jednotlivých zdrojů mezi sebou, jenž bude provedeno v další části práce.

3 Větrné elektrárny

Tento typ elektráren využívá kinetickou energii větru k přeměně na energii elektrickou. Větrná energie je formou energie sluneční, vzniká nerovnoměrným ohříváním zemského povrchu, kdy teplý vzduch stoupající vzhůru v kombinaci s rotací Země a střídáním dne a noci má za následek vznik tlakových rozdílů v zemské atmosféře. Vyrovnaváním těchto rozdílů vzniká vítr. Větrná energie patří mezi zdroje obnovitelné, a proto je v posledních desetiletích snaha o maximalizaci jejího využívání při výrobě elektrické energie.

3.1 Historie

První zmínky o využívání větrné energie pochází již z období před naším letopočtem. První předchůdci dnešních větrných elektráren jsou v Evropě zdokumentovány v období okolo 14. století v Holandsku, kde se používaly větrné mlýny k mletí obilí, zpracování dřeva a čerpání vody. Velmi časté bylo spojení s Archimédovým šroubem. Velký rozvoj zaznamenala větrná energie v 19. století v USA, kde bylo postaveno velké množství malých větrných motorů určených k čerpání vody. Tyto mlýny byly regulovány pomocí natáčení celé konstrukce proti směru větru. Holandské mlýny ve svém vrcholném období byly vybaveny otočnou střešní částí a jejich výkon se mohl dále regulovat pomocí výplně křídel. [2] [9]

Větrné elektrárny se poprvé objevily na konci 19. století v podobě prvních prototypů v Dánsku a USA. Vývoj nepřetržitě pokračoval především v Dánsku, a tak se postupně vylepšovala konstrukce a zvyšoval nejvyšší dosahovaný výkon z 12 kW v roce 1888, přes 200 kW v roce 1950 (prototypy) až po dnešní hodnoty okolo 5 MW. Rozvoji větrných elektráren velmi pomohla ropná krize v polovině 70. let minulého století, kdy si Evropa uvědomila potřebu i jiných zdrojů energie. V následujících deseti letech vzniklo mnoho

nových firem zabývajících se vývojem a stavbou těchto elektráren. Tento trend vývoje a zvyšování výkonu pokračuje do dnešních dní. [9]

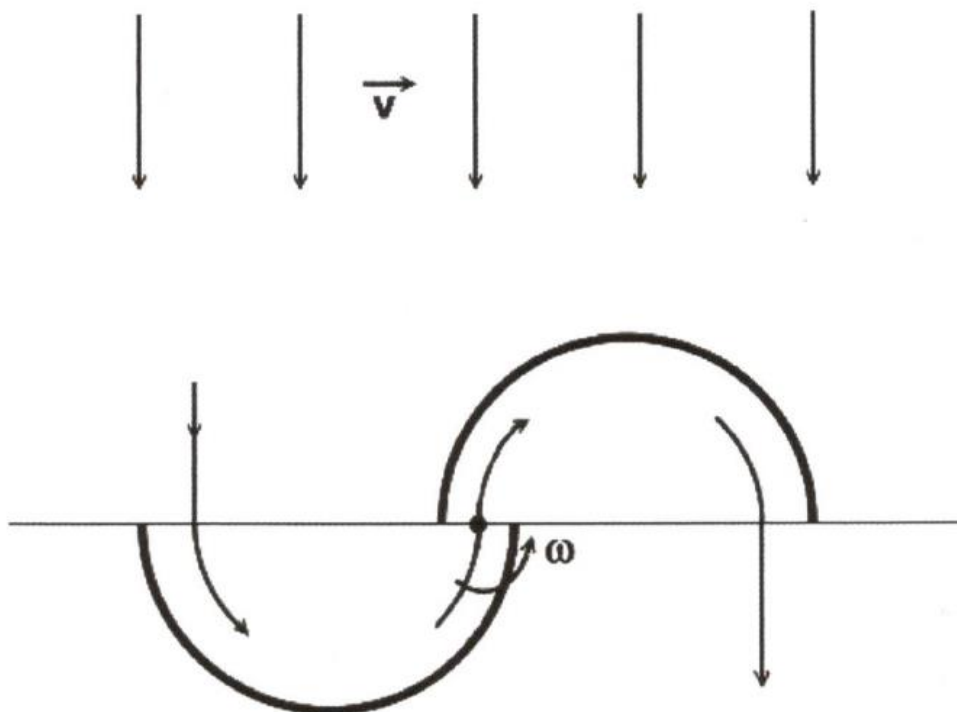
3.2 Rozdělení

Větrné elektrárny lze rozdělit podle několika různých hledisek, prvním z nich je rozdělení podle instalovaného výkonu [10]:

- **Malé** – výkon do 60 kW, průměr vrtule do 16 m
- **Střední** – výkon do 750 kW, průměr vrtule do 45 m
- **Velké** – výkon do 6400 kW, průměr vrtule do 128 m

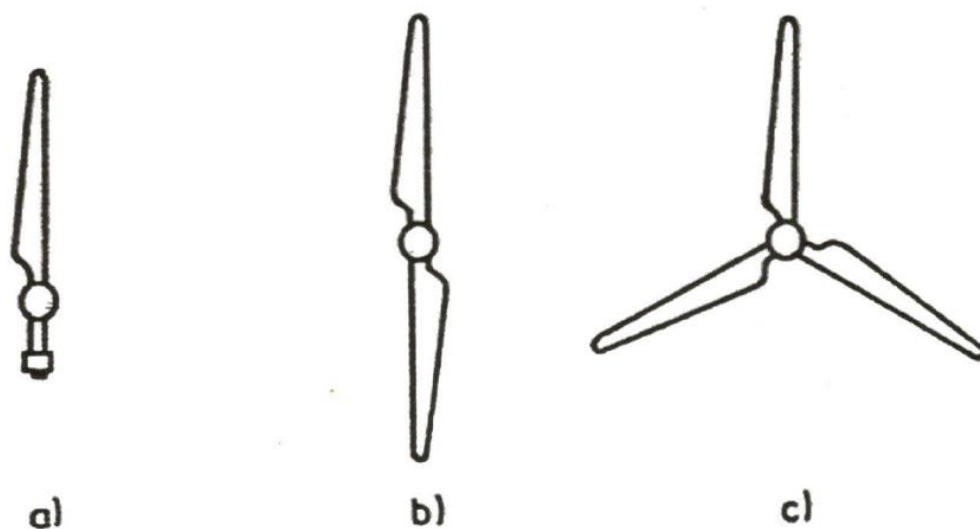
Další možností je velmi často používané rozdělení podle principu funkce větrného motoru:

- **Motory odporové** – Tento typ motoru se dnes již moc nepoužívá, důvodem je nízká účinnost okolo 20 % a tím pádem malý dosažitelný elektrický výkon. Lopatky motoru jsou nastavené proti větru a vytváří mu aerodynamický odpor, čímž se vytváří síla, která se přeměňuje na rotační pohyb. Typickým zástupcem je na příklad Savoniův motor – viz. Obrázek 1



Obrázek 1: Savoniův větrný motor [2]

- **Motory vztlakové** – U tohoto typu motoru lze dosáhnout účinnosti až 40 %. Pracuje na vztlakovém principu, kdy jsou speciálně tvarované lopatky natočeny kolmo ke směru větru. Tyto motory bývají nejčastěji dvoulisté nebo třílisté. Ukázku jednotlivých typů rotorů můžeme vidět na obrázku č. 2.



Obrázek 2: Vztlakové motory a) jednolisté provedení s protizávažím b) dvoulisté provedení c) třílisté provedení [2]

V neposlední řadě lze motory dělit na horizontální a vertikální, případně i podle rychlostního součinitele na rychloběžné a pomaloběžné. [2]

3.3 Princip funkce

Princip fungování je v zásadě velmi jednoduchý. Větrný motor je umístěn na stožáru příhradové nebo tubusové konstrukce a k němu jsou připevněny lopatky. Uložení ve výšce je důležité kvůli stoupající rychlosti větru se zvyšující se výškou nad zemským povrchem. Jak již bylo uvedeno výše, lopatky jsou natočeny proti směru větru, kterému kladou aerodynamický odpor. Ve chvíli nárazu větru na čepel lopatky se vytvoří kapsa nízkého tlaku na závětrné straně listu, což je způsobeno tvarem a geometrií lopatky. Působením tohoto nízkého tlaku je list uveden do pohybu a roztáčí rotor. Aby tento mechanismus fungoval, lopatka musí být správně navržena a mít správnou geometrii. Otáčející se rotor větrného motoru je spojen hřídelí s generátorem elektrického proudu. Tento proud je pak distribuován ke koncovým uživatelům přes standartní elektrickou síť. [11]

Regulace výkonu:

Větrné elektrárny jsou stavěny pro maximální efektivitu a energetický výnos při rychlosti větru pohybující se okolo 15 m/s (54 km/h). Minimální použitelná je potom v rozmezí 3 - 5,5 m/s a maximální hranicí je 25 m/s. Při rychlostech větru menších, než minimálních není vyvinut dostatečný vztlak na lopatkách, a tudíž nedojde k jejich roztočení. Naopak při příliš vysoké rychlosti větru je zde riziko poškození a elektrárny se musí odstavovat. Aby nedocházelo k odstavování elektráren příliš často a zároveň byl splněn požadavek na co nejdelší období provozu při ideálních rychlostech, musí být výkon elektráren regulovatelný. Regulace se provádí u malých větrných elektráren nejčastěji regulačním kormidlem, u větších potom systémem STALL a PITCH. [2]

3.4 Ekonomická situace

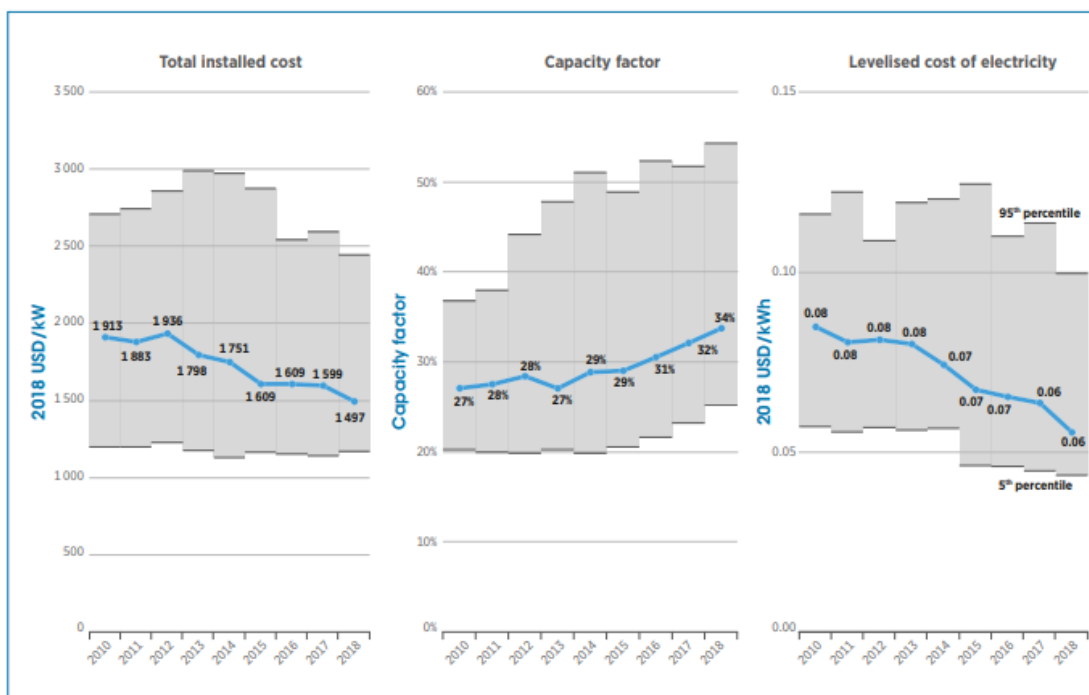
Cena stavby a provozu větrných elektráren během posledních dvaceti let poklesla téměř o 70 % a tím se tento zdroj energie stal vhodnou alternativou k ostatním zdrojům elektrické energie.

Větrné elektrárny je nutné z ekonomického hlediska rozdělit na ty, které se staví ve vodách moří podél pobřeží (Offshore) a na ty, které se staví na pevnině ve vnitrozemí (Onshore).

3.4.1 Onshore větrné elektrárny (Pevninské)

V posledních letech stále dochází k postupnému snižování ceny stavby nových větrných elektráren, což je důsledkem zlepšení kapacitního faktoru a pokračujícím vývojem konstrukce a výroby turbín. [12]

3.4.1.1 CAPEX, kapacitní faktor, LCOE



Graf 1: Celkové vážené průměrné náklady na instalaci, kapacitní faktor a LCOE pro onshore větrné elektrárny, 2010-2018 [12]

Z grafu č. 1 je patrné, že celkové náklady na výstavbu (investiční náklady) v posledních letech stále klesají a momentálně jsou na úrovni 1500 USD/kW v roce 2018. Kapacitní faktor se stále zvedá a dosahuje úrovně 34 % a cena za jeden kWh vyrobené energie (LCOE) klesla až na hodnotu 0,06 USD.

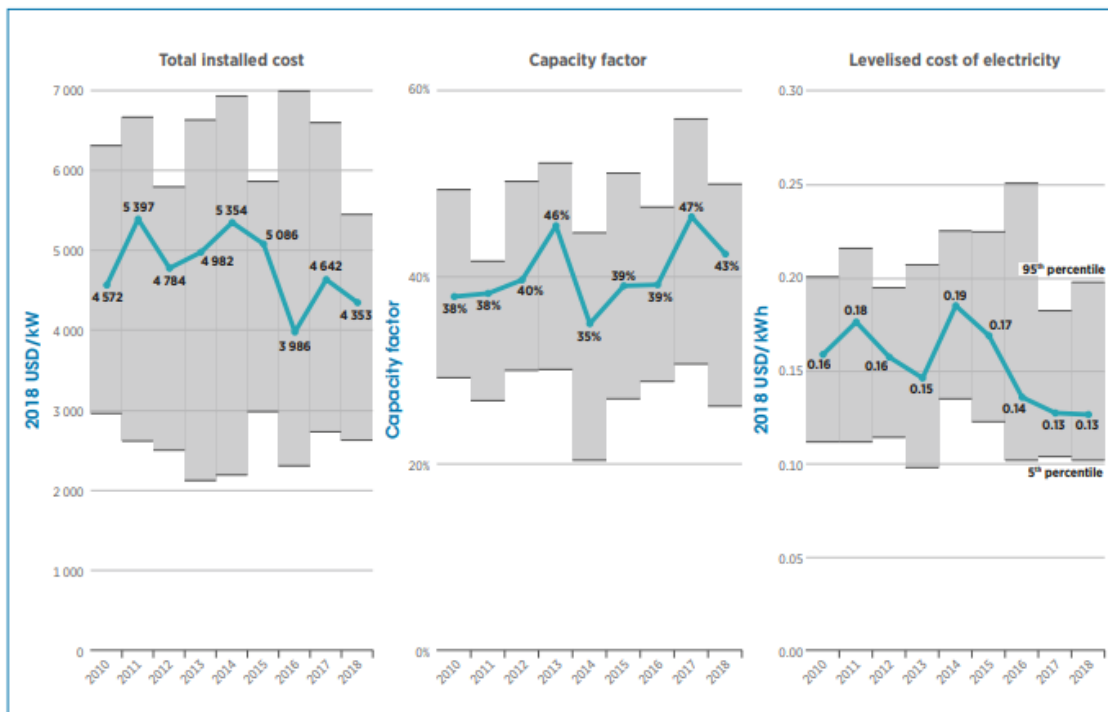
Nutno podotknout, že se jedná o průměrné náklady na stavbu všech větrných elektráren na celém světě a mezi jednotlivými regiony panují jisté rozdíly. Pro příklad v Číně je průměrná hodnota nákladů na výstavbu 1170 USD/kW, ale ve zbytku Asie dosahuje hodnoty až 2237 USD/kW. V Evropě se pohybujeme přibližně kolem ceny 2000 USD/kW. [12]

3.4.2 Offshore Elektrárny (Mořské)

V roce 2018 bylo nainstalováno 4,5 GW výkonu ve formě offshore větrných elektráren, a to téměř výhradně v Číně a v Evropě. Ceny výstavby těchto elektráren také zažívají pokles, a to především díky inovacím v technologii větrných turbín, v instalaci a v logistice. Momentálním trendem je stavba větších a výkonnějších turbín, snižujících počet potřebných instalovaných turbín a tím i náklady s tím spojené, anebo zvyšujících dosahovaný výkon. Tato redukce ceny je v určité míře ovlivněna i stavbou elektráren dále od pobřeží v hlubších vodách, kde je instalace sice nákladnější, ale na druhou stranu bývají

v těchto místech lepší a stabilnější větrné podmínky. Tyto faktory přispěly ke zvýšení průměrného výnosu tohoto typu elektráren. [12]

3.4.2.1 CAPEX, kapacitní faktor, LCOE



Graf 2: Celkové vážené průměrné náklady na instalaci, kapacitní faktor a LCOE pro offshore větrné elektrárny, 2010-2018 [12]

Z grafu č. 2 je opět dobře vidět, že průměrné investiční náklady jsou 4353 USD/kW instalovaného výkonu, kapacitní faktor se pohybuje okolo hodnoty 43 % a LCOE je na úrovni 0,13 USD/kWh vyrobeného výkonu. Lze si všimnout, že náklady jsou zde vyšší než u onshore elektráren, což je způsobeno podstatně složitější a tím i dražší instalací tubusů na mořské dno.

3.4.3 Provozní náklady (OPEX)

Provozní náklady větrných elektráren v sobě zahrnují [13]:

- Pojištění
- Plánovanou údržbu
- Neplánovanou údržbu
- Administraci
- Elektřinu ze sítě
- Pronájem půdy
- Ostatní náklady

Rozmezí hodnot fixních i variabilních provozních nákladů pro oba typy elektráren jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka 1: Provozní náklady pro offshore a onshore větrné elektrárny, vlastní zpracování podle [6][14]

Typ elektrárny	Fixní [USD/kW/rok]	Variabilní [USD/kWh]
Onshore	27-69	0,015
Offshore	79-237	0,03

Průměrné fixní náklady dosahují u onshore elektráren přibližně 45 USD/kW/rok, u offshore pak 150 USD/kW/rok. Vyšší ceny za provoz a údržbu u offshore elektráren jsou dány jejich horší přístupností a také provozem v náročnějších podmínkách.

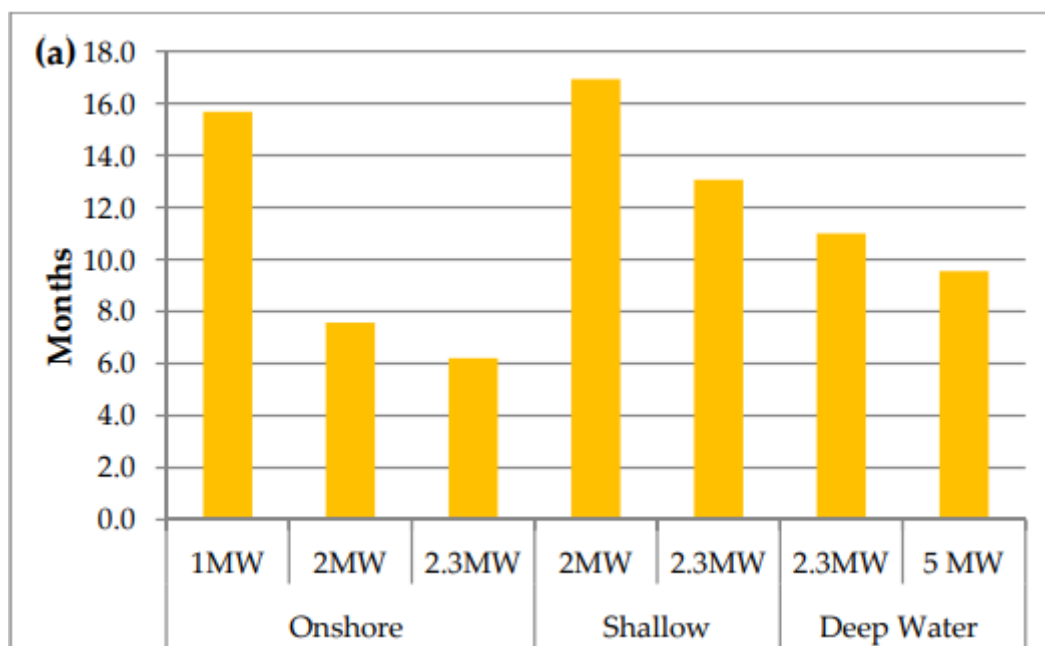
3.5 Environmentální situace

I přes to, že je větrná energie čistá, neprodukuje škodlivé látky a nepotřebuje pro svůj provoz žádné palivo, má i určité špatné vlivy na své okolí. Mezi časté problémy patří hluk, poškozování rázu krajiny a zabírání velkého území pro svou stavbu. [11]

3.5.1 Life Cycle Assessment:

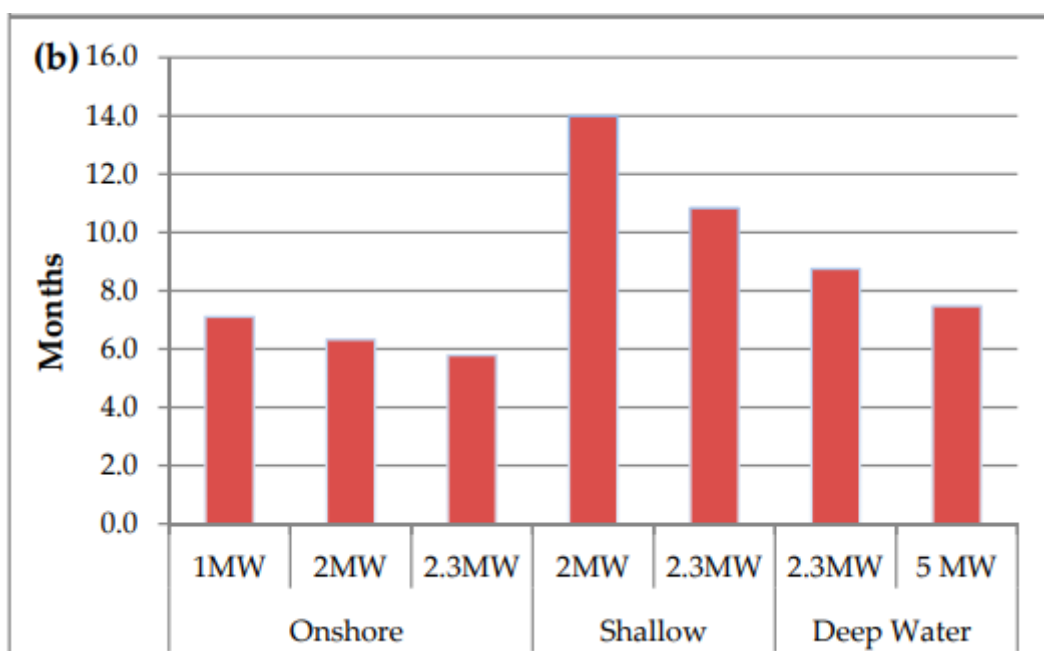
Z pohledu hodnocení životního cyklu patří větrné elektrárny k nejšetrnějším zdrojům elektrické energie. Během svého životního cyklu vyprodukují průměrně celkem 26 gramů emisí na kWh vyrobené energie. Mezi tyto emise patří například karcinogenní látky, CO₂ a SO₂. Množství skleníkových plynů se pohybuje v rozmezí (6–9) g CO₂eq/kWh. [15]

Energy Payback Ratio je v rozmezí 34–18, kde se u horní hranice se pohybují spíše onshore a u spodní offshore elektrárny. V dnešní době trvá přibližně 8–12 měsíců, než elektrárna vyprodukuje množství energie spotřebované v průběhu jejího životního cyklu. [15] Jak lze vidět v následujícím grafu, nejkratší návratnost mají onshore elektrárny vyšších výkonů.



Graf 3: Energetická návratnost podle umístění větrné elektrárny. [15]

Z hlediska CO₂ zátěže vychází onshore elektrárny o polovinu lépe než offshore elektrárny v mělkých vodách. Pokud se podíváme pouze na offshore elektrárny, zde je vyprodukováno méně CO₂ při stavbě hlubinných elektráren, jež se na rozdíl od mělkovodních elektráren montují na břehu a následně spouští do vody pomocí těžké techniky. Tento fakt se projeví v rozdílném počtu měsíců bezemisního provozu těchto typů elektráren. Následující graf ukazuje, kolik měsíců provozu elektrárny je potřeba k vyrovnání CO₂ vyprodukovaného během jejího životního cyklu. [15]



Graf 4: Návratnost CO₂ zátěže. [15]

Jednou z velkých výhod větrné energie je téměř nulová spotřeba vody, což ji činí ideálním zdrojem a alternativou do suchých oblastí. Pro srovnání – při výrobě jedné kWh energie se spotřebuje 0,0038 litru vody oproti uhelným elektrárnám – 1,86 litru, a jaderným elektrárnám – 2,32 litru. [11]

3.5.2 Problémy s výstavbou a provozem

Výstavba ve vztahu ke krajině: Stavbou větrných elektráren je okolní krajina ovlivněna jen minimálně. Celková doba stavby jsou přibližně dva měsíce a rozebrání po ukončení životního cyklu elektrárny zabere přibližně 2 dny. Veškeré úpravy krajiny potřebné pro dopravení materiálu k místu stavby jsou dočasné a po postavení se terén uvádí do původního stavu. [10]

Výhodou je také možnost využívání zemědělské půdy i po stavbě elektrárny podobně jako u stožárů elektrického vedení. [10]

Hluk emitovaný elektrárnami: V souvislosti s větrnými elektrárnami se bavíme o dvou zdrojích hluku – mechanickém a aerodynamickém.

Zdrojem mechanického hluku je strojovna elektrárny a její vnitřní pohonné ústrojí. Množství tohoto hluku závisí na kvalitě provedení jednotlivých částí a na celkové izolaci strojovny. Výhodou tohoto zdroje hluku je jeho ustálený projev bez výkyvů.

Aerodynamický hluk vzniká interakcí listů rotoru s okolním vzduchem a vznikem vírů za hranou listů. Tento hluk lze redukovat správnou konstrukcí listů rotoru.

Maximální intenzita produkovaného hluku je dána zákonem a tato hranice je 50 dB přes den a 40 dB v noci. [10]

Nebezpečí pro ptactvo: Panovaly velké obavy z nebezpečí pro ptactvo, které ale nebyly prokázány žádnými výzkumy. Ptáci rozeznávají pomalu se otáčející listy rotorů a vyhýbají se jim. Počet kolizí je malý a spíše výjimečný. Mnohem větším nebezpečím je pro ptactvo velké množství zasklených ploch v obydlených oblastech. [16]

Krajinný ráz: Větrné turbíny jsou v krajině dobře viditelné a přispívají k jejímu vizuálnímu znečištění. Ačkoli to některým lidem vadí, nejsou o nic víc viditelné než skládky, vodárenské věže nebo sportovní resorty. Problémem je také nedostatek volné půdy k výstavbě elektráren především v blízkosti větších měst. Řešením tohoto problému s místem je stavba větrných turbín v mělké vodě na pobřeží moří. [11]

Produkce škodlivin: Větrné elektrárny produkují oproti například uhelným elektrárnám minimální množství zplodin a škodlivých látek. Údaje o odlehčení životního prostředí užíváním větrných elektráren se liší autor od autora, ale s jistotou se dá říci, že je poměrně značné.

3.6 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Plná obnovitelnost a šetrnost k životnímu prostředí
- Stabilní cena vyrobené energie díky palivu, které je pro všechny dostupné zdarma
- Vysoká míra bezpečnosti
- Může dodávat energii i v místech vzdálených od elektrické sítě [11]

Nevýhody:

- Nemůže sloužit jako jediný zdroj energie – výkon větru není stabilní a nelze pružně reagovat na poptávku elektrické energie od spotřebitelů [11]
- Problém se skladováním a distribucí nadbytku vyrobené energie – v současné době nejsme schopni efektivně ukládat elektrickou energii do zásob. Přebytek energie může mít negativní vliv na stabilitu elektrizační soustavy [2]
- Závislost na povětrnostních podmínkách
- Vysoký hluk a vliv na krajinný ráz [11]

3.7 Situace v ČR

Na konci roku 2018 byl instalovaný výkon větrných elektráren v České republice 320 MW a za rok 2018 se vyrobilo 609,3 GWh elektrické energie. [17]

Teoretický realizovatelný potenciál v ČR je zhruba 3100–5800 MW, s takovýmto výkonem by se roční objem vyrobené elektřiny mohl pohybovat mezi 9,78-18,29 TWh. Tento scénář ale počítá s velmi vstřícným přístupem místních obyvatel ke stavbě elektráren v blízkosti jejich bydlišť a s celkovou snahou odstraňovat bariéry jejich rozvoje. Momentálně mnohem reálnější je střední scénář s potenciálem 2300 MW, který počítá s omezeními v podobě vyloučení nevhodných oblastí, jako jsou CHKO, NP, vojenské oblasti apod... Dalším omezením je ne vždy vstřícný přístup státní správy a nedostatečná infrastruktura v místech s nejvyšším potenciálem. [18] [19]

V roce 2014 pokrývaly větrné elektrárny 0,7 % spotřeby elektřiny v ČR, ale budoucnu by to mohlo být až 30 %. Reálně se této hodnoty zřejmě nedosáhne, faktem ale je, že větrná energie má v České republice relativně dobrý potenciál. Ze všech zdrojů elektrické energie v ČR vyrábějí větrné elektrárny energii nejlevněji. [19]

4 Vodní elektrárny

Elektrická energie vyrobená pomocí vodních elektráren patří mezi energii čistou a hlavně obnovitelnou. Využívání vodních toků má dlouhé tradice v minulosti a nejedná se proto o žádnou novou věc, a to ani v případě, že se bavíme pouze o výrobě elektrické energie.

4.1 Historie

Pravděpodobně první využití vodní energie se datuje do 6. století před naším letopočtem, a to v oblasti Mezopotámie, kde byly využívány vodní čerpací kola k dopravě vody v zavlažovacích kanálech. Před začátkem našeho letopočtu je doloženo využívání vodní energie i ve starověkém Řecku a v Římské říši. Vodní kola byla využívána k zavlažování a později pro pohon vodních mlýnů. [20]

Průkopníky v používání vodních mlýnů byly v Evropě Němci, kde byl první mlýn zprovozněn v roce 361. Vodní kolo se postupně stalo velmi významným v oblasti průmyslu a rozvoje a udrželo si své postavení až do 19. století, kdy je postupně nahrazováno parním strojem. Ve 30. letech 20 století probíhala záměna vodních kol za vodní turbíny. První vodní turbína byla vyrobena v roce 1827 ve Francii a po celý zbytek 19. století probíhal vývoj a rozvoj vodních turbín. [20]

První vodní elektrárna byla postavena lordem Armstrongem v roce 1878 na řece Debdon. Se svým výkonem 4 kW zajišťovala osvětlení jeho zámku. [20]

4.2 Rozdělení

Vodní elektrárny dle Mastného [2] lze rozdělit na elektrárny průtočné, regulační a přečerpávací. Určitým druhem vodní elektrárny je i elektrárna slapová, která využívá sílu přílivu a odlivu moře.

Průtočné elektrárny – Tento typ využívá přirozeného průtoku řeky, její výkon je tudíž závislý na momentálním průtoku vody v řece. [21] Výkon těchto elektráren nelze přizpůsobit požadavkům odběru v soustavě. Pokud má elektrárna malý spád, mění se s průtokem i hodnota spádu a při velmi velkých hodnotách průtoku může dojít až k vyrovnání spodní a horní hladiny, a tedy k nulovému spádu. Elektrárna má pak nulový výkon. [2]

Regulační elektrárny – Dosahují vyšších výkonů díky většímu spádu, který zajišťuje velká přehradní hráz [16], případně vysoko položená nádrž, ze které je voda do elektrárny vedena tlakovým potrubím. [2] Tyto elektrárny pokrývají špičkové nebo pološpičkové

zatížení, k čemuž využívají řízeného odběru vody z akumulární nádrže. Kromě výroby elektrické energie se využívají také k regulaci vodních toků, jako zdroj pitné vody nebo pro rekreační účely. [21]

Přečerpávací elektrárny – Pro svou funkci potřebují dvě nádrže, pokud možno s co největším spádovým rozdílem. V době, kdy je potřeba vyrovnat špičkové zatížení, voda přitéká z horní nádrže tlakovým potrubím k turbíně, která jí odebírá energii a pohání generátor. Voda pak odtéká do spodní nádrže. Při přebytku energie v síti se využívá levného proudu a voda je přečerpávána zpět do horní nádrže. [16]

Slapové elektrárny – Využívají kinetickou energii vody, kterou má při přílivu a odlivu. Je potřeba, aby rozdíl hladin při přílivu a odlivu byl co největší, ideálně více než 10 metrů. Při přílivu proudí voda na turbínu v zátoce a při odlivu proudí zpět. Výkon těchto elektráren již z principu nemůže být kontinuální. V současné době se příliš nestaví pro svou cenu a specifické provozní vlastnosti. [16] [21]

Dále lze také vodní elektrárny dělit také podle instalovaného výkonu a využívaného spádu.

4.3 Princip funkce

Voda přitéká na lopatky turbíny, která je na společné hřídeli s elektrickým generátorem. Voda předává svou energii turbíně a tím ji roztáčí. Spolu s ní se roztáčí i generátor, jehož rotační energie se elektromagnetickou indukcí mění na energii elektrickou. Vzniklá elektrická energie se pak odvádí do míst spotřeby. [2] [21]

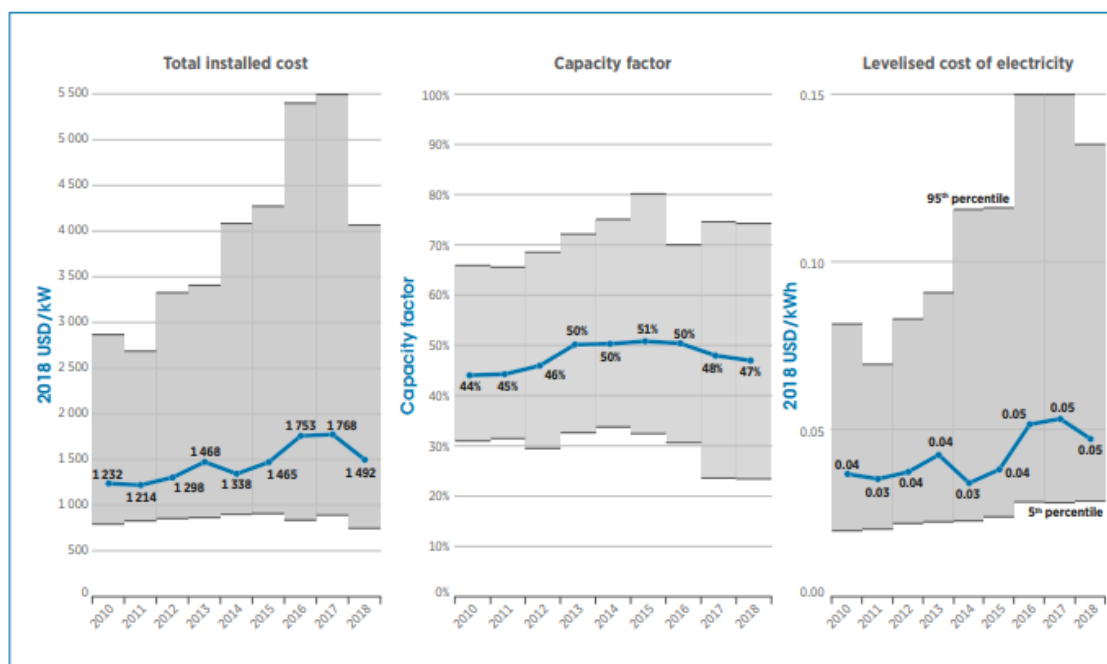
Podle účelu a podmínek vodního díla se volí druh použité turbíny. Nejčastěji se používají turbíny Francisova a Kaplanova v různých verzích. Při vysokých spádech je vhodná Peltonova turbína. Pro přečerpávací elektrárny jsou potřebné turbíny umožňující reverzní chod a přestavování lopatek. Existuje ještě několik dalších typů turbín, které vznikly většinou modifikací některého z výše uvedených typů. [2]

Slapové vodní elektrárny fungují na principu slapového jevu. Tento jev je způsoben gravitační silou Měsíce a z menší části i silou Slunce a dalších planet Sluneční soustavy. Tato gravitační síla vytváří slapové změny výšky hladiny oceánů, která stoupá a klesá v závislosti na poloze Měsíce vůči Zemi. Díky tomu dochází v každém přístavu 2x denně k odlivu a přílivu. [2]

4.4 Ekonomická situace

Výroba elektrické energie prostřednictvím vodních elektráren je velmi zajímavou alternativou výroby energie. Vyznačuje se nízkými náklady na elektřinu, kterou vyrábí, a velkou flexibilitou dodávání elektřiny do sítě. [12]

4.4.1 CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE



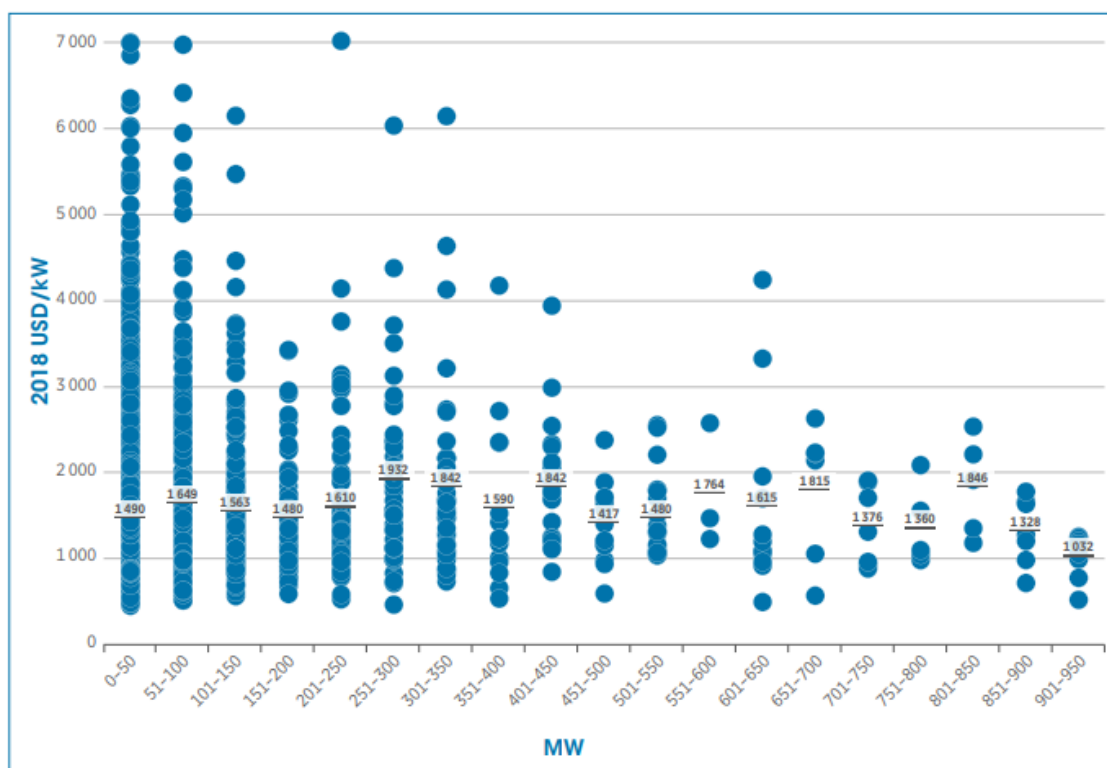
Graf 5: Celkové vážené průměrné náklady na instalaci, kapacitní faktor a LCOE pro vodní elektrárny, 2010-2018 [12]

Jak můžeme vidět v grafu č. 5, investiční náklady v posledních několika letech pozvolně stoupaly, aby v roce 2018 klesly na hodnotu 1492 USD/kW. V tuto chvíli nelze říci, zda bude tato hodnota novou průměrnou ustálenou hodnotou i pro další léta, nebo zda budou náklady na výstavbu dále klesat. Nárůst nákladů v letech 2016 a 2017 byl způsoben realizací nových projektů v místech více vzdálených od elektrických sítí a lidských obydlí, což přineslo vyšší náklady na logistiku a připojení do elektrické sítě. Lokace vhodnější pro stavbu nových projektů již byly využity v předcházejících letech. [12]

Pokles ceny v roce 2018 zřejmě zapříčinily větší investice Číny do této oblasti energetiky, která většinu podobných projektů zvládá o 10 % - 20 % levněji, než je obvyklé v jiných částech světa. [12]

Celkové náklady na stavbu jsou poměrně dost závislé na velikosti projektu. Z grafu č. 7 lze vidět, že menší projekty mají mnohem širší cenový rozsah než projekty větší a také

většinou vychází draž. Jak se zvyšuje instalovaný výkon, celková cena USD/kW se u všech navzájem si podobných projektů stabilizuje na podobných hodnotách a je tak mnohem více homogenní.



Graf 6: Celkové náklady na instalaci vodních elektráren podle instalovaného výkonu. [12]

Kapacitní faktor dosáhnul v roce 2018 hodnoty 47 % a je v posledních osmi letech relativně ustálený. U jednotlivých projektů se ale velmi liší. U velkých projektů (více než 10MW) dosahuje hodnot od 34 % pro Evropu, po 62 % pro Jižní Ameriku s výjimkou Brazílie. Malé projekty (méně než 10MW) pak dosahují hodnot v rozmezí od 46 % (Evropa) po 67 % (Jižní Amerika). [12]

Celkové průměrné náklady na výrobu 1 kWh dosáhly v roce 2018 hodnoty 0,047 USD/kWh. Za zmínku stojí, že Evropa patří mezi regiony s nejhorsími výsledky ohledně vodních elektráren. LCOE zde dosahuje hodnot 0,12 USD/kWh pro velké výkony a 0,19 USD/kWh pro výkony malé. [12]

4.4.2 Provozní náklady (OPEX)

Provozní fixní náklady se pohybují v rozsahu 2,2 % – 3 % investičních nákladů za rok pro malé vodní elektrárny a 2,2 % investičních nákladů za rok pro velké projekty vodních elektráren. Průměrnou celosvětovou hodnotou je zde 2,5 % investičních nákladů za rok. Pro variabilní provozní náklady lze pak najít hodnotu 0,000003 USD/kWh [22]

U velkých vodních elektráren provozní náklady zhruba odpovídají hodnotám větrných elektráren a tato hodnota se bere jako průměrná pro všechny vodní elektrárny. Celkové fixní provozní náklady se pohybují průměrně mezi 20–60 USD/kW/rok. [22]

4.5 Environmentální situace

Vodní elektrárny patří mezi téměř bezemisní způsob výroby elektřiny. I přes to se však najde řada problémů, které jejich stavbou vznikají. Mezi ně patří například zaplavení rozlehlých oblastí a s tím spojená likvidace okolní přírody a vysídlování obyvatelstva.

4.5.1 Life Cycle Assessment:

U většiny vodních elektráren se množství emitovaných skleníkových plynů pohybuje v rozmezí (4–14) g CO₂eq/kWh. Zatímco regulační elektrárny tento průměr potenciálně zvyšují s hodnotami okolo 150 g CO₂eq/kWh, spádové a přečerpávací vykazují řádově nižší hodnoty a celkový průměr snižují. [6]

Vodní elektrárny mají nejvyšší Energy Payback Ratio ze všech dostupných zdrojů. Nejlepších hodnot dosahují regulační elektrárny (přehrady) s hodnotami okolo 200 a výše. Spádové elektrárny dosahují poměru 170 a výše. [23]

4.5.2 Dopady na životní prostředí

Vliv na vodní toky: Při provozu regulačních elektráren s přehradou se musí dbát na dostatečný průtok vody, aby nedošlo k vyschnutí toku dále po proudu. Pokud je ale průtok nárazově moc velký, může poklesnout teplota a množství kyslíku dále v toku, což může ohrozit vodní život. [24] Dalším problémem je zvýšený odpar vody z velkých stojatých ploch nad jezy a v přehradách. V původním korytu pod jezy se pak mohou v důsledku malé hloubky i rychlosti toku vytvořit zahnívajícící místa, které zhorší kvalitu vody. [25]

Zabírání území: Hlavním problémem jsou přehrady stavěné v rovinných oblastech, držící na velmi velkém prostoru relativně malé množství vody. Pro stavbu jsou vhodnější kopcovité oblasti, kde vznikne větší hloubka nádrže a pojme při stejné ploše více vody. [24]

Stavba nové přehrady změní život hlavně tamějšímu obyvatelstvu, kde se mnozí z nich musí vystěhovat ze svých domovů do jiné oblasti. Mnohdy prosperující vesnice a města jsou zatopeny. Extrémním případem může být čínská elektrárna Tři soutěsky, při jejíž stavbě muselo být přesunuto 700 000 obyvatel a bylo zatopeno 1084 km².

Dopad na floru a faunu: V letních měsících dochází ke zvýšení teploty stojaté vody v přehradách a následnému přemnožení řas. Tyto řasy pak zdecimují původní vodní život, a proto musí být buď manuálně sbírány nebo musí vysazeny ryby, které se těmito řasami živí. [24] Stojatá voda také neprospívá organismům žijícím u břehu závislým na kolísání hladiny vody. Toto se týká lišejníků, mechorostů a řasových společenstevch. [25]

Vodní elektrárny tvoří velkou překážku v přirozené migraci ryb, ačkoli existují rybí přechody, mnoho ryb přesto zahyne v hlavním proudu vedeným skrz lopatky turbín. V suchých letních obdobích s nedostatkem vody dochází k úhynu mnoha živočichů a společenstev v místech pod jezem, kde tou dobou není skoro žádná voda. [25]

4.6 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Obnovitelnost zdroje
- Bezemisní provoz
- Díky možnosti regulace toku lze u některých typů vodních elektráren efektivně vyrovnávat energetické špičky.
- Velmi dlouhá životnost – až 100 let. [23]
- Jezy a přehrady slouží také jako součást protipovodňové ochrany a v mnoha případech i jako zásobárna pitné vody.
- Vodní díla často umožňují lodní dopravu po daném toku

Nevýhody:

- Velké zásahy do rázu okolní krajiny
- Negativní vliv na tamější obyvatelstvo, ale i flóru a faunu
- Ovlivnění samotného vodního toku
- Nízké, ale přesto existující riziko protržení hráze vlivem přírodních katastrof nebo cíleného útoku [16] [26]

4.7 Situace v ČR

Ke konci roku 2018 dosahoval celkový instalovaný výkon všech vodních elektráren 2264 MW, které vyrobily celkem 2679,4 GWh elektrické energie. Z toho na klasické vodní elektrárny (průtočné, regulační) připadá 1092,5 MW instalovaného výkonu a 1628,8 GWh vyrobené energie. Zde měly největší podíl velké elektrárny s výkonem nad 10 MW a to 46 %. Zbytek výše udávaného výkonu a vyrobené energie náleží přečerpávacím elektrárnám. [27]

Celkový hydropotenciál ČR je odhadován na 1500 MW instalovaného výkonu. Tato hodnota ale představuje naprosto plné pokrytí vodních toků, kde by se jednotlivá díla vzájemně doplňovala. Nutno dodat, že až 35 % z dosud nevyužitého potenciálu nabízí spád menší než 2 metry, tedy velmi nízký. Z pohledu investorů se tak nejedná o zajímavé nabídky, protože návratnost investic je zde delší. Většina výhodných a efektivních míst je již využívána a dále se tak nabízí spíše modernizace zastaralých elektráren nebo využívání rybníků a nádrží k stavbě malých elektráren. [10]

5 Spalování biomasy

Pod pojmem biomasa si můžeme představit veškerou organickou hmotu na Zemi. Jedná se o těla rostlin, živočichů, hub, sinic a bakterií. Biomasa také zahrnuje veškeré odpadní produkty, jako jsou zbytky z rostlinné výroby, exkrementy zvířat, odpad z jatek a splašky z kanalizace nebo také zbytkové produkty z dřevařského průmyslu – kořeny, pařezy, větve, piliny... [16] [28]

Z pohledu energetiky jsou za biomasu nejčastěji považovány rostliny, které využívají sluneční záření k fotosyntéze, při které dochází k tvorbě energeticky bohatých sloučenin – uhlovodíků. Rostliny potřebují ke svému růstu, a tedy k tvorbě biomasy také vodu a oxid uhličitý. Dalším zdrojem biomasy jsou živočišné, kteří ale k její produkci potřebují energii získanou z konzumace jiné biomasy – rostlin. Energie akumulovaná v biomase pochází tedy ze Slunce jako jediného primárního zdroje. [16] [28]

5.1 Historie

Biomasa je po Slunci nejstarším dostupným zdrojem energie, ale na rozdíl od slunečního záření se člověk naučil využívat biomasu již velmi dávno. Od objevení ohně až po 18. století šlo o nejvýznamnější zdroj energie pro člověka. Až ve 20. století byla postupně vytlačena rozmáhajícími se fosilními palivy, a tudíž se jedná o zdaleka nejdéle využívaný zdroj energie. [16]

V 70. letech 20. století se začaly objevovat obavy z nedostatku fosilních paliv a vědci přišli s nápadem nahradit je biomasou. Až kolem roku 1975 dostala biomasa svůj název. V dnešní době existují vysoce moderní spalovací zařízení, elektrárny, či zařízení na výrobu plynu nebo paliva. [16] [29]

5.2 Rozdělení

Biomasu můžeme rozdělit podle více kritérií, například podle jejích vlastností nebo původu.

Vobořil [28] ve svém článku rozděluje biomasu dle vlastností následovně:

- **Suchá** – suroviny lze přímo spálit a generovat energii
- **Vlhká** – tyto suroviny se používají na výrobu bioplynu a nejsou přímo spalitelné
- **Speciální** – slouží pro výrobu bionafty a lihu, jsou to např. olejninny či škrobové a cukernaté plodiny

Podle původu lze biomasu rozdělit na rostlinného původu, organického původu a palivo z komunálního odpadu. [2]

- **Rostlinný původ** – tyto zdroje lze rozdělit na odpadní produkty a biomasu pěstovanou pro energetické účely. Skupinu odpadních produktů zastupují zbytky po těžbě dřeva v podobě dřevní štěpky, sláma obilovin a zbytky kukuřice. Naopak přímo pro energetické zpracování se pěstují olejnaté plodiny za účelem výroby oleje a rychlerostoucí dřeviny jako palivo pro spalovny.
- **Živočišný původ** – zde se jedná o exkrementy hospodářských zvířat, kejdu, hnůj a kafilerní tuky, které se dají použít pro spoluspalování.
- **Palivo z komunálního odpadu** – Jedná se o tříděný komunální odpad, který se spaluje ve spalovnách. Zde je nutné minimalizovat úniky škodlivin do ovzduší kvalitním tříděním odpadu.

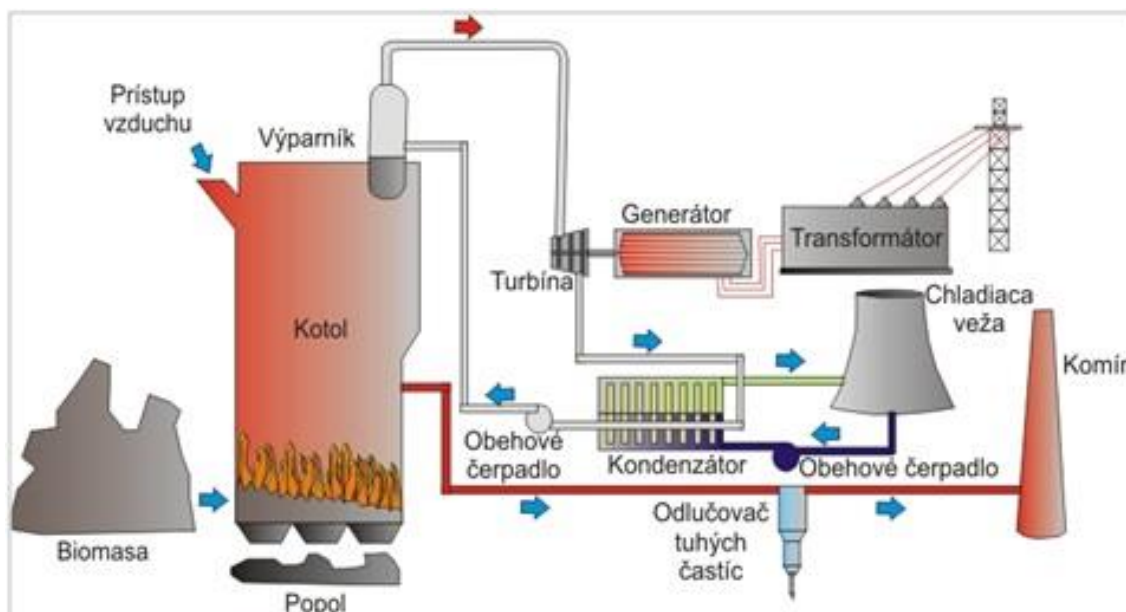
5.3 Princip funkce

Pro výrobu elektrické energie se využívá technologií spalování a zplyňování.

Před samotným zpracováním je vhodné biomasu nejprve mechanicky upravit. Jedná se zejména o úpravu dřeva a dřevěného odpadu ve formě řezání, drcení a lisování briquet a pelet, což napomáhá snadné přepravě a lepšímu využití pro získání energie. [28]

5.3.1 Spalování

Principem je spalování biomasy podobné spalování fosilních paliv – teplo vyprodukované spalováním prochází výparníkem a vytváří páru, která roztáčí turbínu připojenou ke generátoru elektrické energie. V průběhu spalování je organický materiál rozložen na hořlavé plyny a vedlejší látky které oxidují za přítomnosti vzduchu, což uvolňuje vodu, oxid uhličitý a určité množství tepla, závislé na výhřevnosti paliva. Během spalování dochází k uvolňování plynů s různými spalovacími teplotami, a proto je nutná vysoká spalovací teplota a dobré promísení vzduchem. [28] [30] Na obrázku č. 3 je zobrazeno schéma elektrárny na spalování biomasy.



Obrázek 3: Elektrárna na biomasu – schéma [31]

Pro výrobu elektrické energie se často využívá spoluspalování biomasy. Biomasa se zde spaluje v určitém poměru s fosilními palivy, podíl biomasy obvykle tvoří 5–20 %. [2]

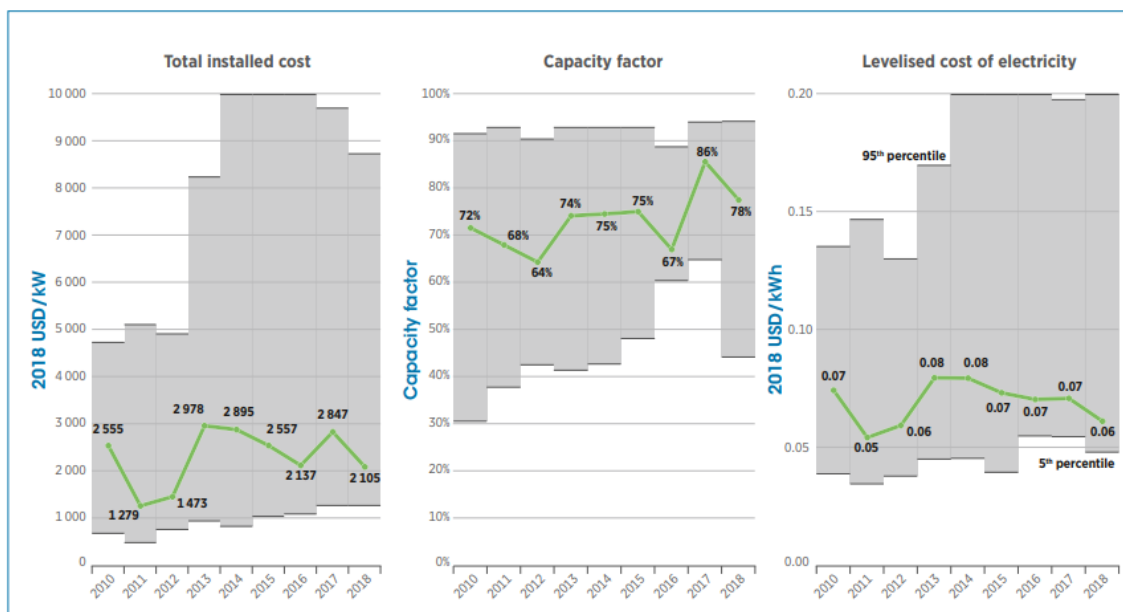
5.3.2 Zplyňování

Zplyňování je chemický proces, při kterém se část pevného paliva mění na plynné. Proces probíhá při teplotách 700 °C – 1100 °C za přítomnosti zplyňovacích látek, jimiž jsou vodní pára, H₂, CO₂ a O₂. Výsledkem reakce je generátorový plyn sloužící jako vstupní surovina pro výrobu elektrické energie, případně tepla. [2] [28]

5.4 Ekonomická situace

Suroviny pro výrobu elektrické energie z biomasy jsou levně dostupné jako vedlejší produkty ze zemědělského a lesnického průmyslu, což činí z biomasy relevantní konkurenci pro ostatní zdroje elektřiny. V roce 2018 klesla hodnota LCOE o 14 % na 0,062 USD/kWh jako důsledek zvýšení celosvětového instalovaného výkonu o 5,7 GW. [12]

5.4.1 CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE



Graf 7: Celkové vážené průměrné náklady na instalaci, kapacitní faktor a LCOE pro biomasu, 2010-2018 [12]

Všimněme si v grafu č. 7, jak průměrné investiční náklady klesly po instalaci nových elektráren na hodnotu 2100 USD/kW. V případě použití nejlevnějších technologií a spalování surovin jako odpad z cukrové třtiny, lesnického a jiného rostlinného odpadu, či agrikulturního odpadu lze dosáhnout hodnot i nižších – okolo 1300 USD/kW. Existují ale i výrazně dražší možnosti, jmenovitě zplyňování biomasy a spalování pevného komunálního odpadu, kde počítáme s vyššími kapitálovými náklady. Výsledkem je široký cenový rozsah pro různé technologie a možnosti spalování. [22]

Kapacitní faktor se pohybuje mezi 64 % v Číně a 83 % v Severní Americe, přičemž výsledný celosvětový průměr činí 78 %. Teoreticky je možné dosáhnout kapacitního faktoru až 90 %, těchto hodnot se ale obvykle nedosahuje. Hodnota kapacitního faktoru se odvíjí od dostupnosti surovin pro spalování, které mohou být k dostání buď sezónně nebo celoročně. Například v Indii pozorujeme nižší kapacitní faktor, způsobený spalováním pouze sezónního odpadu v období sklizně. Naopak v Evropě a v Severní Americe došlo k investicím do moderních technologií, s jejichž pomocí lze zpracovat širší škálu surovin a elektrárny mohou být v provozu po celý rok, tím se dosáhne výrazně vyššího využití. [12] [22]

Vzhledem k širokému rozsahu použitých technologií a surovin pozorujeme velmi odlišné hodnoty LCOE. Ty se pohybují v poměrně velké oblasti mezi 0,05 USD/kWh

až 0,25 USD/kWh. Hodnota LCOE v posledních několika letech postupně klesá a pro rok 2018 dosahuje průměrné hodnoty 0,06 USD/kWh. V Evropě a Severní Americe jsou tyto hodnoty opět vyšší, to je dáno přísnějšími kontrolami emisí a vyššími náklady na suroviny. V oblastech, kde jsou nižší investiční náklady a levné suroviny, se může biomasa stát výhodným zdrojem elektrické energie. Z hlediska instalovaného výkonu se většinou příliš nevyplácí elektrárny s výkonem vyšším než 50 MW, u kterých vznikají příliš vysoké náklady na transport velkého množství surovin dováženého z velkých vzdáleností. [12] [22]

5.4.2 Provozní náklady (OPEX)

Fixní provozní náklady se pohybují v rozmezí 2–6 % z celkových kapitálových nákladů, což činí přibližně 42–126 USD/kW/rok. Variabilní náklady dosahují hodnot okolo 0,005 USD/kWh. Jako fixní náklady se zde chápou mzdy zaměstnanců, pravidelná údržba a výměna komponent či zařízení. Mezi variabilní náklady pak patří likvidace popela po spalování, neplánované údržby a výměny součástí a zařízení. [22]

5.5 Environmentální situace

Spalování biomasy je dnes vhodnou alternativou k fosilním palivům. Hlavní výhoda spočívá v téměř nulových emisích oxidu uhličitého, protože množství CO₂, které se při spalování vyloučí do atmosféry, je rovno množství tohoto plynu spotřebovaného díky fotosyntetickým procesům v průběhu růstu rostlin. Aby však tato rovnost platila, je nutné spotřebovávat pouze takové množství biomasy, které se stihne obnovit. Negativním důsledkem spalování biomasy mohou být emise z dopravy surovin a nebezpečné látky uvolňované při hoření, proto je důležité, aby biomasa byla z blízkého okolí a samotné spalovny měly vhodné filtrace jedovatých zplodin. [30]

5.5.1 Live Cycle Assessment

V průběhu svého životního cyklu vyprodukují elektrárny spalující biomasu v průměru 16–74 g CO₂eq/kWh skleníkových plynů v závislosti na použité technologii a vyspělosti zařízení. Mediánem z těchto hodnot je přibližně 30 g CO₂eq/kWh. Celková produkce emisí bez přepočtu dosahuje na 45 g na kWh vyrobené elektrické energie. [6] [15]

Pokud se podíváme na Energy Payback Ratio, pohybujeme se mezi hodnotami 3 až 27. K nižší hranici spadá biomasa cíleně pěstovaná pro energetiku, kde je potřeba relativně velkého množství energie pro zajištění dobrého výnosu z těchto rostlin. Na opačné straně

se nachází biomasa získaná jako odpadní produkt převážně z lesnického průmyslu v podobě zbytků po zpracování dřeva. V tomto ohledu je velmi důležitá vzdálenost elektrárny od zdroje surovin – v případě delších vzdáleností Energy Payback Ratio strmě klesá. [23]

5.5.2 Dopady na životní prostředí

Deforestation: Jedním z největších problémů ohledně biomasy může být plošné odlesňování krajiny bez následné nové výsadby. Aby byl tento zdroj obnovitelný, je potřeba vykácené lesy znovu vysázet, k čemuž na mnoha místech planety nedochází. Spolu s lesy dochází k vyhubení mnoha rostlinných a živočišných druhů v dané oblasti. Tento problém se týká převážně míst s nedostatkem jiných zdrojů paliva. [30] [32]

Produkce škodlivin: Spalování biomasy uvolňuje velké množství kouře, který může způsobit výrazné zhoršení ovzduší v okolí. V případě spalování zvířecího hnoje dochází k obzvláště silnému znečištění vzduchu, v jehož přímém důsledku zemřelo podle odhadů World Health Organization až 1,5 milionu lidí. Dále také při sklizení cukrové třtiny dochází k zapalování polí před samotnou sklizní, což má za důsledek vysoké zakouření okolí, které může přetrvat až několik týdnů. [30]

Mimo spalovny vznikají emise také při převozu biomasy do elektráren. Tyto emise jsou ale poměrně nízké, a i při jejich zahrnutí do celkových emisí budou tyto nižší až o 70 % než v případě spalování zemního plynu. I přesto je potřeba udržet přepravní vzdálenosti co nejmenší. [16]

Zabírání velkých ploch: Pěstování biomasy pro energetické účely zabírá velké množství prostoru, kterého není převážně v zabydlených oblastech nazbyt. Plochy zabrané biomasou mohly být také využity jako zdroj obživy pro své okolí, což představuje problém v souvislosti s trendem nárustu světové populace. [32]

Spotřeba vody: Aby mohla být biomasa využita jako zdroj energie, musí prvně vyrůst. K tomu je potřeba velké množství vody a s tím spojené pravidelné zavlažování. To může negativně ovlivnit dostupnost vodních zdrojů pro faunu, ale i pro samotného člověka. [32]

5.6 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Plná obnovitelnost podmíněná správným využíváním
- Šetrnější k životnímu prostředí než fosilní paliva, téměř nulová uhlíková stopa
- Dobrá dostupnost a nízká cena paliv
- Možnost využití odpadu z různých průmyslových odvětví
- Lokální produkce kdekoliv na světě [30] [32]

Nevýhody:

- Možné znečištění ovzduší – nutná instalace filtrů
- Nízká účinnost okolo 50 % při výrobě čisté elektřiny
- Vysoké využití vody a půdy u biomasy pěstované pro energetické účely
- Omezený maximální výkon elektráren – dovoz biomasy z větších vzdáleností není výhodný [28] [32]

5.7 Situace v ČR

V České republice bylo v roce 2018 vyrobeno 2118 GWh elektrické energie v případě elektráren spalujících biomasu a 2609 GWh elektrické energie v elektrárnách spalujících bioplyn. V součtu se tyto dva zdroje podílí z 5 % na celkové vyrobené elektrické energii. Tato čísla jsou poměrně vysoká a je dobře patrné, že biomasa má své místo v energetice České republiky. [27]

Celkový energetický potenciál biomasy v ČR je odhadován na 160-217 PJ/rok, což by se rovnalo $(44-60) \times 10^3$ GWh vyrobené elektrické energie za rok. V těchto hodnotách je nicméně zahrnuta i výroba tepla, která tvoří její velmi velkou část. Například v roce 2010 byla celková vyrobená energie z biomasy rovna 94 PJ, ale pouze 20,1 PJ náleželo elektrické energii. V současné době se počítá spíše s odhadem na spodní hranici, tj. 160 PJ/rok. [18] [33]

6 Energie Slunce

Slunce je hvězda stará přibližně 4,6 miliardy let a její předpokládaná životnost je dalších 5 až 7 miliard let. Sluneční energie patří mezi nejdostupnější zdroje energie na Zemi, zároveň je prakticky nevyčerpatelná. Tato energie vzniká v nitru Slunce a na Zem dopadá v podobě elektromagnetického záření. Až polovina tohoto záření je pohlcena povrchem Země a následně vyzářena zpět do vesmíru. [2]

6.1 Historie

Počátky výroby elektrické energie ze Slunce sahají do roku 1876, kdy William Grylls Adams a jeho studenti objevili schopnost selenia produkovat elektrickou energii při vystavení světlu. Ačkoli byly seleniové články neefektivní, ukázaly světu možnost využití energie ze Slunce.

O 77 let později byl skupinou vědců objeven křemíkový solární článek s dostatečným výkonem a efektivitou pro pohánění jednoduchých elektrických přístrojů. Po třech letech v roce 1956 byly první články nabídnuty k prodeji, ovšem při cenách okolo 300 dolarů za 1 W výkonu byly daleko za hranicí dostupnosti pro širokou veřejnost. V témž roce se začaly objevovat tyto články v hračkách a rádiích, které se staly prvními zařízeními dostupnými pro běžné zákazníky.

Další pokrok nastal v 70. letech, kdy klesla cena na 20 dolarů za 1 W výkonu a solární buňky začaly osvětlovat ropné plošiny. V následujících letech se rozšířily jako zdroj elektrické energie na samotách.

V dnešní době se solární články používají pro pohon automobilů, ale i jiných dopravních prostředků. Díky snížení jejich ceny jsou dostupné i pro širokou veřejnost a hojně se užívají například jako doplňkový zdroj elektrické energie na rodinných domech.

[34]

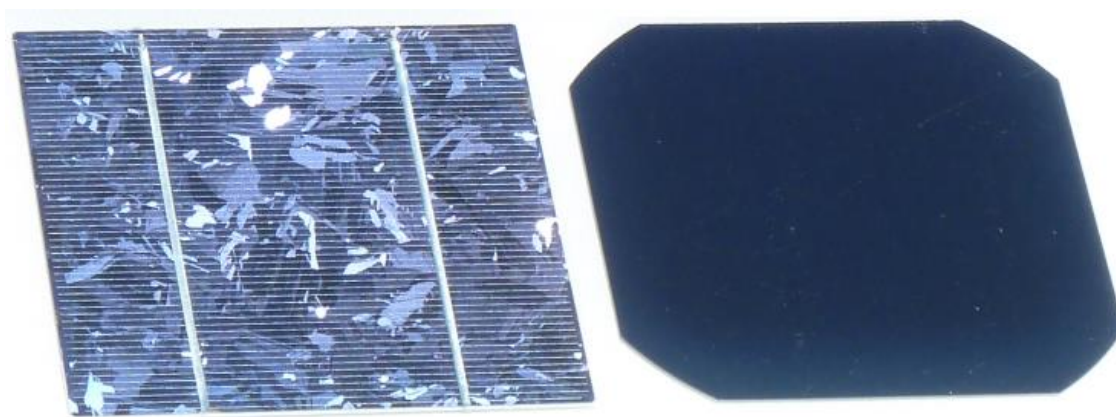
6.2 Rozdělení

Sluneční elektrárny lze rozdělit na termální, koncentrační a fotovoltaické. [35] Pro výrobu elektrické energie se používají koncentrační a fotovoltaické, termální slouží pouze k ohřevu vody a vytápění, a tudíž se jimi dále nebudeme zabývat.

6.2.1 Fotovoltaické elektrárny

Tento typ elektráren nejčastěji využívá tři základních typů panelů, které si představíme níže.

- **Monokrystalické** – Tyto panely jsou vyrobené z jednolitého krystalu velmi čistého křemíku, díky čemuž mají nejvyšší efektivitu přeměny solární energie na elektrickou mezi fotovoltaickými články. Nevýhodou je jejich vysoká cena daná náročnou a zdlouhavou výrobou. [36] [37]
- **Polykrystalické** – Vyrábí se odlitím křemíku do formy, kde pomalu tuhne a následně je rozřezán do požadovaných velikostí. Struktura odlitých ingotů je zrnitá, a právě kvůli hranicím zrn mají tyto panely nižší efektivitu než monokrystalické. I přes tuto nevýhodu patří mezi často používané, a to především díky nízké ceně. Jejich vizuální porovnání s monokrystalickými panely je k vidění na obrázku č. 4. [36] [37]
- **Amorfni** – Jedná se o typ panelu v podobě tenkých fólií, kdy se kladou tenké vrstvy amorfního křemíku prokládané skleněným substrátem. Výhodou tohoto typu je nenáročná výroba a nízká cena, naopak nevýhodami jsou malá efektivita přeměny a potřeba většího povrchu pro stejný výkon než u krystalických panelů. [36] [37]



Obrázek 4: Obrázek porovnávající polykrystalický křemíkový článek (nalevo) a monokrystalický křemíkový článek. (napravo) [37]

Další možnost rozdělení je podle připojení k elektrické síti:

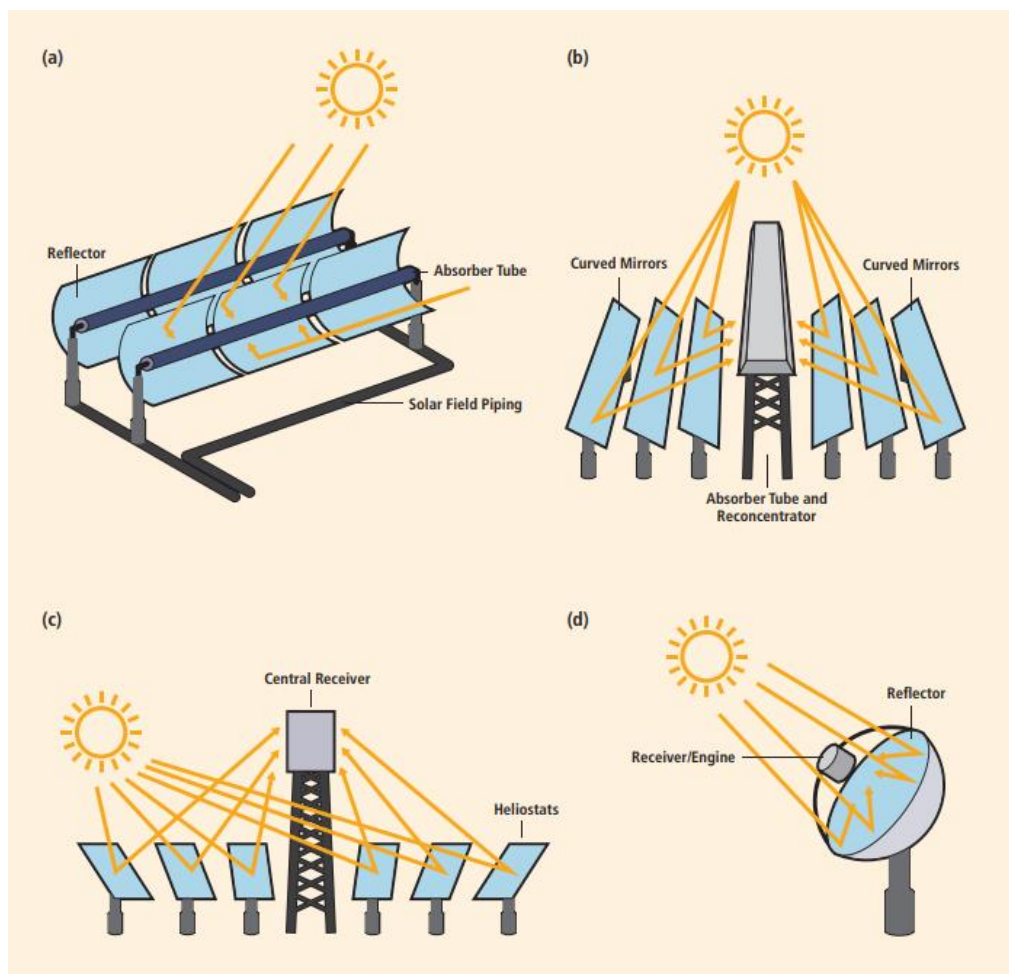
- **Síťové systémy** – Tyto systémy jsou připojeny k síti a mohou do ní dodávat energii v případě přebytku. Často je najdeme nainstalovány na střechách rodinných domů, kde jsou schopny pokrýt většinu spotřeby domácnosti. Na výstupu ze solárních modulů je nutné instalovat měnič napětí ze stejnosměrného na střídavé. Je potřeba, aby měniče pracovaly s co nejvyšší efektivitou – v dnešní době dosahují účinnosti až 95 %. [16]
- **Ostrovní systémy** – Jedná se o autonomní systémy, které nejsou připojené k síti a fungují samostatně. Nejčastěji se s nimi setkáme v malé elektronice jako jsou hodinky nebo kalkulátory, výjimkou ale nejsou ani například parkovací automaty. Jsou také vhodnou alternativou zdroje energie v odlehlých oblastech bez přístupu k elektrické síti. Tyto zařízení se používají v kombinaci s bateriemi, které zajišťují provoz v době, kdy na panel nedopadá sluneční záření. Jde o systémy s nízkými náklady a dobrou spolehlivostí, hodí se zejména pro aplikace s malým výkonem. [16]

6.2.2 Koncentrační elektrárny

Koncentrační elektrárny jsou další možností využití slunečního svitu a přímou konkurencí fotovoltaických článků. Podle IPCC [6] existují čtyři základní typy:

- Parabolické žlabové systémy (A)
- S parabolickým diskovým koncentrátorem (B)
- Věžové elektrárny (C)
- Fresnelovy lineární systémy (D)

S těmito čtyřmi typy se můžeme blíže seznámit na obrázku č. 5 na další straně.



Obrázek 5: Schématický diagram ukazující triviální principy základních čtyř typů koncentračních elektráren: a) Parabolické žlabové systémy, b) Fresnelovy lineární systémy c) Věžové elektrárny, d) S parabolickým diskovým koncentrátorem [6]

6.2.3 Jiné

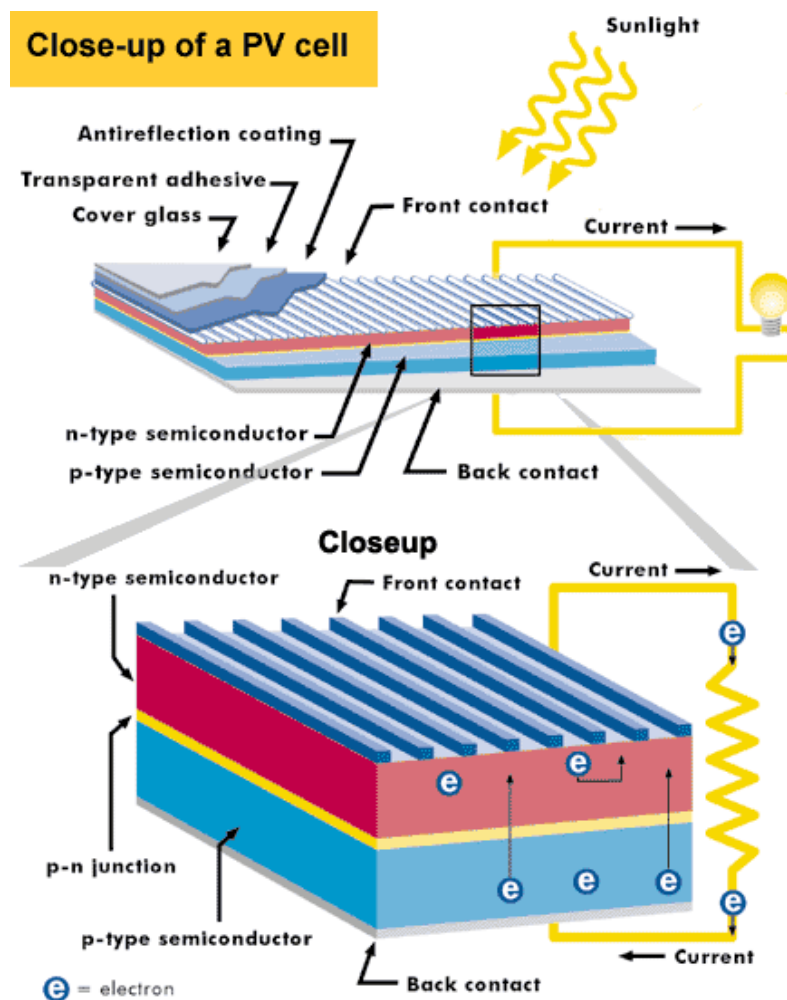
Zcela odlišným typem jsou pak komínové solární elektrárny. Zde je ohříván vzduch pod skleněnou nebo plastovou střechou kuželového tvaru, podél které stoupá do komínu uprostřed zařízení, kde roztáčí větrné turbíny napojené na generátor. [16]

6.3 Princip funkce

6.3.1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny fungují na principu fotovoltaického jevu, spočívajícím v uvolnění elektronů z krystalové mřížky v důsledku dopadu proudu fotonů. Pro uvolnění elektronu z mřížky je potřeba minimální energie fotonu 1,12 eV. Každý článek tudíž sestává z polovodičové diody složené ze dvou vrstev příměsových polovodičů – anody (P) a katody (N), jak je znázorněno na obrázku č. 6. [35] [38]

Díky vlastnosti PN přechodu propouštějí elektrony jen v propustném směru se ve vrstvě N hromadí nadbytek elektronů, což způsobuje rozdíl potenciálu mezi oběma vrstvami diody. Tento rozdíl potenciálu známe jako napětí a z jednoho fotovoltaického článku můžeme získat hodnotu 0,5 až 0,6 V. Pro zvýšení napětí na požadovanou hodnotu lze zapojit články do série, paralelní zapojení pak zvýší proud. V běžném provozu se používá kombinace obou zapojení. [35] [38]



Obrázek 6: Diagram toku elektronů ve fotovoltaickém panelu. [38]

6.3.2 Koncentrační elektrárny

V každé koncentrační elektrárně můžeme nalézt dvě základní části – první slouží ke koncentraci slunečního záření a jeho následné přeměně na teplo, druhá pak konvertuje získané teplo na kinetickou energii. [39]

Sluneční paprsky jsou odraženy a koncentrovány pomocí soustavy vhodně natočených zrcadel do přijímače. V důsledku toho vzniká v přijímači velké množství tepla, které je dále využito v závislosti na jednotlivých typech elektráren. Jednou z možností

využívanou například v parabolických žlabových systémech je ohřev tepelného oleje, který pomocí výměníku přeměňuje vodu na páru. Ta následně roztáčí parní turbínu připojenou na generátor elektrické energie. Na velmi podobném principu fungují i věžové a Fresnelovy elektrárny. Další možností je výroba elektrické energie pomocí tepelného motoru (elektrárny s parabolickým diskovým koncentrátorem – Stirlingův motor), kde koncentrované teplo přímo pohání motor. Tento typ motoru umožňuje spalovat bioplyn či fosilní paliva, díky čemuž lze dodávat elektrickou energii do sítě i při nedostatku slunečního záření. [16] [39]

Pro zvýšení efektivity jsou zrcadlové systémy natáčeny směrem ke Slunci podle denní doby. [39]

6.4 Ekonomická situace

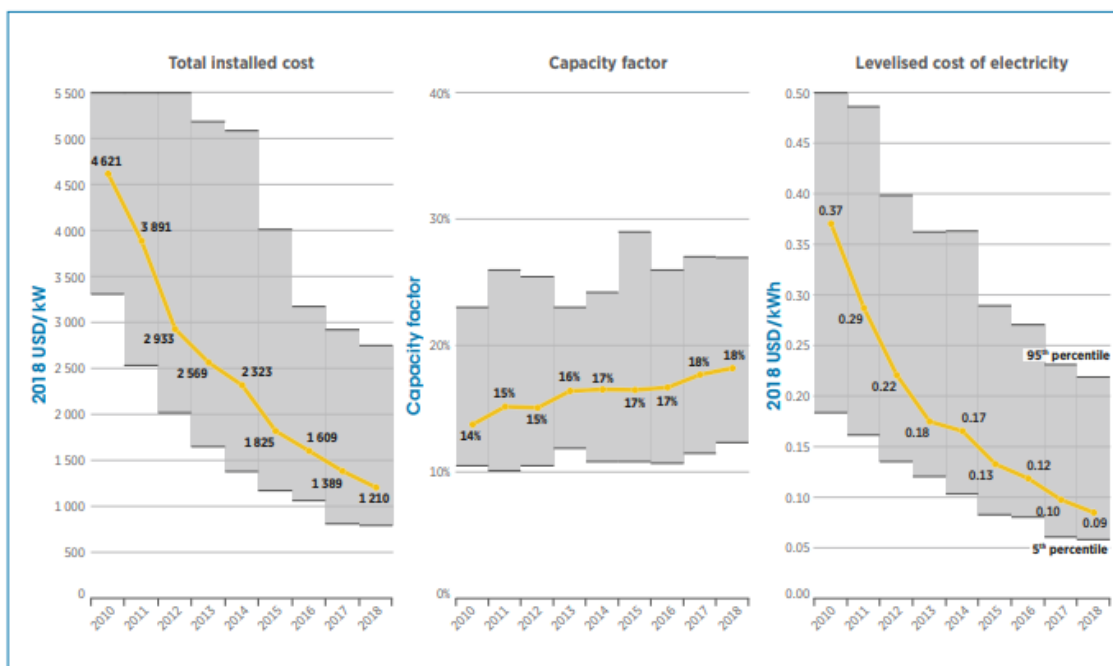
Zatímco ještě před pár desítkami let byla výroba elektrické energie ze Slunce dostupná jen v omezeném měřítku pro specifické aplikace, dnes zažívá velký nárůst a stává se plnohodnotným konkurentem ostatních obnovitelných zdrojů.

Obzvláště v posledních letech s odhalováním stinných stránek fosilních paliv investovalo mnoho zemí světa, včetně těch největších – USA, Čína, Indie a několika evropských zemí, finance do masivní výstavby nových solárních elektráren. V důsledku vysoké konkurence v tomto odvětví rapidně klesají náklady na výstavbu. [40]

6.4.1 Fotovoltaické elektrárny

Pokles cen v roce 2018 je podporován zlevněním krystalického křemíku používaného do samotných fotovoltaických modulů. Oproti roku 2017 došlo ke snížení cen až o třetinu, čímž se průměrná cena panelu na jednu kW instalovaného výkonu dostala na hodnotu okolo 300 USD. Spolu s vysokou konkurencí je tento pokles jednou z hlavních příčin snižování cen elektřiny získané ze solární energie. V roce 2018 bylo nainstalováno 94 GW nového výkonu, což čítá více než polovinu celkového celosvětového příbytku ze všech obnovitelných zdrojů. [12]

6.4.1.1 CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE



Graf 8: Celkové vážené průměrné náklady na instalaci, kapacitní faktor a LCOE pro fotovoltaické elektrárny, 2010-2018 [12]

Graf výše nám ukazuje vývoj kapitálových nákladů, kapacitního faktoru a LCOE mezi lety 2010–2018. Jak můžeme vidět, investiční náklady v posledních letech velmi strmě klesají, v roce 2018 činily průměrně 1210 USD/kW. I přes postupné sjednocování cen je rozmezí kapitálových nákladů poměrně velké. Nejnižších hodnot dosahují Indie, Čína a Itálie (v pořadí 793 USD/kW, 879 USD/kW a 870 USD/kW). Naopak nejdraž vychází stavba nových elektráren v Japonsku, kde činí 2101 USD/kW. Vyššího průměru dosahují také hodnoty pro USA a Austrálii – okolo 1500 USD/kW. [12]

Kapacitní faktor dosahuje poměrně nízkých hodnot, konkrétně okolo 18 % v minulých letech. Můžeme si všimnout mírného, ale konstantního nárůstu v posledních 8 letech, během kterých kapacitní faktor narostl přibližně o 30 %. Příčinou tohoto nárůstu je vývoj použitých technologií, vyšší užití solárních panelů v oblastech s vysokou intenzitou slunečního záření a také vyšší efektivita použitých střídačů pro převod stejnosměrného napětí na střídavé. [22]

Spolu s poklesem nákladů na výstavbu strmě klesla i cena vyrobené elektrické energie. Od roku 2010 se jedná o průměrný pokles okolo 77 % z původních 0,37 USD/kWh na dnešních 0,085 USD/kWh. V následujících letech se předpokládá pokračování trendu klesání cen, kdy v roce 2020 očekáváme LCOE na hodnotě 0,048 USD/kWh. V roce 2018

dosahovalo LCOE nejnižších hodnot v Indii (0,063 USD/kWh) a naopak zdaleka nejvyšších v Japonsku (0,153 USD/kWh). [12]

6.4.1.2 Provozní náklady (OPEX)

Obecně se dá říci, že provozní náklady dosahují okolo 1-1,5 % celkových pořizovacích nákladů ročně, což odpovídá fixním nákladům v rozmezí 15 USD/kW/rok až 20 USD/kW/rok. Největší částky je potřeba odkládat na výměnu střídačů, jejichž životnost se pohybuje pouze okolo 10 let, ve srovnání s 25letou životností samotných panelů. Cena samotného střídače běžně představuje 10-20 % celkové pořizovací ceny celé fotovoltaické elektrárny a jedná se tak o nezanedbatelnou součást provozních nákladů. [41] [42] [43]

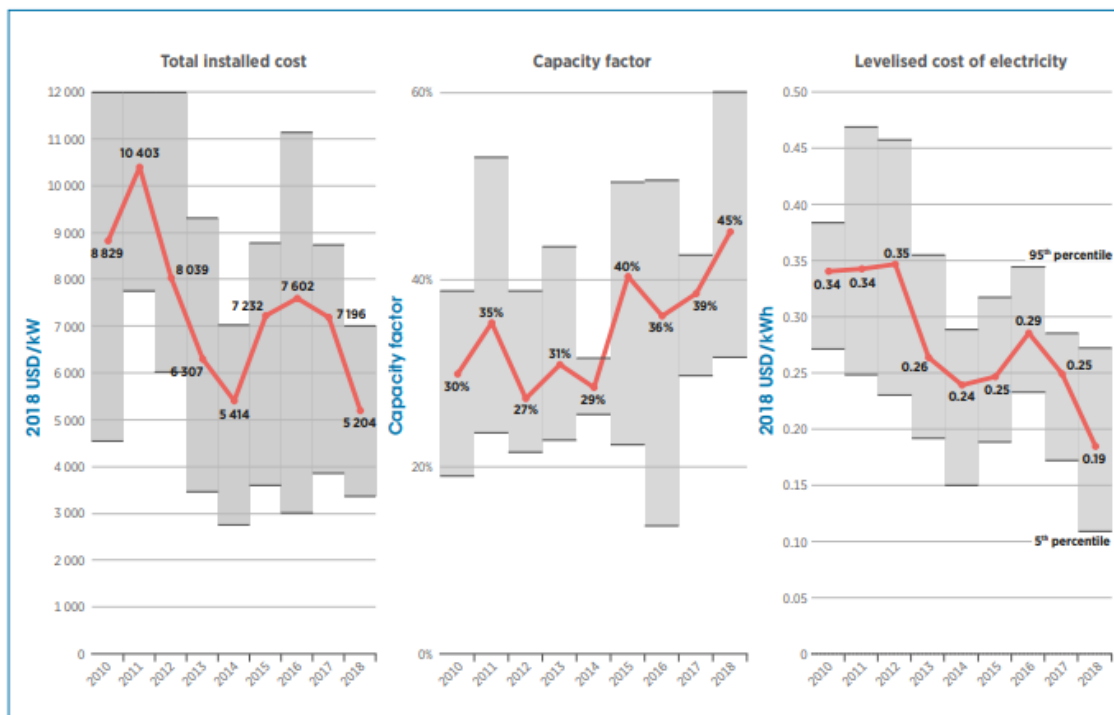
Ostatní náklady můžeme rozdělit následovně:

- **Preventivní** – čištění panelů, odvod vody, údržba vegetace v bezprostředním okolí, oplocení, kontrola stavu střídačů, čidel a jiných elektrických zařízení, odstranění sněhu atp.
- **Opravy** – opravy kritických a drobných závad, pravidelné kontroly
- **Pokročilé** – plánovaná i neplánovaná výměna rozbitých součástí, vymáhání záruk, aktivní monitoring areálu (na místě i pomocí kamerových systémů) [42]

6.4.2 Koncentrační elektrárny

Koncentrační elektrárny jsou s celkovým instalovaným výkonem 5,5 GW nejméně zastoupeným obnovitelným zdrojem v této práci. Pro srovnání, tohoto výkonu dosáhly fotovoltaické elektrárny již v roce 2005. Za poslední rok pak přibylo pouhých 0,5 GW nového výkonu, a to výhradně v Číně, Maroku a Jihoafrické republice. [12]

6.4.2.1 CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE



Graf 9: Celkové vážené průměrné náklady na instalaci, kapacitní faktor a LCOE pro koncentrační elektrárny, 2010-2018 [12]

Během posledního roku spadly investiční náklady až o 28 % z původních 7200 USD/ kW na dnešních 5200 USD/kW. Všimněme si výrazného kolísání cen v průběhu let, což je dáno malým počtem projektů a jejich rozdílnými cenami. Během roku 2019 se očekává další pokračování poklesu nákladů díky Číně a jejím projektům s velmi výhodnou celkovou cenou. [12]

Průměrná hodnota kapacitního faktoru byla po dlouhou dobu snižována Španělskem, které instalovalo elektrárny bez úložišť tepelné energie. V posledních letech trend směřuje k elektrárnám s možností uchování tepelné energie a jak můžeme vidět z grafu výše, kapacitní faktor v důsledku toho opět roste. [12] [22]

LCOE se drží i přes pozvolný růst trhu s koncentračními elektrárnami na poměrně dost vysokých hodnotách, konkrétně 0,185 USD/kWh v roce 2018. Tato hodnota se postupně

snižuje a v následujících čtyřech letech je očekáván pokles až na ceny v rozsahu 0,06 USD/kWh – 0,1 USD/kWh v důsledku rostoucí konkurence v rámci trhu. [12]

6.4.2.2 Provozní náklady (OPEX)

Variabilní náklady na provoz a údržbu tohoto typu elektráren jsou poměrně nízké, a to 0,04 USD/kWh, moderní projekty se díky vyspělejšími technologiemi dostávají i na nižší hodnoty okolo 0,02 USD/kWh. Fixní provozní náklady dosahují průměrných hodnot 60 USD/kW/rok. [22] [43]

Velkou část provozních nákladů zahrnuje pojištění, vyžadující částku odpovídající 0,5 – 1 % kapitálových nákladů každý rok. [22] Běžná údržba pak zahrnuje čištění zrcadel, čoček, celého areálu, dále pak údržba potrubí, tepelných zásobníků, chladících systémů a přijímačů.

6.5 Environmentální situace

V dnešní době ze všech stran slyšíme o energii Slunce jako čistém a bezemisním zdroji energie, přičemž veškeré dopady na životní prostředí jsou často bagatelizovány. Oba typy elektráren mají svá úskalí, kde některá jsou shodná pro oba typy a jiná charakteristická pro každý zvlášť.

6.5.1 Live Cycle Assessment

Produkce emisí je pro fotovoltaické a koncentrační elektrárny rozdílná. Fotovoltaické elektrárny dosahují hodnot 30–80 g CO₂eq/kWh s mediánem přibližně 45 g CO₂eq/kWh. Koncentrační elektrárny vychází v tomto srovnání lépe s mediánem 22 g CO₂eq/kWh a krajními hodnotami 14–32 g CO₂eq/kWh. [6]

Návratnost energie v případě fotovoltaických elektráren se pohybuje v rozmezí 2–5 let v závislosti na základním materiálu panelu, lokaci a intenzitě dopadajícího slunečního záření. Samotné Energy Payback Ratio při životnosti okolo 20 let dosahuje hodnoty okolo pěti. [6][23]

V případě koncentračních elektráren může návratnost energie trvat pouze půl roku, přičemž plánovaná životnost je odhadována na 25–30 let. Energy Payback Ratio se může vyšplhat až na hodnotu 50-60. Tento odhad ovšem velmi závisí na množství slunečního záření v dané oblasti. [6]

6.5.2 Dopady na životní prostředí

Používání vody: Tento problém se týká převážně koncentračních elektráren, protože fotovoltaické elektrárny spotřebovávají vodu pouze při své výrobě. Koncentrační elektrárny potřebují až 2460 litrů vody na 1 MWh vyrobené energie pro chlazení páry v oběhu. Většina použité vody je vrácena zpět do zdroje, ale její zvýšená teplota narušuje okolní ekosystémy. Tato hodnota se dá snížit až o 90 % použitím suchého chlazení, kdy je k ochlazení páry využíván vzduch místo vody. Toto řešení je však mnohem dražší a méně efektivní. [44] [45]

Zabírání plochy: Solární elektrárny potřebují poměrně velkou plochu pro výrobu elektřiny – u fotovoltaických se jedná o 1,4 – 4 ha na 1 MWh, u koncentračních pak 1,62 – 6,68 ha na 1 MWh. Takto zabraný prostor nelze již nijak dále využívat např. pro zemědělství. Tento problém lze eliminovat stavbou elektráren v místech se špatnou kvalitou půdy, v okolí dopravních koridorů nebo třeba v opuštěných lomech. [44]

Chemické a toxické materiály: Pro zajištění dobré efektivity je nutné panely čistit, což se provádí chemickými přípravky obsahujícími např. kyselinu sírovou, kyselinu dusičnou nebo aceton. Množství a typ chemikálií závisí na technologiích samotných panelů a frekvenci čištění.

Samotné fotovoltaické panely emitují v těsné blízkosti křemíkový prášek, kterému jsou vystaveni pracovníci elektráren. Obzvláště u fóliových fotovoltaických elektráren je důležitá důsledná recyklace článků z důvodu jejich obsahu toxických prvků. [44]

Recyklace: Každý z fotovoltaických panelů obsahuje alespoň jeden vzácný kov – stříbro, indium či tellur. Zatímco křemíku je v dnešní době dostatek, tyto drahé kovy potřebujeme recyklovat, aby nedošlo k nedostatku v blízké budoucnosti. Recyklaci prozatím nikdo nevěnoval příliš velkou pozornost, protože drtivá většina panelů přibyla teprve nedávno, a tudíž se investice do recyklačních zařízení nejevila příliš ekonomicky atraktivní. Z ekologického hlediska ale recyklace nabízí možnost omezení využití fosilních zdrojů na výrobu nových panelů, jelikož je pro ni potřeba velké množství energie, pocházející převážně z uhlí. [46]

6.6 Výhody a nevýhody

Výhody:

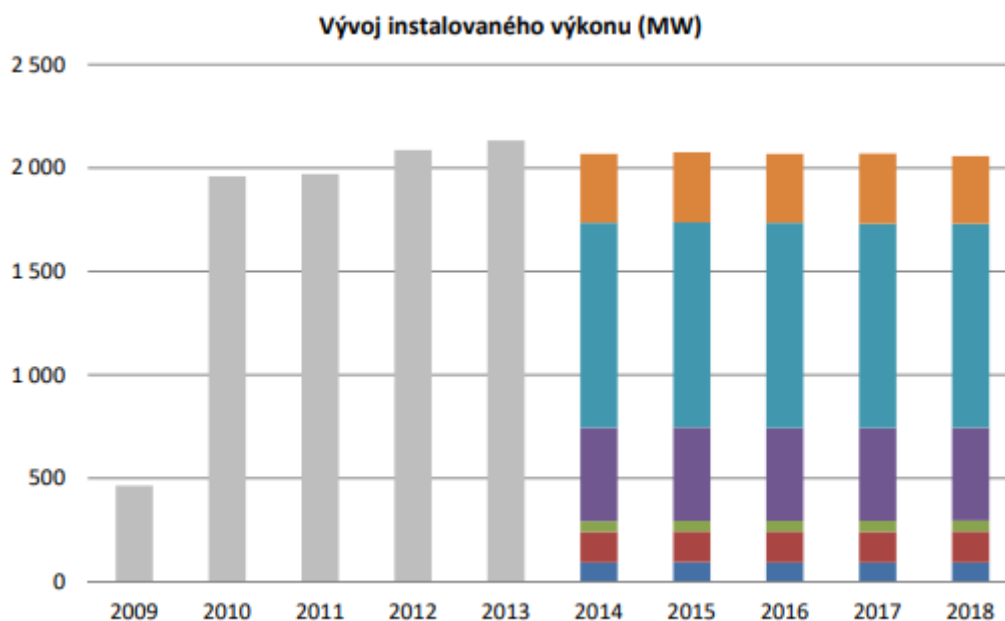
- Obnovitelný zdroj
- Bezemisní a tichý provoz
- Vysoká spolehlivost
- Alternativní zdroj energie pro spotřebitele, kteří se nemohou nebo nechtějí připojit k rozvodné síti
- Instalace na střechách hal a domů či v již nevyužívaných průmyslových oblastech – efektivní využívání místa

Nevýhody:

- Nízká efektivita
- Závislost na intenzitě slunečního záření – nelze používat jako jediný zdroj energie
- Vysoká pořizovací cena
- Poměrně nízká plánovaná životnost (20–25 let)
- Nevýhodný poměr výkonu ku potřebné ploše

6.7 Situace v ČR

V České republice se můžeme převážně setkat s fotovoltaickými elektrárnami, jejichž instalovaný výkon v roce 2018 činil 2056 MW a v průběhu zmíněného roku bylo vyrobeno 2 340 GWh elektrické energie. Nejvíce těchto elektráren bylo u nás postaveno v roce 2010, kdy se instalovaný výkon zvýšil díky dotačnímu programu více než čtyřikrát, od té doby je instalovaný výkon téměř stejný – viz. Graf č. 10. [27]



Graf 10: Vývoj instalovaného výkonu v ČR. jednotlivé barvy představují výkonové kategorie: oranžová - nad 5 MW, s. modrá - od 1 do 5 MW, fialová - 0,1-1 MW, zelená - 30-100 kW, červená - 10-30 kW, t. modrá - do 10 kW. Do roku 2014 existují pouze souhrnné údaje [27]

Potenciál energie Slunce v ČR byl stanoven na 5 800 MW. Tento potenciál by měl být reálně dosažitelný a počítá i s omezením výstavby solárních elektráren na zemědělské půdě v rámci programu dlouhodobé udržitelnosti. Primárním místem pro instalaci panelů jsou uvažovány střechy domů a průmyslových budov, a také brownfieldy (nevyužívaná, opuštěná nebo zničená půda jako pozůstatek po průmyslových a jiných aktivitách). Potenciál ČR je nejvíce limitován její zeměpisnou polohou a klimatickými podmínkami. [18]

7 Geotermální energie

Geotermální energie je termální energie pocházející původně ze zemského jádra. Určitý podíl zastává zbytkové teplo vytvořené při formování planety. Další teplo vzniká z velké části jaderným štěpením radioaktivních prvků, dále také pohybem litosférických desek či chemickými reakcemi v zemské kůře a energií slapových sil. Geotermální energie patří mezi obnovitelné zdroje a využíváme ji jak pro výrobu elektrické energie, tak pro vytápění.

7.1 Historie

Již původní Američané před více než 10 000 lety využívali horké prameny k vaření pokrmů, v období starověku existují zmínky napříč civilizacemi o využívání horkých pramenů k vytápění, koupání, ale i k léčení kožních nemocí. Během středověku si lidé v Evropě oblíbili lázeňská města v Německu a Francii, do kterých jezdili i z velkých dálek. [30]

V průběhu 19. století během osidlování Severní Ameriky Evropany docházelo k budování lázní v oblastech s horkými prameny v Arkansasu, Wyomingu, Montaně a Idaho, které dnes známe jako národní parky v Arkansasu a Yellowstone National Park. [30]

Roku 1904 v italském Toskánsku byla uvedena do provozu první geotermální elektrárna využívající páru uniklou z puklin země. Tato elektrárna zvaná Larderello po svém vzniku zvládla dodat energii pěti žárovkám. O sedm let později došlo k výrazné přestavbě a tím k zvýšení dodávaného výkonu. Až do druhé světové války se jednalo o jedinou elektrárnu svého druhu na světě. [30]

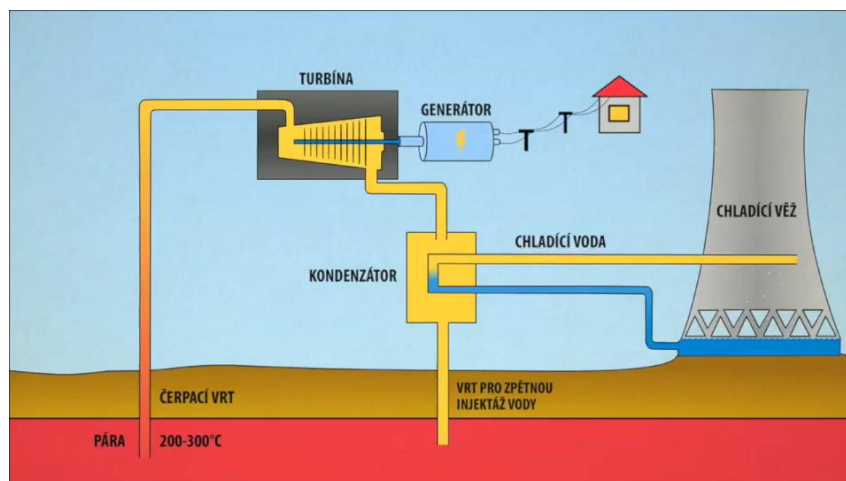
Elektrárna Larderello byla během války zničena a následně znovu postavena. Po skončení války se elektrárna stala inspirací pro inženýry z Nového Zélandu a dalších zemí. V dnešní době Larderello dodává energii milionu italských domácností a je tak největší geotermální elektrárnou na světě s podílem deset procent celkové světové výroby geotermální energie. [30]

7.2 Rozdělení a princip funkce

V dnešní době se můžeme setkat s třemi základními typy geotermálních elektráren:

- **Na suchou páru** – Tento typ využívá páry o teplotě 150 °C a vyšší vyvěrající z vrtu nebo ze země k pohonu parní turbíny vyrábějící elektrickou energii. Pára

se po průchodu turbínou setkává v kondenzátoru s chladícím oběhem a kondenzuje, poté je vracena zpět do země, kde je znovu ohřáta a cyklus se opakuje. Kvůli zabránění eroze turbín či potrubí musí být pára suchá nejméně z 99,995 %. Obvykle se setkáme s výkony 8-140 MW. Na obrázku níže je zobrazena elektrárna s vodním chladícím oběhem. [30] [47]

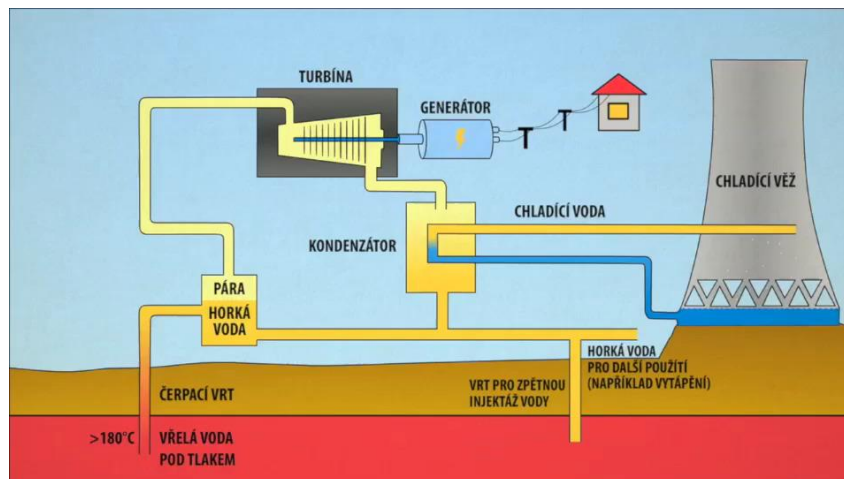


Obrázek 7: Schéma funkce elektrárny na suchou páru [48]

- **Na mokrou páru (Flash)** – Využívá horké vody o teplotě vyšší než 180 °C čerpané ze země pod vysokým tlakem, která je následně vstříkována do separátoru, ve kterém je nižší tlak, což vede k okamžité přeměně části vody na páru. Vzniklá pára prochází turbínou napojenou na generátor a následně pokračuje do kondenzátoru, kde zkondenzuje na vodu a je vracena zpět do cyklu. Voda, která se neodpařila v separátoru je vháněna zpět do země, nebo pro zvýšení výkonu elektrárny může být proces separace až 2x zopakován. Výkony těchto elektráren se pohybují v závislosti na opakování procesu separace – viz. Tabulka. Obrázek č. 8 vyobrazuje Flash elektrárnu s vodním chladícím oběhem. [30] [47]

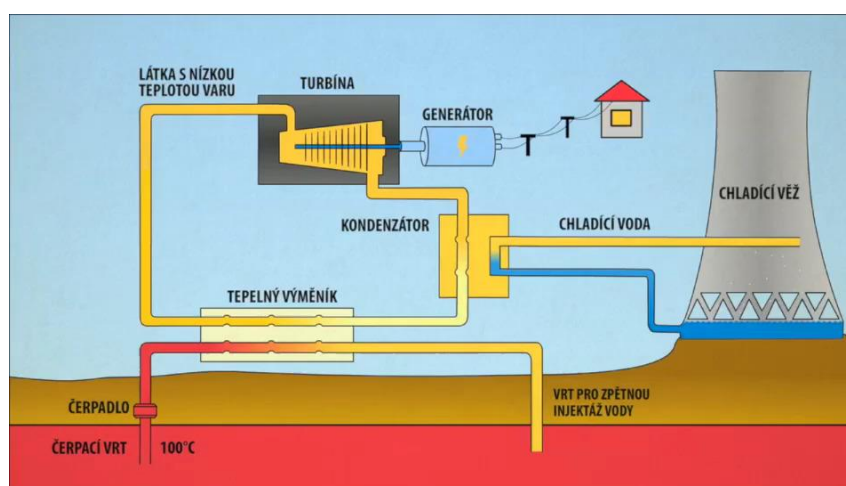
Tabulka 2: Výkon geotermálních elektráren na mokrou páru v závislosti na počtu opakování separace, zpracováno dle [47]

Druh separace	Dosahovaný výkon
Jednoduchá	0,2-80 MW
Dvojitá	2-110 MW
Trojítá	60-150 MW



Obrázek 8: Schéma funkce elektrárny na mokrou páru [48]

- Horkovodní (Binární)** – Tyto elektrárny mohou využívat i vodu o teplotě nižší než 100 °C, ovšem běžně se používá voda o teplotě 100–170 °C pro dosažení přijatelnější účinnosti. Na rozdíl od předchozího typu využívají dvou oběhů rozdílných kapalin a tepelný výměník. Voda o nižší teplotě protéká výměníkem a ohřívá pracovní kapalinu (např. pentan nebo butan), která se odpařuje při nižších teplotách než samotná voda. Takto pod vysokým tlakem vzniká pára, která opět pohání turbínu napojenou na generátor. Pracovní tekutina je následně přes kondenzátor vrácena zpět do výměníku a používána znovu a znovu. Voda čerpaná z vrtu po průchodu výměníkem odchází zpět do země a uzavírá cyklus. Výkony těchto elektráren se pohybují mezi 1-50 MW. Díky možnosti využití vody o nižší teplotě se očekává výrazné rozšíření těchto elektráren v budoucnosti. [30] [47]

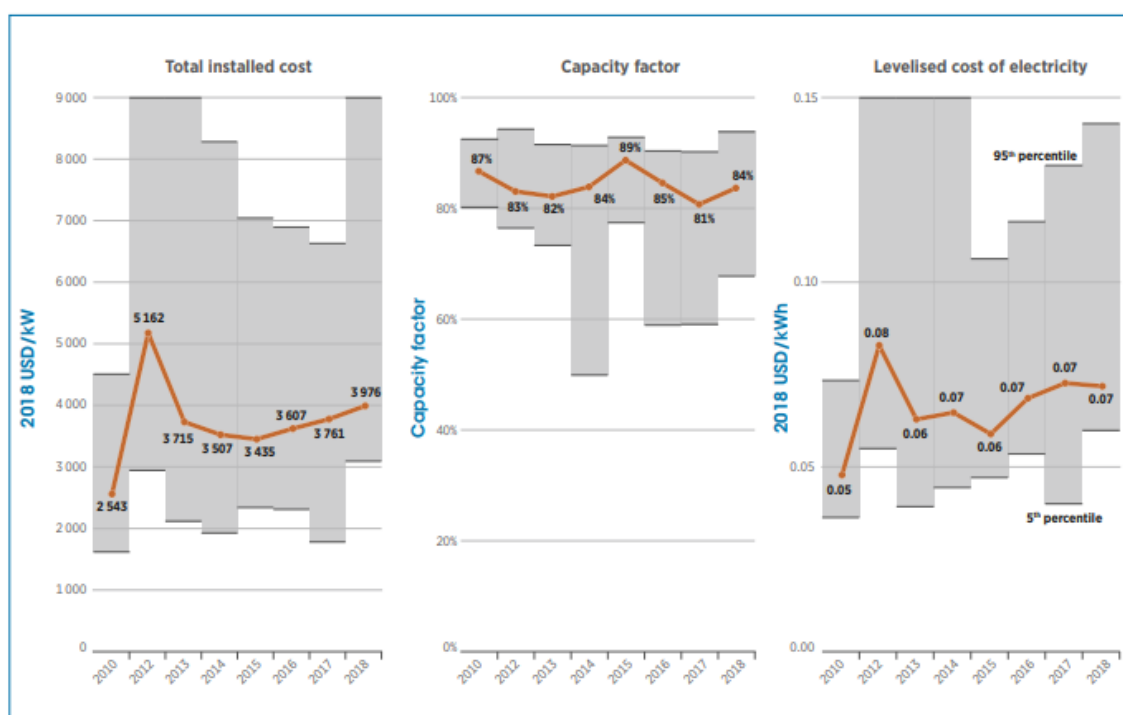


Obrázek 9: Schéma funkce horkovodní (Binární) elektrárny [48]

7.3 Ekonomická Situace

Geotermální elektrárny nachází velmi dobré uplatnění v oblastech s geotermální aktivitou, kde jsou velmi ekonomickým řešením pro výrobu elektrické energie. Na rozdíl od jiných obnovitelných zdrojů nejsou omezeny denní dobou nebo klimatickými podmínkami, a proto dosahují velmi vysokých kapacitních faktorů – mohou vyrábět energii podle potřeby. Náklady na stavbu nových elektráren jsou ale poměrně vysoké, na druhou stranu nabízí relativně nízké provozní náklady. Za zmínku stojí, že na konci roku 2016 celkový instalovaný výkon dosahoval 12,7 GW.

7.3.1 CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE



Obrázek 10: Celkové vážené průměrné náklady na instalaci, kapacitní faktor a LCOE pro geotermální elektrárny, 2010-2018 [12]

Jak si můžeme všimnout na grafu výše, investiční náklady jsou poměrně vysoké a podle růstu v posledních letech se dá předpokládat další zvyšování. V roce 2018 činily průměrné instalační náklady 3976 USD/kW, kde lze obecně říci, že nižších nákladů dosahujeme u elektráren na mokrou páru (flash), zatímco horkovodní (binární) elektrárny vychází draž. Velký podíl na celkové ceně má průzkum dané oblasti a samotný vrt, jehož šance na úspěch se pohybuje mezi 60-90 %. Další náklady představuje stavba infrastruktury, samotné elektrárny, a připojení k síti. Postupný nárůst cen jde ruku v ruce s rostoucími náklady na komodity, vrtací techniku, a také s neustálým zvyšováním cen ropy. [22]

I u tohoto typu elektráren lze dosáhnout nižších nákladů – okolo 560 USD/kW, ale pouze v případě velmi dobře zmapovaných oblastí s již dostupnou a využitelnou infrastrukturou. Takovéto podmínky jsou ale spíše výjimečné. [22]

Kapacitní faktor průměrně dosahuje hodnot 84 % pro rok 2018, je však rozdílný pro jednotlivé typy elektráren – viz. Tabulka č. 3. Zajímavý je také fakt, že účinnost přeměny tepla na elektrickou energii dosahuje pouze 12 % (maximálně 21 %). [22]

Tabulka 3: Kapacitní faktor jednotlivých typů elektráren, zpracováno podle [22]

Typ elektrárny	Kapacitní faktor
Suchá pára	80 % a více
Mokrá pára (Flash)	80 % a více
Horkovodní (Binární)	60-80 %

Vzhledem k tomu, že LCOE je souhrnem mnoha faktorů, mezi které patří i investiční náklady, tak přímo reaguje na rostoucí trend. Proto v posledních letech roste i tato cena za vyrobenou elektrickou energii, v roce 2018 dosahovala 0,07 USD/kWh, což je, jak můžeme vidět v grafu, o 0,01 USD/kWh vyšší než v roce 2015. [22]

7.3.2 Provozní náklady

Mezi významné složky provozních nákladů patří bezesporu nutnost udržování stálého kapacitního faktoru a tím i výkonu pomocí přidávání nových vrtů, protože během používání klesá tlak v podzemních kapsách vody a tím dochází ke snížení využitelnosti vrtu. Tyto sekundární vrty mívají vyšší úspěšnost a nižší náklady. [6] [22]

Průměrné provozní fixní náklady jsou 110 USD/kW/rok, variabilní pak dosahují 0,01 - 0,03 USD/kWh. Tyto hodnoty jsou uváděny pro elektrárny s ekonomickou životností 25 let. [6]

7.4 Environmentální situace

Ačkoli se o geotermální energii mluví jako o obnovitelné, ne vždy je tomu tak. V některých případech mohou zásoby energie dojít v horizontu několika desítek let z důvodu postupného klesání teploty nebo zásob vody ve vrtech. Mezi její nesporné výhody patří nízká produkce emisí a možnost nepřetržitého provozu.

7.4.1 Live Cycle Assessment

Hodnoty emitovaných skleníkových plynů se pohybují v rozmezí od 50 g CO₂eq/kWh pro elektrárny na mokrou páru (flash) až po 80 g CO₂eq/kWh pro horkovodní (binární) elektrárny. Jako celkový průměr pro geotermální elektrárny můžeme brát hodnotu 65 g CO₂eq/kWh. [6]

Průměrná doba návratnosti spotřebované energie (Energy Payback Time) je zde v průměru 5,7 let, přičemž při plánované životnosti okolo 20-25 let dosahuje Energy Payback Ratio hodnoty přibližně 4. [49]

7.4.2 Dopady na životní prostředí

Využívání vody: Voda pocházející z geotermálních vrtů obsahuje vysoké množství minerálů, jako je např. síra či sůl, které mohou kontaminovat povrchovou a podzemní vodu, proto je potřeba zabránit jejím únikům do okolního prostředí. Většina elektráren používá uzavřené oběhy, kde je voda vedená v ocelovém potrubí vracena zpět do vrtů, čímž je riziko kontaminace minimalizováno. [50]

Další kapitolou je spotřeba vody v chladících obězích. Ve chladících věžích se odpaří 6435–15140 litrů vody na MWh vyrobené energie. Jako chladivo lze použít povrchovou vodu, nebo právě vodu přímo z vrtů, což méně zatěžuje životní prostředí. Vodu odpařenou v chladícím systému je nutné doplňovat. [50]

Znečištění ovzduší: Tento bod se týká primárně elektráren s otevřeným cyklem, tedy těch, které nevrací vyčerpanou vodu zpět do vrtu, a do ovzduší se tak dostává oxid siřičitý, oxid uhličitý, metan, amoniak a další látky. První zmíněný SO₂ je nejvíce nebezpečnou emitovanou látkou, jenž může způsobovat kyselé deště a srdeční a dýchací problémy. I přes to je jeho množství až 30x nižší než v případě uhelných elektráren. [50]

Tyto elektrárny také produkují malé množství rtuti, vanadu, síry, arsenu, niklu a sloučenin křemíku, které je nutné filtrovat. Odpadem těchto filtrů je vodnatý kal, s nímž je třeba zacházet jako s nebezpečným odpadem. [50]

Využití půdy: Většina geotermálních elektráren se nachází v odlehlých oblastech, kde velké množství z nich připadá na ekologicky citlivá místa – například chráněné krajinné oblasti nebo národní parky. Při plánování projektu je potřeba toto brát v potaz. [50]

Určitým potencionálním nebezpečím jsou poklesy půdy způsobené vyčerpáním reservoárů a následným vznikem podzemních dutin. Tomuto lze předcházet užitím uzavřených

cyklů s opětovným vstřikováním vody zpět do vrtu. Geotermální elektrárny jsou často postaveny na místech s tektonickou aktivitou – je dokázáno, že stavba těchto projektů zvyšuje riziko zemětřesení. [50]

7.5 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Obnovitelný zdroj, palivo zdarma
- Nezávislost na počasí a denní době – na rozdíl od jiných obnovitelných zdrojů jsou schopné dodávat energii nepřetržitě
- Nízké provozní náklady
- Šetrné k životnímu prostředí – nízká produkce emisí a tichý provoz

Nevýhody:

- Velmi vysoké instalační náklady
- Zvyšuje riziko zemětřesení a propadů půdy
- Vyžadují poměrně dost místa a lze je stavět pouze ve specifických oblastech
- Riziko uvolnění nebezpečných plynů ze zemské kůry

7.6 Situace v ČR

Podle Státní energetické koncepce České republiky z roku 2015 by mělo být na našem území v roce 2020 vyrobeno až 18,4 GWh elektrické energie prostřednictvím geotermálních elektráren. Tento scénář nebude s největší pravděpodobností naplněn, protože se zatím nepovedlo uvést do provozu žádnou elektrárnu a momentálně se ani žádná nestaví. [18]

V současné době probíhá sanace a průzkum hlubinného vrtu o hloubce okolo 2 100 m v Litoměřicích. Tento vrt byl vyhlouben v roce 2007, aby potvrdil vhodnost lokality pro budoucí stavbu geotermální teplárny s doplňkovou výrobou elektrické energie. Tento projekt je v rámci ČR momentálně jediný. [51]

Celkový potenciál geotermální energie v ČR není znám a v budoucnu bude hrát roli také vyspělost technologií v tomto odvětví. Od mnoha možných projektů odrazuje podnikatele příliš malá rentabilita.

8 Elektrárny na fosilní paliva

Elektrárny spalující fosilní paliva jsou v dnešní době nejvíce rozšířeným zdrojem elektrické energie. Tyto elektrárny nám umožňují vyrábět velké množství energie téměř nepřetržitě, ovšem za cenu znečištění životního prostředí. Jednou z jejich největších slabín jsou omezené zásoby fosilních paliv, které dříve nebo později dojdou, jedná se tudíž o neobnovitelný zdroj.

8.1 Historie

Na počátku výroby elektrické energie z fosilních paliv stojí průmyslová revoluce, během které Thomas Newcomen sestavil parní stroj, jenž byl vylepšen Jamesem Watem a následně použit Thomasem Edisonem k pohonu dynamu. Jeho první elektrárna postavená roku 1882 v Londýně dodávala energii místní poště, kostelu a hostinci, svým výkonem zvládla rozsvítit až 1000 žárovek. Ještě téhož roku uvedl do provozu elektrárnu v New Yorku, tentokrát ale spolu pracovalo šest dynamoelektrických strojů, každý stejně jako v Londýně poskytoval stejnosměrné napětí 110 V. Dohromady zvládly zásobit elektřinou 6000 žárovek. Obě tyto elektrárny spalovaly uhlí.

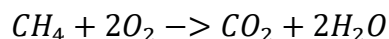
V následujících desetiletích došlo k postupné elektrifikaci vyspělé části světa, pro kterou se stala fosilní paliva nezbytnou součástí. [52] [53]

8.2 Rozdělení

Tyto elektrárny můžeme pro naše účely rozdělit podle typu použitého paliva následovně:

- **Uhelné elektrárny** – Pro energetické účely používáme dva základní druhy uhlí – kvalitnější černé a méně kvalitní hnědé uhlí. Uhlí vznikalo desítky až stovky milionů let ze zbytků živočichů a rostlin stlačených pod povrchem země bez přístupu vzduchu. Hnědé uhlí se nachází v menších hloubkách, je tedy lépe dostupné a tudíž levnější. Tvorba černého uhlí trvala mnohem delší dobu ve větších hloubkách, díky čemuž má vyšší výhřevnost a spalování probíhá čistěji. [54]
- **Elektrárny spalující ropu** – Ropu získáváme z podzemních zásob nacházejících se ve svrchních vrstvách zemské kůry pod vrstvou nepropustných hornin. Vrty mohou dosahovat hloubky až 8 kilometrů. Ropa je tvořena z převážné většiny uhlovodíkovými řetězci, dále obsahuje malé množství kyslíku, síry a dusíku. Před jejím použitím v průmyslu je nutné ropu rafinovat. [55]

- **Elektrárny spalující zemní plyn** – Zemní plyn získáváme jako vedlejší produkt při těžbě ropy a uhlí. Jeho hlavní složkou je metan, obsahuje také malé množství vyšších uhlovodíků a inertních plynů. Mezi jeho vlastnosti patří nízká hustota a vysoká hořlavost, dále je bezbarvý a bez zápachu. Proces spalování zemního plynu probíhá podle následující rovnice:



Energie uložená ve vazbách výchozích reaktantů se uvolňuje ve formě tepla. [56]

V následující tabulce jsou pro srovnání uvedeny výhřevnosti výše uvedených typů paliv. Výhřevnost nám udává, kolik energie se uvolní při spálení jednoho kilogramu paliva. [57]

Tabulka 4: Orientační hodnoty výhřevnosti jednotlivých typů paliv, převzato a upraveno z [57]

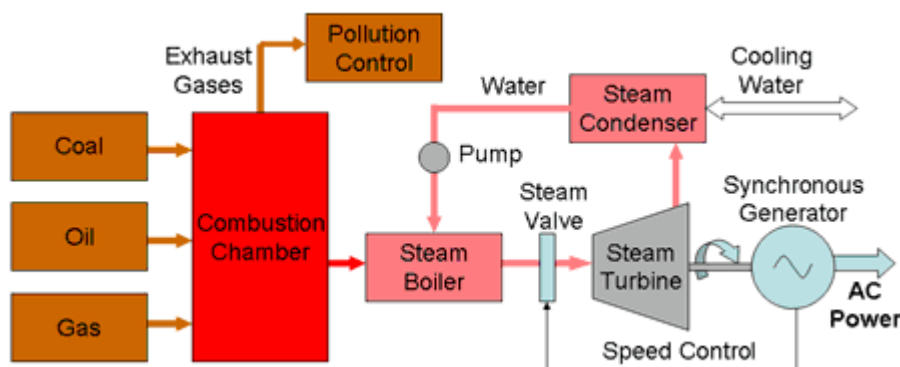
Palivo	Výhřevnost
Černé uhlí	19–24 MJ/kg
Hnědí uhlí	10-13 MJ/kg
Zemní plyn	34 MJ/kg
Ropa	43,6 MJ/kg

8.3 Princip funkce

Elektrárny spalující fosilní paliva fungují na podobném principu jako ostatní tepelné elektrárny (geotermální, solární koncentrační...). Palivo je přivedeno do spalovací komory, v níž je spáleno, a uvolněné teplo ohřívá vodu v kotli. Vzniklá pára je regulačním ventilem puštěna přes turbínu spojenou s generátorem elektrického proudu. Pára po průchodu turbínou odchází do kondenzátoru, kde předá teplo kapalině z chladicího oběhu a zkonzenzovaná na vodu se vrací zpět do již zmíněného kotle. [58]

O něco složitější je kombinovaný (paroplynový) cyklus využívaný zejména při spalování zemního plynu a ropných derivátů. Zde je zahřátá směs paliva a vzduchu vháněna do spalovací komory, kde hoří a spaliny o vysoké teplotě 800-1400 °C roztáčejí plynovou turbínu napojenou na generátor elektrického proudu. Po průchodu plynovou turbínou mají spaliny stále dost vysokou teplotu 400-700 °C pro parní cyklus popsany v odstavci výše. Touto kombinací je dosahováno lepší účinnosti a využití energie než v případě samostatného parního cyklu. Tímto způsobem lze spalovat i plyny získané zplyňováním uhlí nebo biomasy. [59]

Jsou tu určité rozdíly při přípravě jednotlivých paliv. Pokud je palivem uhlí, je nutné ho nejdříve vysušit a případně nadrtit na uhelný prach pro lepší efektivitu, zde záleží na typu kotle. Zemní plyn je zase potřeba odsiřovat a v případě ropy je nutná její rafinace na jednotlivé deriváty. Na obrázku níže je znázorněno schéma tepelné elektrárny používající parní cyklus. [58]



Obrázek 11: Generování elektřiny parní turbínou poháněnou fosilním palivem [60]

8.4 Ekonomická situace

Ekonomická situace je v případě elektráren spalujících fosilní paliva složitější z důvodu širší škály používaných technologií samotných projektů a většího množství paliv. V případě spalování ropy a jejích derivátů chybí dostatek relevantních dat, a proto budou v následujících částech vynechány.

8.4.1 CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE

Tabulka 5: Investiční náklady, kapacitní faktor a LCOE pro elektrárny spalující fosilní paliva, vlastní tvorba podle [43] [61]

Typ elektrárny	Investiční náklady [USD/kW]	Kapacitní faktor [%]	LCOE [USD/kWh]
Uhelné elektrárny	4200	60	0,1
Elektrárny spalující zemní plyn	1500	70	0,08

V tabulce č. 5 jsou uvedeny průměrné hodnoty investičních nákladů, kapacitního faktoru a LCOE. Tyto hodnoty byly zprůměrovány z různých technologických řešení daných typů elektráren.

V případě uhelných elektráren se investiční náklady pohybují od hodnot 4000 USD/kW pro elektrárny pracující v kombinovaném režimu (paroplynové) až po 6000 USD/kW

pro elektrárny vybavené filtračním systémem na zachytávání CO₂. U elektráren spalujících zemní plyn je situace podobná. Nejlevněji vychází elektrárny s jednoduchým spalovacím okruhem (800 USD/kW), nejdražší pak opět elektrárny se systémem filtrujícím CO₂ (2100 USD/kW). Lze ovšem narazit i na zdroje uvádějící výrazně nižší hodnoty, zejména pro uhelné elektrárny, a to například 1000 USD/kW u jednoduchých systémů (parní cyklus) nebo 1500 USD/kW pro cyklus kombinovaný. [43] [62]

Hodnoty kapacitního faktoru u obou typů elektráren jsou závislé na typu systému a frekvenci jeho údržby. Za zmínku stojí schopnost elektráren spalujících zemní plyn dosahovat v ideálních případech kapacitních faktorů blízkých se 100 %. [43]

LCOE je přímo závislá na použité technologii, u obou typů elektráren lze dosahovat velmi různorodých hodnot LCOE v důsledku jejich odlišností. Můžeme se tak setkat s hodnotou 0,05-0,15 USD/kWh, a to jak u uhelných, tak u plynových elektráren. [43]

8.4.2 Provozní náklady

Fixní provozní náklady u těchto typů elektráren zahrnují pojištění, daně, pronájmy pozemků, náklady na výměnu komponent a plánované i neplánované údržby po dobu technické životnosti elektrárny. Tyto náklady mají širší rozmezí podle typu použité technologie a jsou následovné:

Tabulka 6: provozní fixní náklady pro elektrárny spalující uhlí a zemní plyn, vlastní zpracování podle [43]

Typ elektrárny	Fixní náklady [USD/kW/rok]
Uhelné	30-80
Na zemní plyn	10-33

Variabilní náklady se odvíjí i od ceny samotného paliva, které obvykle stojí až za 80 % celkových provozních nákladů. Proto variabilní náklady dosahují výrazně vyšších hodnot než v případě obnovitelných zdrojů elektrické energie. Dále je nutné uvažovat náklady spojené s likvidací odpadu z činnosti elektráren, jako je uhelný popel a znečištěná voda po těžbě ropy a plynu. [63]

8.5 Environmentální situace

Je obecně známo, že elektrárny spalující fosilní paliva nejsou příliš šetrné k životnímu prostředí. První zásahy do krajiny přináší už těžba výchozích surovin, zejména uhlí, která na desítky let zdevastuje okolní krajinu. Problémem jsou také emise vznikající

při spalování těchto surovin spojené s relativně nízkou účinností přeměny tepelné energie na elektrickou. Jisté zlepšení poskytují elektrárny pracující v kombinovaných cyklech vedoucích k lepší účinnosti a moderní filtrační systémy zachytávající až 90 % CO₂.

8.5.1 Live Cycle Assessment

Hodnoty GHG emisí jsou podle očekávání velmi vysoké a jejich shrnutí je k nalezení v následující tabulce. Veškeré hodnoty jsou uvedeny v g CO₂eq/kWh.

Tabulka 7: GHG emise pro jednotlivé typy elektráren spalující fosilní paliva, vlastní zpracování podle [64]

	Uhlí	Ropa	Zemní plyn
Jednoduchý spalovací systémy	675-1689	510-1170	290-930
Moderní systémy	710-950	-	410-650
Systémy s filtrací CO ₂	98-396	-	120-170

Energy Payback Ratio dosahuje u těchto zdrojů hodnot od 1,5 do 7 u uhlí a 1,5 až 5 u zemního plynu a ropy. Lepších hodnot návratnosti energie je dosahováno u kombinovaných paroplynových cyklů, zatímco na druhém konci leží jednoduchý spalovací cyklus. Uhelné elektrárny vybavené filtrací CO₂ dosahují horší návratnosti, protože tyto systémy snižují celkovou účinnost elektrárny až o 25 % a zároveň je jejich provoz energeticky náročný. Velmi velkou roli hrají vzdálenosti elektráren od zdrojů surovin, kdy se vzdáleností nad 500 km Energy Payback Ratio prudce klesá. V budoucnu se dá očekávat kontinuální pokles z důvodu docházejících hlavních ložisek paliv a s tím spojeným zvyšováním náročnosti těžby. Tento fenomén je dobře viditelný u ropy, jejíž těžba z dehtových písků je energeticky velmi nevýhodná – Ratio 0,7 oproti 2,9 při konvenční těžbě. [23]

8.5.2 Dopady na životní prostředí

Těžba a její vliv na okolí: Při těžbě uhlí můžeme narazit na povrchové a podpovrchové doly, přičemž oba dva typy nesou svá rizika. Po povrchové těžbě zůstávají v krajině odhalené uhelné pánve a údolí zavezená odpadní horninou a zeminou. V těchto údolích bývá obtížné obnovit původní ekosystémy. Podpovrchová těžba nese riziko znečištění podzemní vody (těžké kovy, kyseliny), propadů půdy, ale také ohrožení zdraví a života horníků. [65]

V případě těžby ropy a zemního plynu dochází k uvolňování velkého množství metanu do atmosféry. Při těžbě je také potřeba velkého množství vody vtlačované do vrtů, která je tímto znehodnocena a musí se s ní nakládat velmi opatrně. [65]

Znečištění ovzduší: Zde se jedná o znečištění vznikající při dopravě a spalování. V případě uhlí se jedná o emise produkované přepravní technikou (lodě, nákladní auta), které produkují oxid dusičitý a saze. Při samotné přepravě dochází také k uvolňování uhelného prachu do okolí, což přináší kardiovaskulární a dýchací rizika pro lidi žijící v okolí. [65]

Ropa a zemní plyn jsou na pevnině přepravovány pomocí ropovodů a plynovodů, dopravu ropy přes moře na pevninu pak zajišťují tankery. Zde je také největší riziko přírodních katastrof. V případě úniku ropy dochází ke zničení všech ekosystémů a znehodnocení veškeré okolní krajiny, obzvláště pak řek a jezer, případně moří. [65]

Při spalování fosilních paliv dochází k uvolňování velkého množství emisí, jedná se zejména o oxid siřičitý SO_2 a oxidy dusíku NO_x . Kombinací těchto emisí s vodou, kyslíkem a dalšími chemikáliemi v atmosféře vznikají kyselé deště, které mohou být nebezpečné pro vodní živočichy, ale i pro stromy a lesní ekosystémy. Emisním prvkem ze spalování uhlí je také rtuť, která se následně dostává do potravních řetězců zvířat a lidí. [65]

Samostatnou kapitolou je chlazení těchto elektráren pomocí vody. Většina z nich bere vodu z blízkých zdrojů jako jsou řeky a jezera, kam vodu následně i vrací, ovšem s vyšší teplotou. Právě tato teplejší voda ohřívá vodní zdroje a negativně tak ovlivňuje kvalitu vody a tím život vodních živočichů. [65]

Likvidace odpadu: Odpad z uhelných elektráren představuje uhelný popel a vodnatý odpad po čištění uhlí, obojí je skladováno ve velkých kontejnerech bez dalšího využití. Odpadem po těžbě ropy a zemního plynu je již zmíněná toxická voda, která je často uschovávána v otevřených jámách s úpravou proti prosáknutí. Zde hrozí nebezpečí úniku při přeplnění – například deštěm. [65]

8.6 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Nepřetržitý provoz – pokrytí energetických potřeb bez ohledu na počasí a jiné přírodní vlivy
- Možné provozovat kdekoliv
- Vysoký výkon

- Suroviny lze dobře převážet

Nevýhody:

- Vysoké emise i s filtrací, znečišťování přírody ve všech fázích výroby energie
- Nízká účinnost, kterou dále snižují filtrační systémy
- Omezené zásoby fosilních paliv – není obnovitelné, palivo se musí těžit nebo kupovat
- Způsobuje zdravotní obtíže horníkům, těžařům, ale i lidem žijícím v okolí
- Riziko vážných přírodních katastrof – úniky plynu, ropy, kontaminované vody...

8.7 Situace v ČR

Elektrárny spalující fosilní paliva jsou u nás nejrozšířenějším a v blízké budoucnosti nenahraditelným zdrojem energie, v současné době pokrývají více než 50 % veškeré vyrobené elektrické energie. Nejvyšší podíl zastává hnědé uhlí, a to až 43 %. Černé uhlí a zemní plyn pak každý zastupují přibližně 4 %. Instalovaný výkon se podle dostupných informací může pohybovat okolo 11 000 MW, přičemž v roce 2018 bylo z fosilních paliv vyrobeno 44 675 GWh elektrické energie. [27] Jednotlivé suroviny se na této hodnotě podílí následovně:

Tabulka 8: Podíl jednotlivých surovin na výrobě elektrické energie z fosilních paliv v roce 2018, vlastní zpracování z [27]

Surovina	Vyrobena energie (2018) [GWh]
Hnědí uhlí	37 733
Černí uhlí	3 454
Zemní plyn	3 488
Topné oleje	35

Nejvíce elektráren spalujících fosilní paliva nacházíme v Ústeckém kraji, kde je zároveň velké množství hnědouhelných dolů, které se velmi negativně promítají na kvalitě okolní krajiny. Zatímco spotřebu hnědého uhlí je Česká republika schopna pokrýt ze svých zásob, zemní plyn a ropa musí být téměř výhradně dováženy. [27]

9 Jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny patří mezi neobnovitelné zdroje energie, mezi jejich přednosti patří velmi výhodný poměr potřebného místa a paliva ku vyrobené elektrické energii. V současné době zastávají až 11 % celosvětové výroby a jsou tak druhým nejvýznamnějším energetickým zdrojem po fosilních palivech. Jejich využívání rozděluje veřejnost na příznivce a odpůrce, kteří poukazují na omezené množství paliva a jeho velmi obtížnou likvidaci po použití, a zejména na rizika spojená s bezpečností těchto elektráren.

9.1 Historie

Historie vývoje jaderných elektráren začala roku 1789 objevením prvku jménem uran německým chemikem Martinem Klaprothem. Jeho radioaktivní účinky však byly zjištěny až o století později Wilhelmem Röntgenem a blíže prozkoumány Pierrem a Marií Curie-vými. Ačkoliv první záminky s radioaktivními prvky byly čistě válečné, roku 1941 americká organizace vědců MAUD Committee vydala dva reporty – první z nich hlásil možnost využití uránia do atomové bomby, ten druhý se zabíral využitím tohoto prvku pro pohon elektrárny. Energetický účel rozpadu radioaktivních prvků byl ale odložen na poválečné období. [66]

Vůbec první jadernou elektrárnou dodávající elektřinu do sítě se stala roku 1960 elektrárna Yankee Rowe s výkonem 250 MW. Krátce na to byla následována německým prototypem se stejným výkonem postaveným v Drážďanech. V rámci několika málo let se přidaly další země – Kanada, Francie a SSSR. V dnešní době už se počty reaktorů na světě pohybují ve stovkách. [66]

9.2 Rozdělení

Nejčastěji se můžeme setkat s rozdělením podle typu použitého jaderného reaktoru.

- **Tlakovodní reaktor (PWR)** – jedná se o nejpoužívanější typ reaktoru na světě, jeho princip je založen na dvou okruzích. Primární chladicí okruh zajišťuje voda pod velmi vysokým tlakem 150 atmosfér, což zabraňuje jejímu vypařování až do teploty 325 °C. Voda z primárního okruhu pak předává své teplo okruhu sekundárnímu, ve kterém už se voda pod nižším tlakem mění na páru a roztáčí turbínu pohánějící generátor. [67]
- **Varný reaktor (BWR)** – na rozdíl od předchozího typu fungují tyto reaktory pouze s jedním okruhem naplněným vodou o tlaku 75 atmosfér měnící se na páru

při 285 °C. Odpařování probíhá v horní části jádra reaktoru, odkud pára odchází přímo do turbíny. Při běžném provozu je v reaktoru 12-15 % páry, což snižuje jeho efektivitu oproti PWR reaktoru (pára funguje jako tlumič štěpné reakce). Z důvodu přímého propojení turbíny s jádrem reaktoru musí být turbína radiologicky zajištěna. [67]

- **Těžkovodní reaktor (PHWR)** – Tento typ reaktoru využívá stejně jako PWR dvou samostatných okruhů. Jako palivo ale používá přirozeně se vyskytující izotop uranu U235, tudíž je potřeba použít účinnější moderátor, v tomto případě těžkou vodu D₂O. Těžká voda slouží v primárním okruhu i jako chladivo, dosahuje teplot 290 °C a tlaku 100 atmosfér. Sekundární okruh obsahuje normální vodu a funguje stejně jako u typu PWR. [67]

Za zmínku stojí i další méně používané typy reaktorů, například plynem chlazený reaktor (GCR), lehkovodní grafitový reaktor (RBMK), a rychlý množivý reaktor (FBR). V současnosti se můžeme setkat i s elektrárnami postavenými na velkých plavidlech – plovoucími elektrárnami. [67]

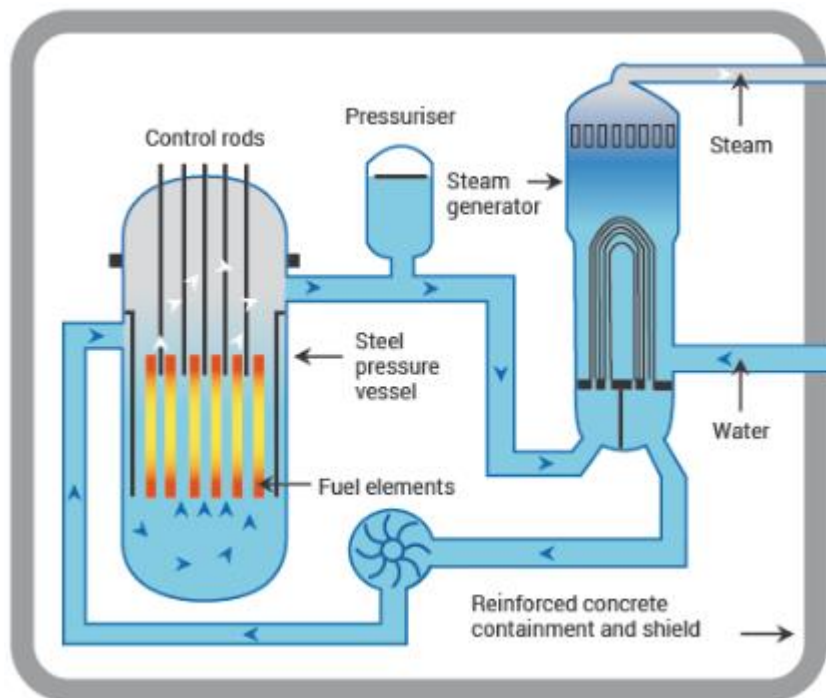
9.3 Princip funkce

Jaderné elektrárny fungují na principu přeměny tepelné energie na elektrickou, kde teplo vzniká jaderným štěpením, nejčastěji izotopů uranu. Pod pojmem jaderné štěpení si můžeme představit rozpad jádra atomu, při němž se uvolňují neutrony. Odštěpky jader do sebe vzájemně naráží, čímž se uvolňuje velké množství tepelné energie. Zároveň neutrony uvolněné z rozpadlého jádra způsobují řetězovou reakci díky interakci s dalšími atomy. Pro správnou funkci reaktoru je nutné tuto reakci regulovat, to probíhá za pomoci moderátoru, regulačních tyčí nebo atomů bóru přimíchaných v chladivu. Zatímco moderátor slouží k udržení řetězové reakce (zpomalení neutronů), regulační tyče a atomy bóru naopak zabráňují příliš rychlému šíření reakce a následné ztrátě kontroly nad reaktorem. [67] [68]

Jako palivo se nejčastěji používá oxid uraničitý UO₂ ve formě pelet naskládaných do palivových tyčí. Uran se v přírodě vyskytuje s obsahem 0,7 % radioaktivního izotopu ²³⁵U, běžně se ale obohacuje až na 5 % obsahu ²³⁵U. Pokud je jako moderátor použit grafit nebo těžká voda, uran obohacovat nemusíme. [67]

Teplo vzniklé jaderným štěpením je využito k přeměně vody na páru, jenž pohání turbínu napojenou na generátor elektrické energie, přičemž zbytek elektrárny funguje na stejném

principu jako tepelná elektrárna – chladicí okruh, kondenzátor... Následující obrázek ukazuje schéma nejběžnějšího typu jaderného reaktoru – Tlakovodní reaktor PWR



Obrázek 12: Tlakovodní reaktor (PWR), [67]

9.4 Ekonomická situace

Obecně lze říci, že stavba jaderné elektrárny je velmi nákladná, jedná se však o stabilní a dlouhodobý zdroj energie nezávislý na okolním prostředí. Výhodou je také dobrý poměr spotřeby paliva ku vyrobené energii.

9.4.1 CAPEX, Kapacitní faktor, LCOE

Tabulka 9: Průměrné hodnoty CAPEX, Kapacitního faktoru a LCOE pro rok 2015, vlastní zpracování podle [43]

	Investiční náklady [USD/kW]	Kapacitní faktor [%]	LCOE [USD/kWh]
Průměrné hodnoty pro rok 2015	5800	92	0,078

V tabulce č. 9 jsou přehledně uvedeny základní ekonomické údaje. Investiční náklady jsou zde velmi vysoké, což je z velké míry dáno přísnými požadavky na bezpečnost. Cenu tak zvyšují speciální materiály, bezpečnostní prvky a záložní kontrolní vybavení. Až 80 % z celkové ceny jsou stavební náklady, z nichž 70 % odpovídá ceně stavebního

vybavení, materiálu a dělníků. Zbýlých 30 % zahrnují nepřímé náklady jako stavební dozor a pomocné práce. Pětinu investičních nákladů představují vlastnické výdaje – cena pozemku, management projektu, licence a další. [69]

Kapacitní faktor dosahuje velmi vysokých hodnot, typicky 85 % a více, což je dáno jejich nepřetržitým provozem s výjimkou odstavení kvůli pravidelné údržbě a výměně palivových tyčí. Výměna paliva probíhá zpravidla jednou za 18-36 měsíců a zabere okolo měsíce a půl, během této doby reaktor neprodukuje žádnou energii. Hodnota LCOE se stabilně drží na 0,08 USD/kWh. [69]

9.4.2 Provozní náklady

Provozní náklady u jaderných elektráren stejně jako u elektráren spalujících fosilní paliva zahrnují i ceny paliv, v tomto případě uranu. Avšak na rozdíl od uhelných a plynových elektráren zde náklady spojené s těžbou, úpravou a následnou likvidací vyhořelého paliva tvoří pouze asi 34 % z celkových provozních nákladů. [63]

Samotné náklady na palivo jsou následovné:

- 41 % - těžba rudy obsahující uran
- 4 % - separace oxidu uranu z vytěžené horniny
- 31 % - obohacení
- 8 % - fabrikace, výroba pelet
- 16 % - nakládání s vyhořelým odpadem

Celkové provozní fixní a variabilní náklady jsou potom uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 10: Fixní a variabilní provozní náklady, vlastní zpracování podle [63] [70]

Fixní náklady [USD/kW/rok]	Variabilní náklady [USD/kWh]
100	0,0023

9.5 Environmentální situace

Samotný provoz jaderných elektráren se vyznačuje s výjimkou vodní páry nulovou produkcí skleníkových plynů, nízkou spotřebou paliva a celkově čistým provozem. Na druhou stranu odpad v podobě použitého paliva je silně radioaktivní a musí s ním být podle toho nakládáno, to samé se týká vnitřních součástí reaktoru. Velmi velké obavy vzbuzují potenciální úniky radiace vlivem nehod, teroristických útoků a přírodních katastrof.

9.5.1 Live Cycle Assessment

GHG emise u tohoto typu elektráren se pohybují v rozmezí 4-110 gCO₂eq/kWh, přičemž jako průměrnou hodnotu lze označit 30 gCO₂eq/kWh. Lze si tedy všimnout, že produkováné emise nejsou příliš vysoké a moc se neliší od obnovitelných zdrojů. Tyto emise ovšem elektrárna neprodukuje při svém provozu, nýbrž vznikají při těžbě uranu a její samotné stavbě. [64] [71]

Hodnoty pro Energy Payback Ratio se pohybují v rozmezí 14-16, přičemž tato hodnota odpovídá nejrozšířenějšímu typu reaktoru – tlakovodní (PWR). [23]

9.5.2 Dopady na životní prostředí

Produkce oxidu uhličitého: Při těžbě uranu a samotné stavbě elektrárny je do ovzduší vyloučeno poměrně velké množství emisí CO₂. Následující provoz elektrárny je však bezemisní. [71]

Radiace a odpad: Odpad produkovaný elektrárnou můžeme podle intenzity jeho radiace rozdělit na lehce a vysoce radioaktivní. Lehce radioaktivní odpad tvoří většinu odpadu a představuje různé nástroje, pracovní oblečení a jiné předměty používané v elektrárně, dále také zbytky z výroby paliva. Žádný z těchto produktů nesmí přijít do styku s okolním světem a pro nakládání s nimi existují přesné postupy. Odpad ze zpracovatelských zařízení na výrobu paliva je obvykle zakopán pod nepropustnou vrstvou jílu, hornin a zeminy v jejich blízkosti. [71]

Vysoce radioaktivní odpad představuje zejména vyhořelé palivo ve formě pelet uložených v palivových tyčích. Palivo je po vyjmutí z reaktoru umístěno buď do speciálních bazénů vyhořelého paliva, nebo uloženo v betonových kontejnerech s cirkulací vzduchu. V těchto prostorách je odpad chlazen a je možné ho vyjmout po přibližně čtyřech letech, kdy jeho radioaktivita klesne na 50 %. Poté palivo putuje do meziskladů na dalších několik desítek let. Poslední fází má být jeho převezení do hlubinného úložiště na desítky tisíc let, případně jeho další přepracování – obě tyto možnosti jsou však zatím ve fázi stavby a výzkumu. [71] [72]

Využívání vody: Chlazení elektrárny způsobuje podobné problémy jako u ostatních elektráren vyžadujících chlazení. Voda je ohřívána a vracena zpět do vodních zdrojů, což negativně ovlivňuje její kvalitu a život v ní. [73]

Rizika provozu: Největším rizikem těchto elektráren je obrovský únik radiace v případě jejich poškození, ať už vlivem přírodních katastrof nebo lidskou rukou. Pro příklad můžeme uvést nehodu elektrárny v Černobylu v roce 1986 nebo poměrně nedávné poškození elektrárny Fukušima v roce 2011. [73]

9.6 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Vysoký a stálý výkon bez ohledu na okolní prostředí
- Vysoká efektivita hmotnosti paliva ku jeho výhřevnosti
- Nízká produkce emisí, relativně čistý zdroj
- Nezabírá příliš prostoru

Nevýhody:

- Neobnovitelný zdroj – potřeba paliva
- Špatná možnost regulace – z důvodu vysokých fixních provozních nákladů je ekonomicky velmi nevýhodné snižovat výkon
- Radioaktivní odpad – ačkoli odpadu není mnoho, je velmi nebezpečný a dodnes nejsou postavena finální bezpečná úložiště
- Rizika havárií – nejsou příliš vysoká, ale případné nehody mají katastrofální následky

9.7 Situace v ČR

V České republice dosahuje podíl elektřiny vyrobené jadernými elektrárnami 34 % a je tak naším druhým nejvýznamnějším zdrojem energie. Na našem území jsou v provozu dvě jaderné elektrárny – Dukovany a Temelín o souhrnném výkonu 4290 MW, jenž v roce 2018 vyrobily 29 921 GWh elektrické energie. Jejich srovnání je k nalezení v následující tabulce. [27]

Tabulka 11: Srovnání JE Temelín a JE Dukovany, vlastní zpracování podle [74] [75]

	Uvedení do provozu	Instalovaný výkon
JE Temelín	2000	2 x 1125 MW
JE Dukovany	1985	4 x 510 MW

V současné době jsou plánovány stavby nových bloků u obou elektráren, kde v případě JE Temelín by mělo jít o dostavění zbylých dvou bloků a tím zdvojnásobení výkonu.

U JE Dukovany se uvažuje o jednom bloku o výkonu cca. 1000 MW. Stavba úplně nových elektráren momentálně není v plánu.

Za zmínku stojí ekonomicky výhodná poloha obou elektráren, které jsou situovány v oblastech vzdálených od uhelných ložisek na severu a východu ČR, čímž odpadá nutnost dovozu uhlí pro výrobu energie do těchto oblastí. JE Temelín je postaven v Jihočeském kraji, JE Dukovany se nachází na východní hranici kraje Vysočina.

10 Srovnání a vyhodnocení

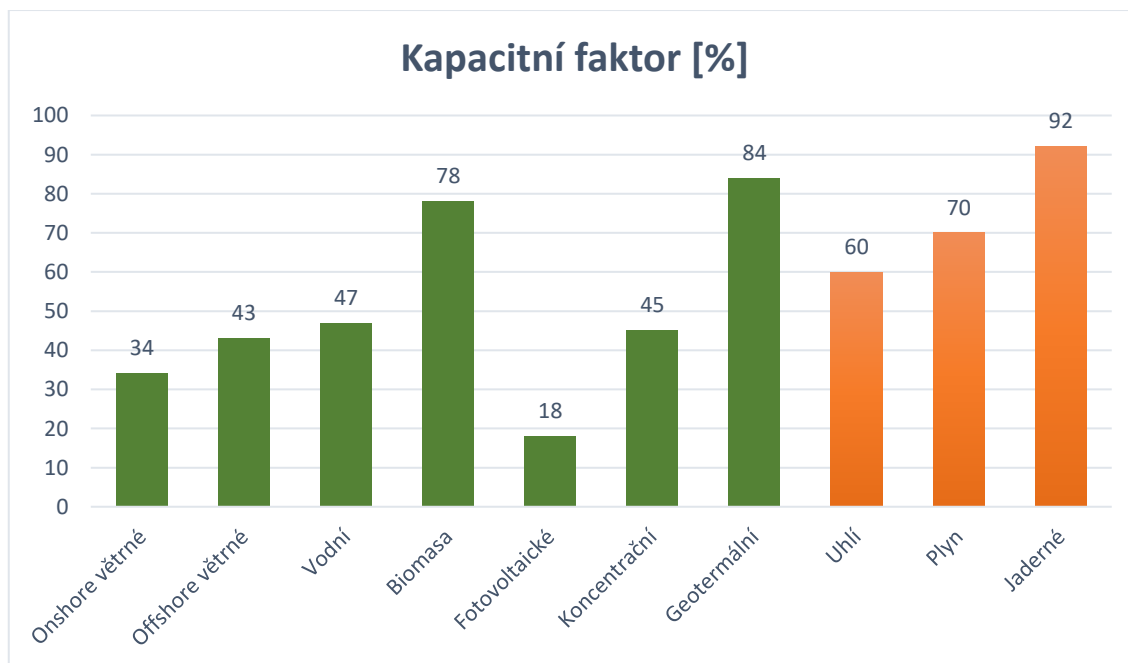
Cílem této kapitoly je vzájemné porovnání jednotlivých zdrojů energie pokud možno s co nejvyšším využitím dat získaných v předchozích částech. Postupně zdroje srovnám po technické, ekonomické a environmentální stránce. Po těchto částech bych rád nastínil souhrnnou situaci v ČR, včetně podílu zdrojů na energetickém mixu.

Většina dat porovnávaných v této kapitole představuje průměrné celosvětové hodnoty, které nemusí vždy odpovídat reálným hodnotám v jednotlivých dílčích částech světa.

10.1 Technické srovnání

Hlavním srovnávaným parametrem v této části je kapacitní faktor, který ačkoliv se používá k výpočtu ekonomických hodnot, patří mezi technické parametry. Pro připomenutí, kapacitní faktor nám udává procentuální podíl vyrobené energie vůči energii, kterou by byl zdroj schopen vyrobit při maximálním zatížení v optimálních podmínkách. Dalším sledovaným parametrem je regulovatelnost jednotlivých typů elektráren a flexibilita jejich provozu.

Kapacitní faktor



Graf 11: Srovnání kapacitních faktorů jednotlivých zdrojů energie (2018), vlastní tvorba

Na grafu č. 11 vidíme, že nejvyšších kapacitních faktorů dosahují jaderné elektrárny, které se vyznačují nepřetržitým provozem s výjimkou úplných odstávek kvůli pravidelné

údržbě a výměně paliva. Na druhém konci škály vidíme fotovoltaické a větrné elektrárny, které jsou velmi závislé na klimatických podmínkách v dané oblasti.

Obecně vyšších kapacitních faktorů dosahují zdroje potřebující ke svému provozu palivo, mezi které patří všechny neobnovitelné zdroje a biomasa ze zdrojů obnovitelných. Úplnou výjimku pak tvoří geotermální elektrárny, které ačkoli jsou zdroj obnovitelný, nejsou závislé na dodávkách paliva ani na okolním počasí.

Zajímavým zdrojem jsou v tomto ohledu vodní elektrárny, jejichž část je využívána k regulaci energetických špiček, tudíž nejsou v provozu nepřetržitě nebo neběží vždy na maximální výkon, celkový kapacitní faktor vodních elektráren je pak nižší.

Regulovatelnost

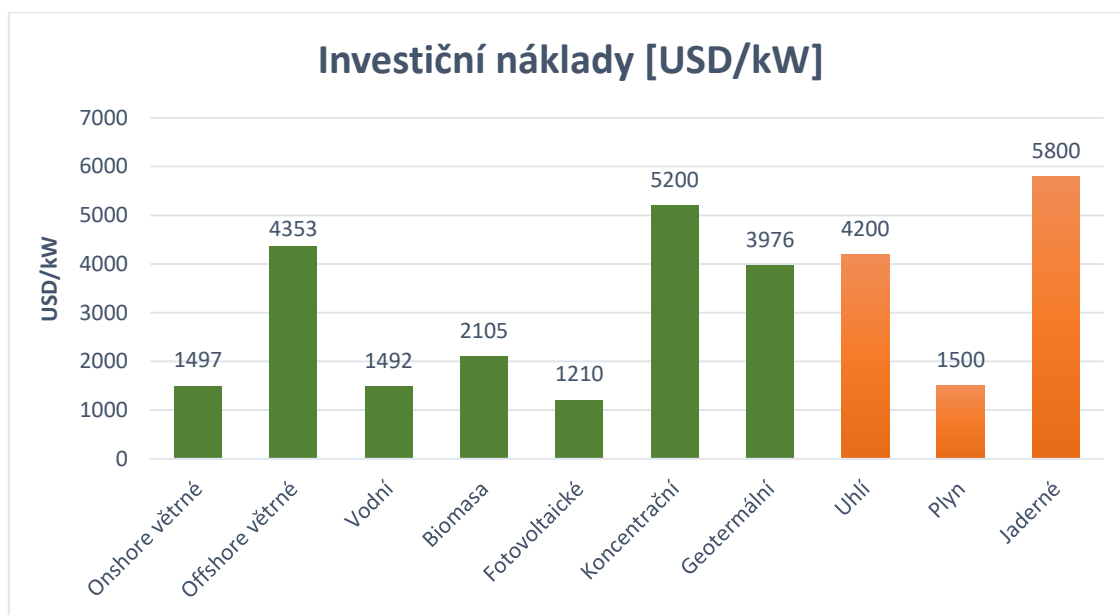
Nejlepší regulovatelnost a flexibilitu provozu ze všech zdrojů nabízí vodní elektrárny, z nichž některé jsou pro tyto účely přímo stavěny. Nabízí možnost regulace průtoku vody s velmi krátkými reakčními intervaly.

Naopak veškeré tepelné elektrárny vykazují nejlepší provozní vlastnosti při dlouhodobém stálém provozu s neměnným zatížením. Toto je spojeno také s dlouhými náběhovými časy v případě odstavení těchto elektráren – u uhelných elektráren jsou to řádově desítky hodin, u jaderných pak přibližně týden.

Obtížně lze regulovat také solární a větrné elektrárny, které jsou navíc silně závislé na okolním počasí. Mohou pak vznikat situace, ve kterých tyto zdroje neprodukují žádnou energii, nebo jí naopak nárazově produkují příliš mnoho, čímž neúměrně zatěžují elektrifikační soustavu a pro energii často ani není rozumné využití. Tento problém se týká spíše elektráren větrných. Řešením pro přebytečnou energii mohou být akumulací systémy, do kterých se vyrobená energie uschová pro další použití. Ve světě se již taková zařízení testují, stále však nenaplnují všechny kladené požadavky.

10.2 Ekonomické srovnání

Investiční náklady



Graf 12: Srovnání investičních nákladů pro jednotlivé zdroje energie (2018), vlastní tvorba

V grafu výše můžeme vidět vzájemné srovnání investičních nákladů jednotlivých zdrojů elektrické energie. Jak se dalo očekávat, nejvyšších hodnot dosáhly jaderné elektrárny, jejichž stavba a provoz je provázena velmi vysokými bezpečnostními požadavky, zároveň i jejich technologické provedení je náročné. Vysoké investice vyžadují také koncentrační solární elektrárny, u nichž je vysoká cena způsobena z části i malým trhem a nízkou konkurencí v oboru.

Naopak nejlevněji vychází fotovoltaické panely, vodní elektrárny, onshore větrné elektrárny a elektrárny spalující zemní plyn. U vodních elektráren je ale cena velmi závislá na velikosti projektu a ceny jednotlivých elektráren v různých regionech se výrazně liší.

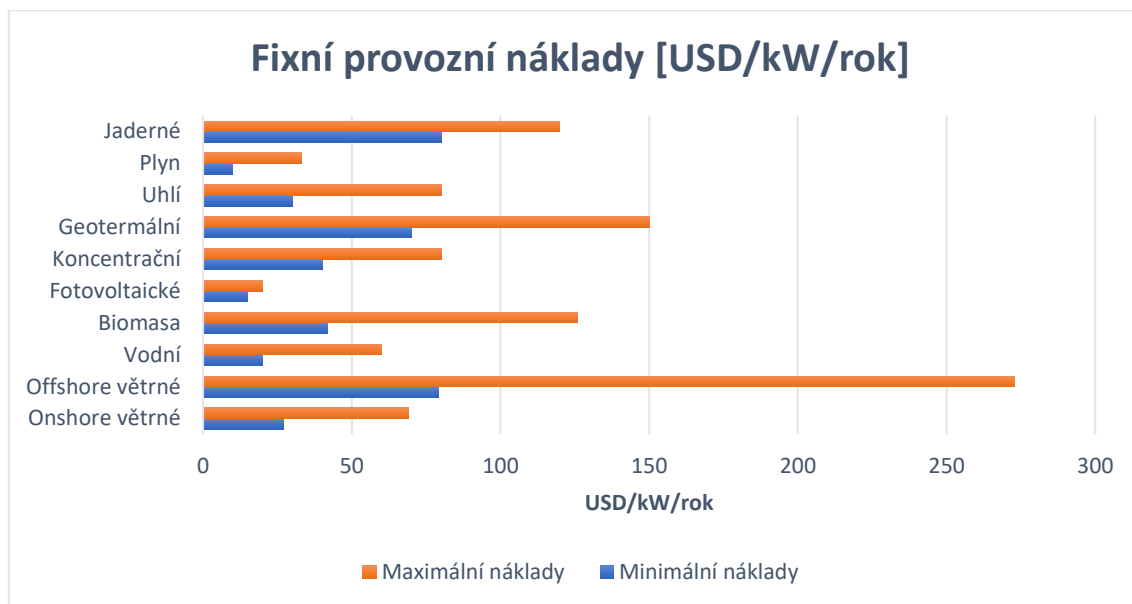
Zajímavé je srovnání obou typů větrných elektráren, mezi kterými je vidět markantní rozdíl, který je způsoben náročnou instalací větrných turbín v mořském prostředí. Za zmínku stojí i překvapivě vysoká cena uhelných elektráren, jenž je v mnoha případech zapříčiněna instalací filtračních systémů. Tyto zařízení zvyšují celkovou cenu a snižují výkon, jejich vliv na vypouštěné emise je však zanedbatelný.

Provozní náklady

Provozní náklady dělíme na fixní a variabilní. Fixní náklady zahrnují výdaje, které nezávisí na množství produkovaní energie. Mezi tyto náklady řadíme nájem, platy

zaměstnanců, pojištění, plánované údržby atp. Variabilní náklady pak přímo souvisí s množstvím vyrobené energie a jedná se tak především o cenu paliva a jeho dopravy, neplánované údržby a výměnu opotřebovaných součástí.

Následující graf ukazuje rozmezí fixních provozních nákladů pro jednotlivé zdroje energie. Modrý trend znázorňuje spodní hranici rozmezí, oranžový pak hranici horní.



Graf 13: Srovnání fixní provozních nákladů jednotlivých zdrojů energie, vlastní tvorba

Výrazně nejvyšší fixní náklady vykazují offshore větrné elektrárny, což lze vysvětlit náročným prostředím ve kterém jsou provozovány, a jejich obtížnou dostupností. Relativně vysoké náklady můžeme vidět i u elektráren jaderných, geotermálních a spalujících biomasu.

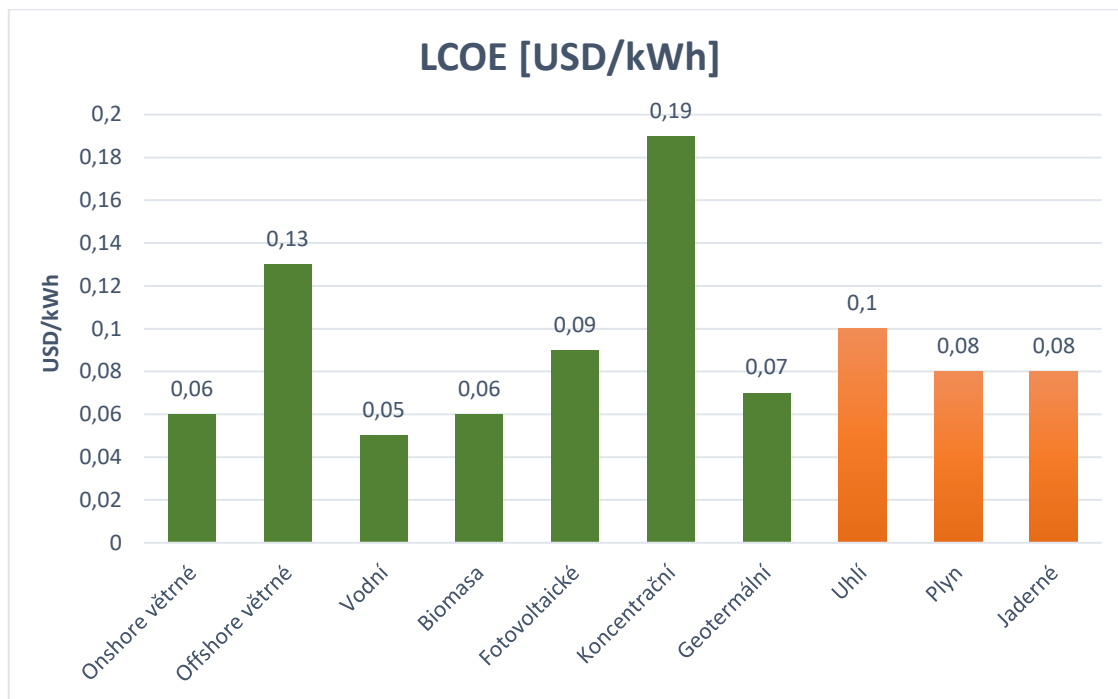
Úplně nejnižší hodnoty pozorujeme u fotovoltaických elektráren, které nevyžadují příliš náročnou údržbu, jejíž intenzita se odvíjí zeměpisné polohy elektrárny.

Variabilní provozní náklady jsou u některých zdrojů velmi vysoké. Jmenovitě u elektráren spalujících fosilní paliva, kde samotná cena těžby, úpravy a dopravy paliva může být až 80 % celkových provozních nákladů. Poměrně nižší podíl na celkových nákladech má pak palivo u elektráren jaderných a spalujících biomasu, kde v prvním případě je paliva potřeba relativně malé množství a v případě druhém je palivo dobře dostupné a levné.

Naprosto nejnižší variabilní náklady vykazují fotovoltaické a vodní elektrárny, u nichž se tyto náklady blíží nule. Obecně nižší variabilní náklady můžeme najít u zdrojů, které ke svému provozu nepotřebují dodávat palivo.

Cena za jednotku vyrobené energie – LCOE

Jak již bylo několikrát zmíněno, Levelized Cost of Electricity (LCOE) nám ukazuje, jak nákladná je výroba elektřiny prostřednictvím vybraných zdrojů. Tento parametr v sobě zahrnuje investiční i provozní náklady, kapacitní faktor i dobu plánované životnosti.



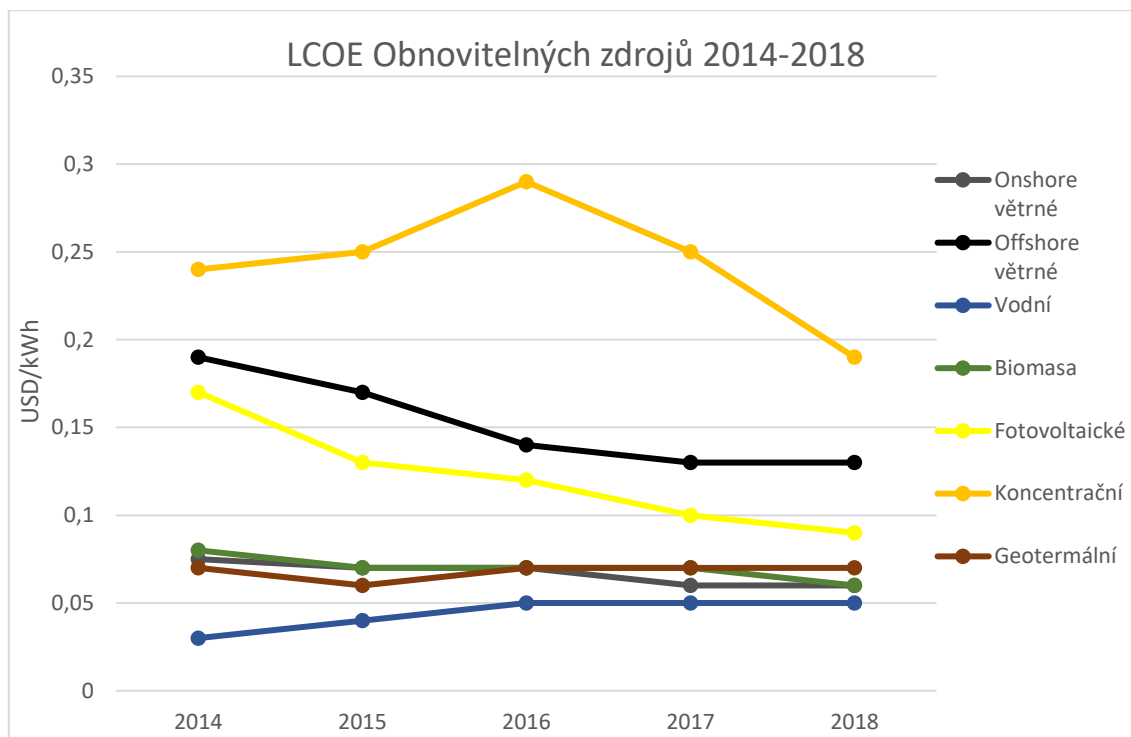
Graf 14: Srovnání LCOE jednotlivých zdrojů energie pro rok 2018, vlastní tvorba

V tomto srovnání jsou zajímavé výsledné ceny elektřiny jaderných a geotermálních elektráren, které i přes vysoké investiční náklady vyrábí energii za rozumnou cenu. Je to dáno především tím, že jejich provoz nezávisí na okolních podmínkách a počasí, a proto jsou schopny vyrábět elektřinu téměř nepřetržitě.

Úplným opakem jsou elektrárny koncentrační, případně i offshore větrné, jejichž stavba je také nákladná, ale na rozdíl od výše zmíněných jejich výkonnost plně závisí na klimatických podmínkách, které nejsou vždy ideální. Relativně drahá energie pochází také z uhelných elektráren, kde jsou velmi vysoké náklady na samotné palivo a jeho přepravu.

Nejlevnější elektřinu poskytují elektrárny vodní, onshore větrné a spalující biomasu. Poslední jmenované nejsou nákladné na výstavbu a palivo pro ně je relativně levné, jelikož se často jedná o odpady z různých průmyslových a zemědělských činností. Největší výhodou vodních a větrných elektráren je jejich palivo, které je zdarma.

Pro zajímavost v následujícím grafu uvádím vývoj ceny energie (LCOE) obnovitelných zdrojů za posledních pět let.



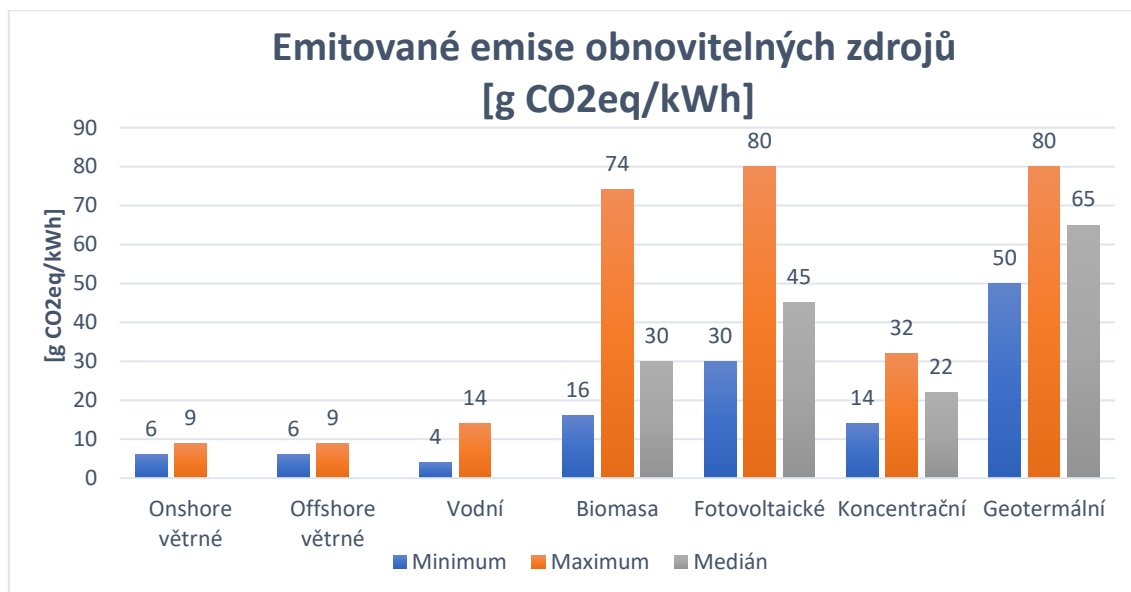
Graf 15: Vývoj LCOE u obnovitelných zdrojů 2014-2018, vlastní tvorba

10.3 Environmentální srovnání

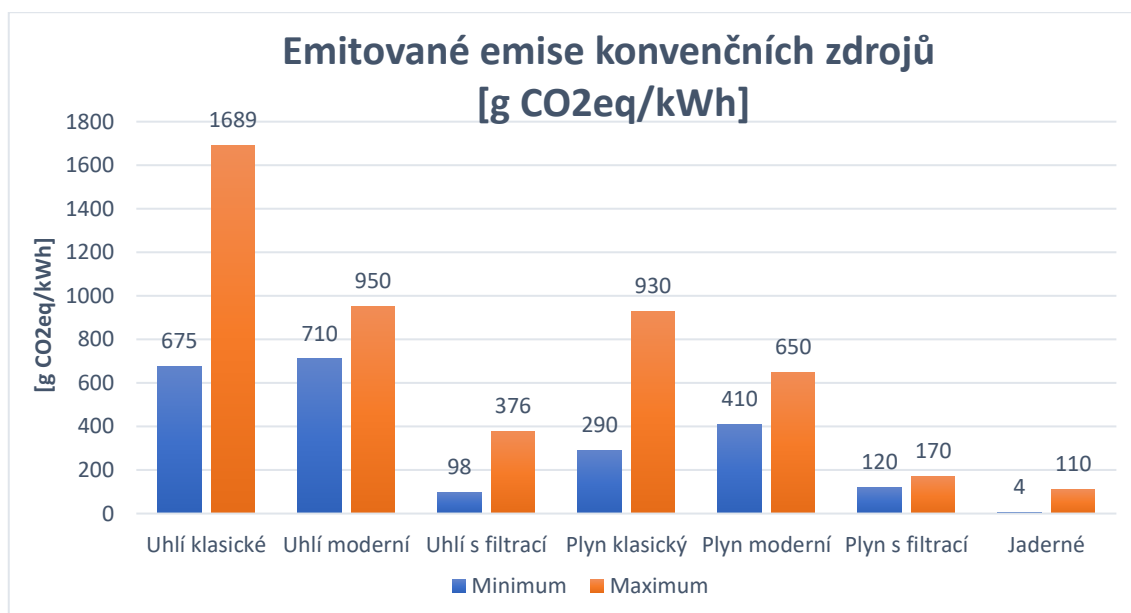
V této kapitole budu srovnávat dopady zdrojů energie na životní prostředí. Problematika všech vlivů elektráren na životní prostředí je velmi obsáhlá a nad rámec této práce, proto jsem vybral pouze některé faktory, které zde srovnávám. Jedná se o emitované emise do atmosféry v průběhu životního cyklu přepočítané na ekvivalent CO₂ a Energy Payback Ratio, jenž nám udává poměr elektrárnou vyrobené energie vůči energii spotřebované v průběhu jejího životního cyklu.

Emitace škodlivých látek do ovzduší

Emise emitované do ovzduší se v rámci srovnávaných zdrojů velmi liší, pro větší přehlednost zde tudíž uvádím dva samostatné grafy, první pro zdroje obnovitelné, druhý pak pro zdroje konvenční. Modrý trend v grafech zobrazuje minimální hodnotu pro daný zdroj, oranžový trend hodnotu maximální a třetí šedý trend hodnotu mediánu, pokud byla k dispozici.



Graf 16: Emitované emise obnovitelných zdrojů energie, vlastní tvorba

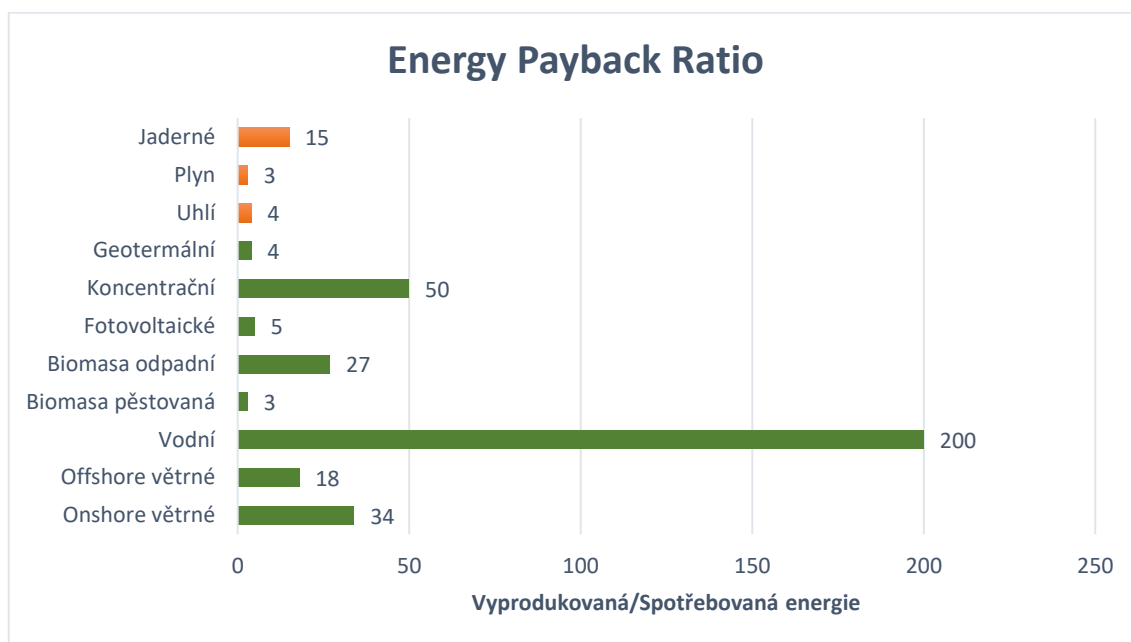


Graf 17: Emitované emise konvenčních zdrojů energie, vlastní tvorba

Jak lze zjistit z grafů, konvenční zdroje energie s výjimkou jaderných elektráren mají nersrovnatelně vyšší hodnoty emitovaných škodlivin v porovnání se zdroji obnovitelnými. Pokud jsou tyto zdroje vybaveny filtračním systémem, jejich emise výrazně klesají, i přes to jsou však mnohonásobně vyšší než u obnovitelných zdrojů. Jaderné elektrárny tvoří v tomto směru výjimku, jelikož medián jejich emitovaných emisí je roven přibližně 30 g CO₂eq/kWh, čímž se dostávají na úroveň již zmiňovaných obnovitelných zdrojů a jedná se tak o zdroj relativně čistý.

Naopak obnovitelné zdroje zůstávají se svými maximálními hodnotami emitovaných škodlivin pod hranicí 100 g CO₂eq/kWh, většinou se ale jedná o hodnoty podstatně nižší. Úplně nejlepších výsledků dosahují oba typy větrných elektráren spolu s elektrárnami vodními, u nichž můžeme hovořit o jednotkách gramů. Tyto zdroje těží z faktu, že nepotřebují k provozu palivo, které je nutné těžít, zpracovávat a dovážet.

Energy Payback Ratio



Graf 18: Energy Payback Ratio zdrojů energie, vlastní tvorba

Pokud se podíváme na graf výše, všimneme si jasné dominance vodních elektráren v tomto srovnání. Tento fakt je dán velmi vysokou plánovanou životností vodních zdrojů energie spolu s jejich nezávislostí na externím palivu.

Nejhorší návratnost energie vykazují elektrárny fotovoltaické, spalující uhlí, plyn a pěstovanou biomasu. Zatímco u fotovoltaických zdrojů je na vině technologicky náročný proces výroby, u uhlí a plynu záleží zejména na typu použitého cyklu (jednoduchý parní, kombinovaný) a na vzdálenosti, ze které je dováženo palivo – 500 km a více výrazně snižuje tento faktor. U elektráren spalujících uhlí a plyn lze tedy dosáhnout o něco lepších, ale i horních hodnot, u obou přibližně v rozmezí 1,5-7. V případě biomasy je velmi důležité, odkud biomasa pochází. Pěstovaná biomasa je poměrně energeticky náročná, pokud mají být z polí dobré výnosy a z energetického hlediska je proto vhodnější používat biomasu odpadní.

10.4 Souhrnné zhodnocení

V předchozích kapitolách jsem porovnal jednotlivé zdroje z technické, ekonomické a environmentální stránky. Ačkoliv v každém srovnání je zdroj, který v dané oblasti vychází lépe než ostatní, nelze zcela jednoduše jen podle čísel a hodnot říct, že jeden zdroj je nejlepší a jiný naopak nejhorší. K tomuto závěru vede mimo jiné i fakt, že všechna data z předchozích srovnání jsou průměrné celosvětové hodnoty, výsledky tím pádem slouží spíše k základnímu zorientování v problematice zdrojů energie a vytvoření vlastního názoru na ni.

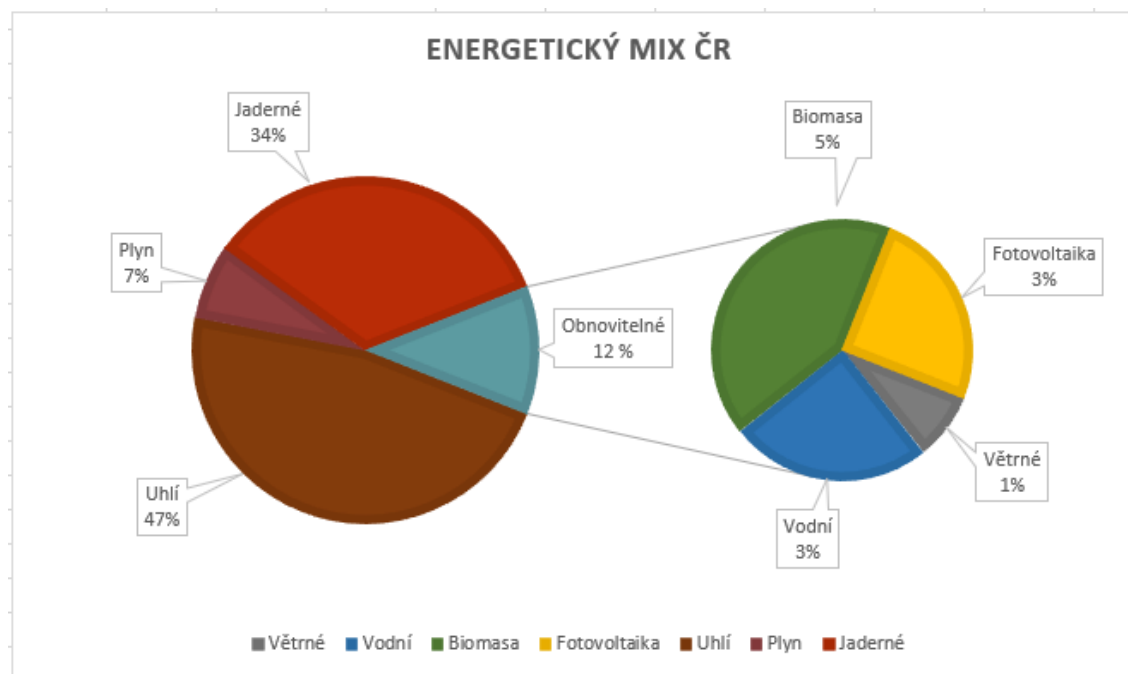
Mohlo by se zdát, že nejlepším zdrojem z výše zkoumaných jsou vodní elektrárny – v počtu na vyrobenou kWh mají nízkou cenu výstavby a provozu, jsou regulovatelné s nepřetržitým provozem, oplývají velmi vysokou životností, bezemisním provozem a v neposlední řadě velmi výhodnou cenou vyrobené elektřiny. Ani tyto elektrárny však nejsou vhodné všude na světě. V každé jednotlivé zemi jsou různorodé přírodní podmínky pro stavbu elektráren, v některých vychází nejvýhodněji elektrárny větrné, jinde solární, geotermální nebo vodní, vždy záleží na konkrétních možnostech.

Tento problém se zdánlivě netýká neobnovitelných zdrojů, jimiž jsou elektrárny spalující fosilní paliva a jaderné elektrárny. V jejich neprospěch, obzvláště prvních jmenovaných, hraje především obrovské znečištění okolního prostředí, čímž se zmenšuje váha jejich největších výhod – nepřetržitého provozu nezávislého na okolním prostředí a možnosti stavět je téměř kdekoli. Proto je snaha tyto elektrárny minimalizovat a v co nejvyšší míře nahradit zdroji obnovitelnými, což jde v některých lokalitách lépe a v jiných hůře.

Nejlepším řešením z mého pohledu je snaha o stavbu obnovitelných zdrojů energie s rozmyslem a v místech, kde to má opravdu smysl a kde jsou pro tyto elektrárny vhodné podmínky. Zároveň pozitivní a žádoucí je i snaha nahrazovat zejména fosilní paliva zdroji šetrnějšími k životnímu prostředí, ovšem ne všude toto bude možné v rozsahu, jaký by byl potřeba, a v dnešní době není moc možností co s tím dělat. V budoucnu, až budou plně vyvinuté a použitelné „úschovny energie“ v podobě akumulátorových stanic apod., může odpadnout část problému s nestálou a nepředvídatelnou produkcí energie prostřednictvím například větrných nebo solárních elektráren. Do té doby však ve většině případů potřebujeme i zdroje neobnovitelné, k tomuto účelu dle mého názoru velmi vhodné jaderné elektrárny, které zvládnou vytvořit stabilní a spolehlivý základ elektrizační soustavy.

10.5 Srovnání zdrojů energie v ČR

V České republice využíváme širokou škálu zdrojů energie, jejichž podíl na výrobě je demonstrován na energetickém mixu ČR v následujícím grafu.



Graf 19: Energetický mix ČR pro rok 2018, vlastní zpracování podle [27]

Většinový podíl na energetickém mixu ČR zastávají elektrárny spalující fosilní paliva spolu s jadernými elektrárnami. Společně pokrývají výrobu elektřiny z 88 %, zbylých 12 % pak připadá na zdroje obnovitelné.

Z obnovitelných zdrojů u nás můžeme najít elektrárny větrné, vodní, fotovoltaické a spalující biomasu. Pro ostatní obnovitelné zdroje, jako jsou geotermální a koncentrační elektrárny u nás nejsou vhodné podmínky, jejich rozvoj tudíž prozatím zůstal ve fázi výzkumu a experimentů.

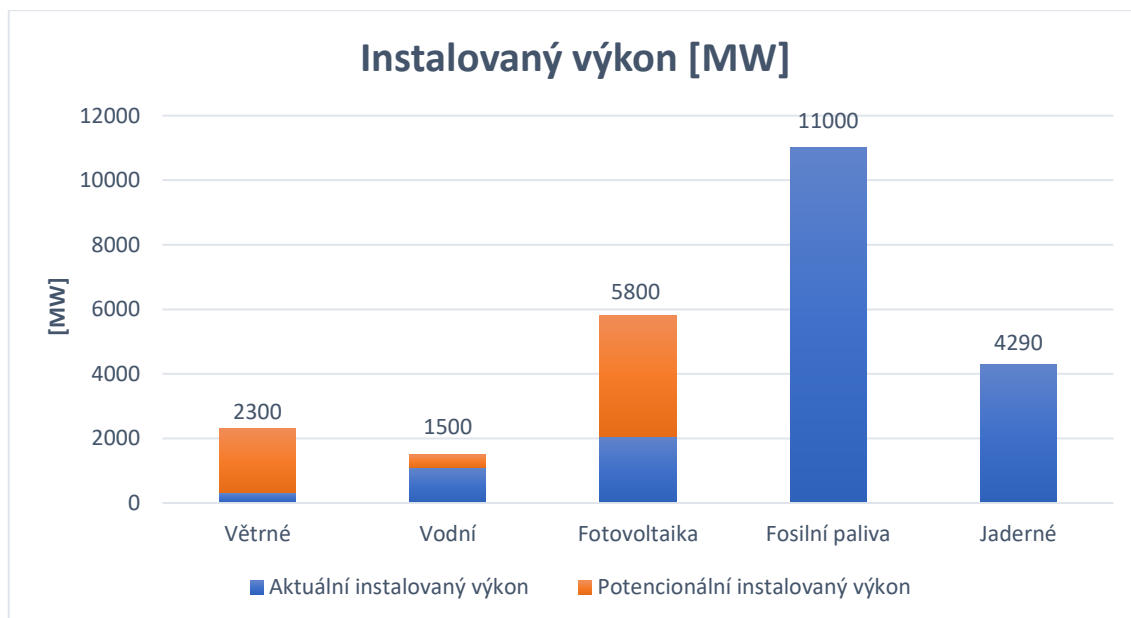
V posledních letech lze vidět výraznou snahu o zvýšení produkce energie prostřednictvím obnovitelných zdrojů, jejichž podíl na energetickém mixu by se měl v rámci následujících desetiletí stále zvyšovat. Naopak u fosilních paliv se dá očekávat jejich postupné omezení.

Instalovaný výkon a budoucí potenciál

V grafu č. 20 je vidět srovnání instalovaného výkonu a budoucího dosažitelného potenciálu pro zdroje energie v České republice. Modrý trend ukazuje dnešní stav, oranžový trend naznačuje dosažitelný potenciál v budoucnu. Samotný budoucí potenciál

je parametrem spíše pro obnovitelné zdroje, jelikož u zdrojů konvenčních nehrají roli vhodné přírodní podmínky atp., a jejich technický potenciál je tak téměř neomezený.

V případě vodních elektráren jsou v grafu uvedena data pouze pro spádové a regulační elektrárny, jejichž potenciál závisí na hydropotenciálu ČR. Přečerpávací elektrárny tvoří v tomto samostatnou skupinu a jejich potenciál nelze spolehlivě dohledat.



Graf 20: Srovnání instalovaného výkonu jednotlivých zdrojů energie v ČR, vlastní zpracování

V případě biomasy, která má u nás nejvyšší zastoupení z kategorie obnovitelných zdrojů se mi bohužel nepodařilo nalézt relevantní data. Tento fakt je dán právě jejím širokým zastoupením, kdy je využívá jak pro samostatné spalování, tak pro kombinované spalování s ostatními zdroji, což téměř znemožňuje nalezení věrohodných dat uvádějících instalovaný výkon. Vzhledem k množství vyrobené energie se ale dá očekávat relativně vysoký instalovaný výkon a biomasa jako zdroj může mít do budoucna v ČR poměrně dobrý potenciál. Dalšími nadějnými obnovitelnými zdroji jsou větrné a fotovoltaické elektrárny, pro které u nás sice nejsou ideální podmínky, přesto je zde slušný potenciál k rozvoji. U těchto zdrojů poměrně hodně záleží na vstřícnosti státu a obyvatelstva, jelikož mnoho vhodných míst pro stavbu se nachází v chráněných oblastech nebo v blízkosti lidských sídel.

Závěr

V této bakalářské práci byla provedena kompletní analýza jednotlivých zdrojů energie po technické, ekonomické a environmentální stránce. Dále byly u každého zdroje určeny silné a slabé stránky a stručně zhodnocena jeho role v energetickém mixu České republiky, včetně budoucího potenciálu pro rozvoj. Jednotlivé zdroje pak byly vzájemně porovnány a zhodnoceny.

V technické části jsem se zaměřoval na flexibilitu dodávání energie prostřednictvím jednotlivých zdrojů, na jejich schopnost regulace a také na závislost jejich provozu na okolním prostředí a přírodních podmínkách. Ekonomická část zahrnovala hodnocení instalačních (CAPEX) a provozních (OPEX) nákladů, a také určení ceny, za kterou je daný zdroj schopen vyrábět elektrickou energii. V části zaměřené na životní prostředí jsem zkoumal zejména množství emitovaných emisí do atmosféry a návratnost vložené energie v průběhu životního cyklu. U každého jednotlivého zdroje je navíc popsán jeho vliv na životní prostředí prostřednictvím faktorů, které jsou pro daný zdroj typické.

Ze srovnání a vyhodnocení práce vyplývá, že dnes nejpoužívanější zdroj energie – elektrárny spalující fosilní paliva, nejsou ideálním zdrojem energie zejména pro svou neobnovitelnost a vysoké znečištění životního prostředí. Podobný závěr, ovšem s výrazně menším znečištěním, platí i pro druhý neobnovitelný zdroj uvedený v této práci, tedy pro jaderné elektrárny. Ačkoli tyto elektrárny nedosahují příliš dobrých výsledků ani po ekonomické stránce, minimálně v nejbližší budoucnosti nebude zcela možné tyto zdroje nahradit, a to zejména kvůli jejich vysokým výkonům a velmi stabilní produkci energie nezávislé na přírodních podmínkách. Díky tomuto faktu je lze stavět téměř všude a velmi lehce vytvoří páteř pro energetickou soustavu kdekoliv na světě. Máme zde samozřejmě i zdroje obnovitelné, které mají podobné vlastnosti s nižšími negativními dopady, jmenovitě elektrárny geotermální a spalující biomasu. První jmenované lze však stavět pouze na velmi specifických místech, druhé zase potřebují pro svůj provoz mnohdy sezónní biomasu a jsou omezeny maximálním výkonem okolo 50 MW.

Pro zbylé obnovitelné zdroje jsou klíčové příhodné přírodní podmínky, při jejichž splnění mohou dosahovat výborných výsledků. Již dnes existují země, jež svoji spotřebu energie pokrývají výhradně nebo téměř výhradně ze zdrojů obnovitelných. Těchto zemí ovšem není mnoho, a zbylá většina se proto musí uchýlovat ke kompromisům v podobě určitého poměru neobnovitelných a obnovitelných zdrojů podle podmínek dané země.

Obnovitelné zdroje tedy jsou schopny vyrábět energii většinou levněji i čistěji než zdroje neobnovitelné, bohužel i tyto zdroje mají určité negativní vlivy na přírodu, jsou ovšem mnohem menší než například u uhelných elektráren. Výsledným ideálním řešením je tedy maximální snaha o využití obnovitelných zdrojů tam, kde mají smysl.

Pokud se zaměříme čistě na energetiku České republiky, je zde vidět cílená snaha o zvýšení produkce energie prostřednictvím obnovitelných zdrojů. Zatímco v roce 2010 byl podle Státní energetické koncepce podíl energie z obnovitelných zdrojů přibližně 8 %, k roku 2018 se jednalo již o 12 %. V této koncepci z roku 2014 je také uveden závazek České republiky zvýšit podíl energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020 na 13 %. Z dat získaných v průběhu zpracovávání této práce usuzují, že energetika ČR se vyvíjí v souladu s cíli, které byly vymezeny právě státní energetickou koncepcí.

List symbolů a zkratek

OPEX	Operational Expenditures (Provozní náklady)
CAPEX	Capital Expenditures (Investiční náklady)
LCOE	Levelised Cost of Electricity (Cena za jednotku vyrobené energie)
LCA	Life Cycle Assessment (Posuzování životního cyklu)
GHG	Greenhouse gas (Skleníkové plyny)
JE	jaderná elektrárna
eq	ekvivalent
USD	americký dolar
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt hodina
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hodina
TWh	Terawatt hodina
PJ	Petajoule
Km	Kilometr
h	hodina
m	metr
s	sekunda
g	gram
dB	decibel
eV	elektronvolt
ha	hektar

Seznam grafů

GRAF 1: CELKOVÉ VÁŽENÉ PRŮMĚRNÉ NÁKLADY NA INSTALACI, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO ONSHORE VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY, 2010-2018 [12]	20
GRAF 2: CELKOVÉ VÁŽENÉ PRŮMĚRNÉ NÁKLADY NA INSTALACI, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO OFFSHORE VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY, 2010-2018 [12]	21
GRAF 3: ENERGETICKÁ NÁVRATNOST PODLE UMÍSTĚNÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY. [15]	23
GRAF 4: NÁVRATNOST CO ₂ ZÁTĚŽE. [15].....	23
GRAF 5: CELKOVÉ VÁŽENÉ PRŮMĚRNÉ NÁKLADY NA INSTALACI, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO VODNÍ ELEKTRÁRNY, 2010-2018 [12]	29
GRAF 6: CELKOVÉ NÁKLADY NA INSTALACI VODNÍCH ELEKTRÁREN PODLE INSTALOVANÉHO VÝKONU. [12].....	30
GRAF 7: CELKOVÉ VÁŽENÉ PRŮMĚRNÉ NÁKLADY NA INSTALACI, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO BIOMASU, 2010-2018 [12]	37
GRAF 8: CELKOVÉ VÁŽENÉ PRŮMĚRNÉ NÁKLADY NA INSTALACI, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY, 2010-2018 [12]	47
GRAF 9: CELKOVÉ VÁŽENÉ PRŮMĚRNÉ NÁKLADY NA INSTALACI, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO KONCENTRAČNÍ ELEKTRÁRNY, 2010-2018 [12]	49
GRAF 10: VÝVOJ INSTALOVANÉHO VÝKONU V ČR. JEDNOTLIVÉ BARVY PŘEDSTAVUJÍ VÝKONOVÉ KATEGORIE: ORANŽOVÁ - NAD 5 MW, S. MODRÁ - OD 1 DO 5 MW, FIALOVÁ - 0,1-1 MW, ZELENÁ - 30-100 kW, ČERVENÁ - 10-30 kW, T. MODRÁ - DO 10 kW. DO ROKU 2014 EXISTUJÍ POUZE SOUHRNÉ ÚDAJE [27].....	53
GRAF 11: SROVNÁNÍ KAPACITNÍCH FAKTORŮ JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ ENERGIE (2018), VLASTNÍ TVORBA	75
GRAF 12: SROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ PRO JEDNOTLIVÉ ZDROJE ENERGIE (2018), VLASTNÍ TVORBA	77
GRAF 13: SROVNÁNÍ FIXNÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ ENERGIE, VLASTNÍ TVORBA.....	78
GRAF 14: SROVNÁNÍ LCOE JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ ENERGIE PRO ROK 2018, VLASTNÍ TVORBA.....	79
GRAF 15: VÝVOJ LCOE U OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ 2014-2018, VLASTNÍ TVORBA.....	80
GRAF 16: ĚMITOVANÉ EMISE OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE, VLASTNÍ TVORBA	81
GRAF 17: ĚMITOVANÉ EMISE KONVENČNÍCH ZDROJŮ ENERGIE, VLASTNÍ TVORBA	81
GRAF 18: ENERGY PAYBACK RATIO ZDROJŮ ENERGIE, VLASTNÍ TVORBA	82
GRAF 19: ENERGETICKÝ MIX ČR PRO ROK 2018, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PODLE [27]	84
GRAF 20: SROVNÁNÍ INSTALOVANÉHO VÝKONU JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ ENERGIE V ČR, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ	85

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: SAVONIŮV VĚTRNÝ MOTOR [2]	17
OBRÁZEK 2: VZTLAKOVÉ MOTORY A) JEDNOLISTÉ PROVEDENÍ S PROTIZÁVAŽÍM B) DVOULISTÉ PROVEDENÍ C) TŘÍLISTÉ PROVEDENÍ [2]	18
OBRÁZEK 3: ELEKTRÁRNA NA BIOMASU – SCHÉMA [31]	36
OBRÁZEK 4: OBRÁZEK POROVNÁVAJÍCÍ POLYKRystalický KŘEMÍKOVÝ ČLÁNEK (NALEVO) A MONOKRystalický KŘEMÍKOVÝ ČLÁNEK. (NAPRAVO) [37]	42
OBRÁZEK 5: SCHÉMATICKÝ DIAGRAM UKAZUJÍCÍ TRIVIÁLNÍ PRINCIPY ZÁKLADNÍCH ČTYŘ TYPŮ KONCENTRAČNÍCH ELEKTRÁREN: A) PARABOLICKÉ ŽLABOVÉ SYSTÉMY, B) FRESNELOVY LINEÁRNÍ SYSTÉMY C) VĚŽOVÉ ELEKTRÁRNY, D) S PARABOLICKÝM DISKOVÝM KONCENTRÁTOREM [6]	44
OBRÁZEK 6: DIAGRAM TOKU ELEKTRONŮ VE FOTOVOLTAICKÉM PANELU. [38]	45
OBRÁZEK 7: SCHÉMA FUNKCE ELEKTRÁRNY NA SUCHOU PÁRU [48]	55
OBRÁZEK 8: SCHÉMA FUNKCE ELEKTRÁRNY NA MOKROU PÁRU [48]	56
OBRÁZEK 9: SCHÉMA FUNKCE HORKOVODNÍ (BINÁRNÍ) ELEKTRÁRNY [48]	56
OBRÁZEK 10: CELKOVÉ VÁŽENÉ PRŮMĚRNÉ NÁKLADY NA INSTALACI, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO GEOTERMÁLNÍ ELEKTRÁRNY, 2010-2018 [12]	57
OBRÁZEK 11: GENEROVÁNÍ ELEKTRINY PARNÍ TURBÍNOU POHÁNĚNOU FOSILNÍM PALIVEM [60]	63
OBRÁZEK 12: TLAKOVODNÍ REAKTOR (PWR), [67].....	70

Seznam tabulek

TABULKA 1: PROVOZNÍ NÁKLADY PRO OFFSHORE A ONSHORE VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PODLE [6][14] ...	22
TABULKA 2: VÝKON GEOTERMÁLNÍCH ELEKTRÁREN NA MOKROU PÁRU V ZÁVISLOSTI NA POČTU OPAKOVÁNÍ SEPARACE, ZPRACOVÁNO DLE [47].....	55
TABULKA 3: KAPACITNÍ FAKTOR JEDNOTLIVÝCH TYPŮ ELEKTRÁREN, ZPRACOVÁNO PODLE [22].....	58
TABULKA 4: ORIENTAČNÍ HODNOTY VÝHŘEVNOSTI JEDNOTLIVÝCH TYPŮ PALIV, PŘEVZATO A UPRAVENO Z [57]	62
TABULKA 5: INVESTIČNÍ NÁKLADY, KAPACITNÍ FAKTOR A LCOE PRO ELEKTRÁRNY SPALUJÍCÍ FOSILNÍ PALIVA, VLASTNÍ TVORBA PODLE [43] [61].....	63
TABULKA 6: PROVOZNÍ FIXNÍ NÁKLADY PRO ELEKTRÁRNY SPALUJÍCÍ UHLÍ A ZEMNÍ PLYN, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PODLE [43]... ..	64
TABULKA 7: GHG EMISE PRO JEDNOTLIVÉ TYPY ELEKTRÁREN SPALUJÍCÍ FOSILNÍ PALIVA, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PODLE [64] ..	65
TABULKA 8: PODÍL JEDNOTLIVÝCH SUROVIN NA VÝROBĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE Z FOSILNÍCH PALIV V ROCE 2018, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ Z [27]	67
TABULKA 9: PRŮMĚRNÉ HODNOTY CAPEX, KAPACITNÍHO FAKTORU A LCOE PRO ROK 2015, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PODLE [43]	70
TABULKA 10: FIXNÍ A VARIABILNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PODLE [63] [70]	71
TABULKA 11: SROVNÁNÍ JE TEMELÍN A JE DUKOVANY, VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PODLE [74] [75]	73

Seznam zdrojů

- [1] Zákon č.17/1992 Sb., O životním prostředí. In: Sbírka zákonů č. 4/1992 Sb.
- [2] MASTNÝ, Petr a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937.
- [3] ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova*. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2006
- [4] KOČÍ, Vladimír. *Příručka základních informací o posuzování životního cyklu* [online]. Chrudim, 2010 [cit. 2019-07-04]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/pictures/download/lca%20prirucka.pdf>
- [5] GILLENWATER, Michael. *What is a global warming potential? And which one do I use?*. In: *Ghg management institut* [online]. 2010 [cit. 2019-09-6]. Dostupné z: https://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/?fbclid=IwAR06Z-FJtbanrruNRxXBV-r_17xh8A_uVhPqkvTdc0cTG-pwuZ99RAiC0Az8
- [6] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. [online]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012 [cit. 2019-09-6]. ISBN 978-1-107-02340-6. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/?fbclid=IwAR295cYoYRxdrMHqsy-7ZDcWwZRXNgzPVNa1Qikj-vpbKcB0153ZeR5y453o>
- [7] PESTLE analýza. MANAGEMENT MANIA [online]. MANAGEMENT MANIA, 2015 [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/pestle-analyza>
- [8] Obnovitelné zdroje energie: Získejte dotaci až 80 % na obnovitelné zdroje energie. PŘEHLED DOTACÍ [online]. PŘEHLED DOTACÍ, 2019 [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://www.prehleddotaci.cz/operacni-program/oppik/obnovitelne-zdroje-energie/>
- [9] KOČ, Břetislav. Z historie větrných elektráren. In: *ELEKTRO* [online]. 2005 [cit. 2018-12-1]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-vetrnych-elektren--13364>
- [10] ČEZ. *Obnovitelné zdroje energie: a možnosti jejich uplatnění v ČR* [online]. Praha: ČEZ, 2007 [cit. 2018-12-1]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>

- [11] SCHLAGER, Neil a Jayne WEISBLATT. *Alternative Energy: Volume 3*. Michigan: Thomson Gale. Alternative Energy, 2006. ISBN 0-7876-9442-8
- [12] *Renewable Power Generation Costs in 2018* [online]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019 [cit. 2019-08-10]. ISBN 978-92-9260-126-3. Dostupné z: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf
- [13] MILLBORROW, David. Breaking down the cost of wind turbine maintenance. In: *WINDPOWER MONTHLY* [online]. 2010 [cit.2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.windpowermonthly.com/article/1010136/breaking-down-cost-wind-turbine-maintenance>
- [14] STEHLÝ, Tyler a kol. *2016 Cost of Wind Energy Review* [online]. National Renewable Energy Laboratory, 2017 [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70363.pdf>
- [15] CHIPINDULA, Jesuina a kol. *Life Cycle Environmental Impact of Onshore and Offshore Wind Farms in Texas* [online]. Sustainability, 2018 [cit. 2019-09-3]. Dostupné z <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/2022/pdf>
- [16] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3
- [17] Česká společnost pro větrnou energii. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. 2019 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z <https://csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>
- [18] *STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. Praha: MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2014 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>
- [19] CHALUPA, Štěpán a David Hanslian. *Analýza větrné energetiky v ČR* [online]. Komora obnovitelných zdrojů energie, 2015 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: https://www.vlada.cz/assets/ppov/udrzitelny-rozvoj/vybory-rvur/KomoraOZE_analyza-potencial-OZE_dilci-VTE_log.pdf
- [20] VÍT, Petr. Vývoj využití vodní energie v MVE v Čechách. In: *Hydrotechnika.cz* [online]. 2013 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.hydrotechnika.cz/upload/hydrotechnika/docs/V%c3%bdvoj%20MVE.pdf>
- [21] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. In: *OENERGETICE.cz* [online]. 2016 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

- [22] *Renewable Power Generation Costs in 2017* [online]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2018 [cit. 2019-08-10]. ISBN 978-92-9260-040-2. Dostupné z: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf
- [23] GAGNON, Luc. *Energy Payback Ratio* [online]. Québec: Hydro-Québec, July 2005 [cit. 2019-09-6]. Dostupné z: http://tc4.iec.ch/FactSheetPayback.pdf?fbclid=IwAR0g_WPiq3nKt7RwZ7C-CqbMJa6hWuf8Ty-XQC9h3DMwImOintudijgCbQvA
- [24] *Environmental Impacts of hydroelectric Power*. In: *Union of Concerned Scientists* [online]. Union of Concerned Scientists [cit. 2019-09-6]. Dostupné z: https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html?fbclid=IwAR3ejXwMSZ12RJ-coZH1oCz814xFWFeBQfjxOCa_OCe8KpSnqzb-IOMw-Rws
- [25] SVOBODA, Jaromír a kol. Vědci popsali pět negativních vlivů elektráren na vodní toky. In: *Naše Voda* [online]. 12. 9. 2018 [cit. 2019-09-6]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/vedci-popsali-pet-negativnich-vlivu-elektraren-na-vodni-toky/>
- [26] WÁGNER, Vladimír. Nejvyžívanější obnovitelný zdroj světa. Vodní elektrárny jako důležitý zdroj u nás i ve světě. In: *OENERGETICE.cz*. [online]. 27. 8. 2018 [cit. 2019-09-06]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/nejvyuzivanejsi-obnovitelny-zdroj-sveta-vodni-elektrarny-jako-dulezity-zdroj-u-nas-i-ve-svete/?fbclid=IwAR1HCeCBHMAB7_xaI-ByChBtfP1WzYbsQbPnZH5bmFKX9C4gk8qEQAwXC2nk
- [27] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD (ERÚ). *Roční zpráva o provozu ES ČR 2018*. [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2019 [cit. 2019-09-06]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c
- [28] VOBOŘIL, David. Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. In: *OENERGETICE.cz* [online]. 6. 2. 2017 [cit. 2019-09-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [29] Following The Energy Trail With Biomass History. In: *Biomass.net* [online]. Biomass.net, 2016. [cit. 2019-09-11]. Dostupné z: <https://www.biomass.net/Biomass->

- [His-tory.html?fbclid=IwAR0hCxxaF1hLm7lIFro5kzlf8MwtMNUsRl7200O_gf6lt8J73-ImDpzaNuU](#)
- [30] SCHLAGER, Neil a Jayne WEISBLATT. *Alternative Energy: Volume 1*. Michigan: Thomson Gale, 2006. ISBN: 1-4414-0507-3.
- [31] ELUC. Spalování biomasy. In: *ELUC* [online]. Olomouc: ELUC, 2014 [cit. 2019-09-18]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2071>
- [32] The Advantages and Disadvantages of Biomass Energy. In: *RENEWABLE RESOURCES COALITION* [online]. 2016. [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: https://www.renewableresourcescoalition.org/biomass-energy-advantages-disadvantages/?fbclid=IwAR2BHjMUwoO_V_Vyw4xJep1106AhOEzzN-VHJla5J9o4J6uRqUUew7OqU9pA
- [33] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *AKČNÍ PLÁN PRO BIOMASU V ČR NA OBDOBÍ 2012-2020* [online]. Praha, 2012 [cit. 2019-09-21]. ISBN 978-80-7434-074-1. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/179051/APB_final_web.pdf
- [34] VICTORIA, C. The History Of Solar Power. In: *experience by simplicity* [online]. 29. 6. 2017 [cit. 2019-09-25]. Dostupné z: <https://www.experience.com/advice/careers/ideas/the-history-of-solar-power/?fbclid=IwAR0SLgU6MpZ29Xhs6dJK7MMpYpELu-FFJkLu18nbWDC2OEls67Xh6PxjsXs>
- [35] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny ČR. In: *OENERGETICE.cz* [online]. 16. 12. 2016 [cit. 2019-09-25]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/fotovoltacka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti?fbclid=IwAR0cmGN_x_EMZx6MAZYCEtKUdyEtqKwLBdAXzmqe-NOVsotl0ny8-Dbcag
- [36] GEVORKIAN, Peter. *SUSTAINABLE NERGY SYSTEMS ENGINEERING*. New York: The McGraw-Hill Companies, 2006. ISBN 978-0-07-14-73-59-0
- [37] AFEWORK, Bethel a kol. Types of photovoltaic cells. In: *ENERGY EDUCATION* [online]. 25. 6. 2018 [cit. 2019-09-25]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types_of_photovoltaic_cells?fbclid=IwAR3COyyWuYOZiKM9t2rnnvKQDxTAh0Q2uW_0ZuU-PyUclqfFhCQx3oZXU_NTE
- [38] SATTEL, Sam. How Solar Panels and Solar Electricity Works. In: *AUTODESK* [online]. 21. 9. 2017 [cit. 2019-09-29]. Dostupné z:

- https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/solar-panels-solar-electricity-works/?fbclid=IwAR1Wc_JE_TChg1TE-Tam2ggj3QIgbI3REb8Y3cu3jQMFkz8v6ldDiBnHj5TI
- [39] How CSP Works: Tower, Trough, Fresnel or Dish. In: *SolarPaces* [online]. 12. 6. 2018 [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: https://www.solarpaces.org/how-csp-works/?fbclid=IwAR3P0FthB6SG2AYAQjoW09k49_kTy-NyqT3p2S7_vB6dvzLmE3UuOFB9Mh10
- [40] NATH, Trevir. The Economics Of Solar Power. In: *Investopedia* [online]. 25. 6. 2019 [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/articles/investing/061115/economics-solar-power.asp>
- [41] What Are The Operation Costs Of A Solar Panel System?. In: *POWER FROM SUNLIGHT* [online]. 21.6.2017 [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.powerfromsunlight.com/operational-costs-solar-panel-system/>
- [42] *BUDGETING FOR SOLAR PV PLANT OPERATIONS AND MAINTENANCE: PRACTICES AND PRICING* [online]. California: Electric Power Research institute, 2015 [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2016/160649r.pdf>
- [43] Annual Technology Baseline. *Annual Technology Baseline* [online]. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2017 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <https://atb.nrel.gov/electricity/2017/index.html?t=in>
- [44] Environmental Impacts of Solar Power. In: *Union of Concerned Scientists* [online]. 5.3.2013 [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html#bf-toc-3
- [45] How it Works: Water for Power Plant Cooling. In: *Union of Concerned Scientists* [online]. 15.7.2013 [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/clean-energy/energy-and-water-use/water-energy-electricity-cooling-power-plant#.XFNP21xKiUk>
- [46] NUNEZ, Christina. *How Green Are Those Solar Panels, Really?* [online]. In: . National Geographic, 11.11.2014 [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/news/energy/2014/11/141111-solar-panel-manufacturing-sustainability-ranking/>
- [47] *GEOHERMAL POWER: TECHNOLOGY BRIEF* [online]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2017 [cit. 2019-10-11]. ISBN 978-92-9260-036-5.

- Dostupné z: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_Geothermal_Power_2017.pdf
- [48] DŘÍMAL, Petr. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. Brno: Code Creator, 2016 [cit. 2019-10-11]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/03.html>
- [49] KENNY, R. a kol. *Towards real energy economics: Energy policy driven by life-cycle carbon emission* [online]. Canada, Kingston: Elsevier, 2009 [cit. 2019-10-12]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301421509009288?to-ken=37E46F4E3F444B0E3943777635A4B1CBD16FBBFABCF8214FB358D00D1E2490490E62FDF852FCA5E3D8D512A26FCDEC22>
- [50] *Environmental Impacts of Geothermal Energy* [online]. In: . Union of Concerned Scientists, 2013 [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-geothermal-energy>
- [51] *RINGEN: Výzkumná infrastruktura* [online]. 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.rin-gen.cz/cz/>
- [52] NEWMAN, Nicolas. The history of fossil fuels. In: *Eniday* [online]. 2017 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: https://www.eniday.com/en/education_en/rise-fall-fossil-fuels/
- [53] PRVNÍ ELEKTRÁRNY. In: *EnergyWeb* [online]. energyWeb, 2006 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.5.2
- [54] KOPP, Otto C. Coal: FOSSIL FUEL. In: *ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA* [online]. ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/coal-fossil-fuel>
- [55] BUDÍN, Jan. Ropa - vlastnosti, rozdělení a obchodování. In: *OENERGETICE.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/ropa-vlastnosti-rozdeleni-a-obchodovani>
- [56] BUDÍN, Jan. Zemní plyn - těžba, vlastnosti a rozdělení. In: *OENERGETICE.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni>
- [57] Výhřevnost. In: *SKUPINA ČEZ* [online]. © Copyright Simopt, 2007 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykla-dovy-slovník-energetiky/hesla/vyhrevnost.html>

- [58] Elektrárny na fosilní paliva. In: *EnviWeb* [online]. EnviWeb, 2009 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/79311>
- [59] VOBOŘIL, David. Paroplynová elektrárna – princip funkce. In: *OENERGETICE.cz* [online]. OENERGETICE.cz, 2015 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/paroplynova-elektrarna-princip-funkce/>
- [60] Electricity Generation from Fossil Fuels. In: *Electropaedia* [online]. Electropaedia [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: https://www.mpoweruk.com/fossil_fuels.htm
- [61] Electric Power Monthly. In: *Eia* [online]. U.S. Energy Information Administration, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_6_07_b
- [62] Basic economics of power generation, transmission and distribution. In: *E-education* [online]. PennState, 2018 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/eme801/node/530>
- [63] Breakdown of operating costs for nuclear, coal and gas generation. In: *WORLD NUCLEAR ASSOCIATION* [online]. Nuclear Energy Institute, 9.1.2017 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/gallery/nuclear-power-economics-and-project-structuring-re/breakdown-of-operating-costs-for-nuclear,-coal-and.aspx>
- [64] © INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2014. *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change* [online]. New York: Cambridge University Press, 2014 [cit. 2019-10-23]. ISBN 978-1-107-05821-7. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- [65] The Hidden Costs of Fossil Fuels: The true costs of coal, natural gas, and other fossil fuels aren't always obvious—but their impacts can be disastrous. In: *Union of Concerned Scientists* [online]. Cambridge: Union of Concerned Scientists, 2008 [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/resources/hidden-costs-fossil-fuels>
- [66] Outline History of Nuclear Energy. In: *WORLD NUCLEAR ASSOCIATION* [online]. WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2019 [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx>
- [67] Nuclear Power Reactors. In: *WORLD NUCLEAR ASSOCIATION* [online]. WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2018 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>

- [68] DOLEŽAL, Jaroslav a spol. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.
- [69] Economics of Nuclear Power. In: *WORLD NUCLEAR ASSOCIATION* [online]. WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2019 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>
- [70] *Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants* [online]. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration, 2016 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/cap-cost_assumption.pdf
- [71] Nuclear explained: Nuclear power and the environment. In: *Eia* [online]. Washington DC.: U.S. Energy Information Administration, 2019 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-and-the-environment.php>
- [72] VYHOŘELÉ PALIVO. In: *Cez.cz* [online]. ČEZ, 2007 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/palivo_4.html
- [73] KIVI, Rose. How Does Nuclear Energy Affect the Environment? In: *SCIENCING* [online]. SCIENCING, 2018 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://scien-cing.com/nuclear-energy-affect-environment-4566966.html>
- [74] HISTORIE A SOUČASNOST ELEKTRÁRNY TEMELÍN. ČEZ [online]. ČEZ, 2016 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/ete/historie-a-soucasnost>
- [75] HISTORIE A SOUČASNOST EDU. ČEZ [online]. ČEZ, 2016 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu/historie-a-soucasnost>