

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2023**

**ŠTĚPÁN  
ŠRENK**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šrenk** Jméno: **Štěpán** Osobní číslo: **501404**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Emise CO<sub>2</sub> při provozu elektromobilu**

Název bakalářské práce anglicky:

**CO<sub>2</sub> emissions from operation of electric vehicles**

Pokyny pro vypracování:

- 1) zpracování literární rešerše, která bude obsahovat rozbor energetických mixů s ohledem na výrobu elektrické energie v ČR a dvou dalších vybraných státech, kde dominují obnovitelné a fosilní zdroje energie, a informace o palivových vlastnostech používaných fosilních paliv v ČR.
- 2) vytvoření výpočtové metody pro určení měrné emise CO<sub>2</sub> při výrobě jednotkového množství elektrické energie z fosilních zdrojů, respektující jednotlivé energetické zdroje a účinnosti přeměn primárního paliva na elektrickou energii. Určení měrné emise CO<sub>2</sub> u spalovacích motorů.
- 3) výběr odpovídajících osobních vozů v kategorii malých vozů a střední třídy s elektrickým a spalovacím pohonem, rešerše publikovaných výsledků týkajících se reálných spotřeby, určení emisního faktoru CO<sub>2</sub> pro spalovací motory a elektrické pohony s respektováním příslušných energetických mixů.
- 4) diskuse výsledků, odhad snížení emise CO<sub>2</sub> při provozu elektromobilu domácím dobíjením z FVE.

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Jan Hrdlička, Ph.D. ústav energetiky FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **17.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **02.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2024**

prof. Ing. Jan Hrdlička, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně výhradně s využitím uvedených informačních zdrojů a postupoval jsem v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Dne .....

.....

Štěpán Šrenk

# Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Štěpán Šrenk
<b>Název BP:</b>	Emise CO <sub>2</sub> při provozu elektromobilu
<b>Anglický název:</b>	CO <sub>2</sub> emissions from operation of electric vehicles
<b>Akademický rok</b>	2022/2023
<b>Ústav:</b>	Ústav energetiky
<b>Vedoucí BP:</b>	prof. Ing. Jan Hrdlička, Ph.D.
<b>Bibliografické údaje:</b>	
<b>Počet stran:</b>	44
<b>Počet obrázků:</b>	17
<b>Počet tabulek:</b>	32
<b>Počet příloh:</b>	0
<b>Klíčová slova:</b>	CO <sub>2</sub> , elektromobil, emise, oxid uhličitý
<b>Keywords:</b>	CO <sub>2</sub> , electric vehicle, emissions, carbon dioxide
<b>Anotace:</b>	Tato práce se zabývá emisemi CO <sub>2</sub> při provozu elektromobilu. Emise CO <sub>2</sub> při provozu jsou vypočteny na základě využívaných zdrojů elektrické energie pro tři vybrané státy (ČR, Polsko, Norsko). Emise CO <sub>2</sub> elektromobilu jsou porovnány s emisemi automobilu se spalovacím motorem a také s variantou nabíjení elektromobilu z domácí fotovoltaické elektrárny.
<b>Abstract:</b>	This thesis deals with the CO <sub>2</sub> emissions from operation of electric vehicles. The CO <sub>2</sub> emissions are calculated based on the electricity sources used in three selected countries (Czech Republic, Poland, Norway). The CO <sub>2</sub> emissions of electric cars are compared with the emissions of cars with an internal combustion engine and with the variant of charging an electric car from a rooftop photovoltaic powerplant at home.

# Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce prof. Ing. Janu Hrdličkovi, Ph.D. za jeho vedení, čas a rady, díky kterým mohla být bakalářská práce dokončena.

# Obsah

Čestné prohlášení.....	3
Anotační list.....	4
Poděkování.....	5
Obsah.....	6
1. Úvod.....	8
2. Zdroje elektrické energie v České republice.....	9
2.1 Hnědé uhlí.....	10
2.2 Černé uhlí.....	11
2.3 Zemní plyn.....	11
2.4 Biomasa.....	12
2.5 Bioplyn.....	12
2.6 Bezemisní zdroje.....	13
3. Zdroje elektrické energie v Norsku.....	14
4. Zdroje elektrické energie v Polsku.....	16
5. Technologie výroby elektřiny z fosilních zdrojů.....	18
5.1 Uhelné kondenzační elektrárny.....	18
5.2 Paroplynové elektrárny.....	19
5.3 Účinnost elektráren využívajících fosilní zdroje.....	20
6. Pístové spalovací motory.....	21
6.1 Zážehové motory.....	21
6.2 Vznětové motory.....	21
7. Elektromobily.....	22
7.1 Elektromotor.....	22
7.2 Baterie.....	22
7.3 Nabíjení elektromobilů.....	24
8. Složení fosilních paliv.....	25
9. Výpočet spalovacího procesu.....	27
9.1 Dokonalé spalování tuhých a kapalných paliv.....	28
9.2 Dokonalé spalování plyných paliv.....	29
9.3 Emisní faktor paliv.....	29
9.4 Emise $CO_2$ při výrobě elektrické energie.....	30

10. Porovnání elektromobilů a automobilů se spalovacími motory .....	31
10.1 Parametry automobilů .....	31
10.2 Spotřeba automobilů.....	32
10.3 Výpočet emise $CO_2$ elektromobilů.....	33
10.4 Výpočet emise $CO_2$ automobilů se spalovacími motory.....	34
10.5 Porovnání emisí $CO_2$ automobilů.....	34
11. Nabíjení elektromobilu z domácí fotovoltaické elektrárny.....	35
12. Závěr .....	38
13. Zdroje.....	39
Seznam obrázků .....	42
Seznam tabulek .....	43

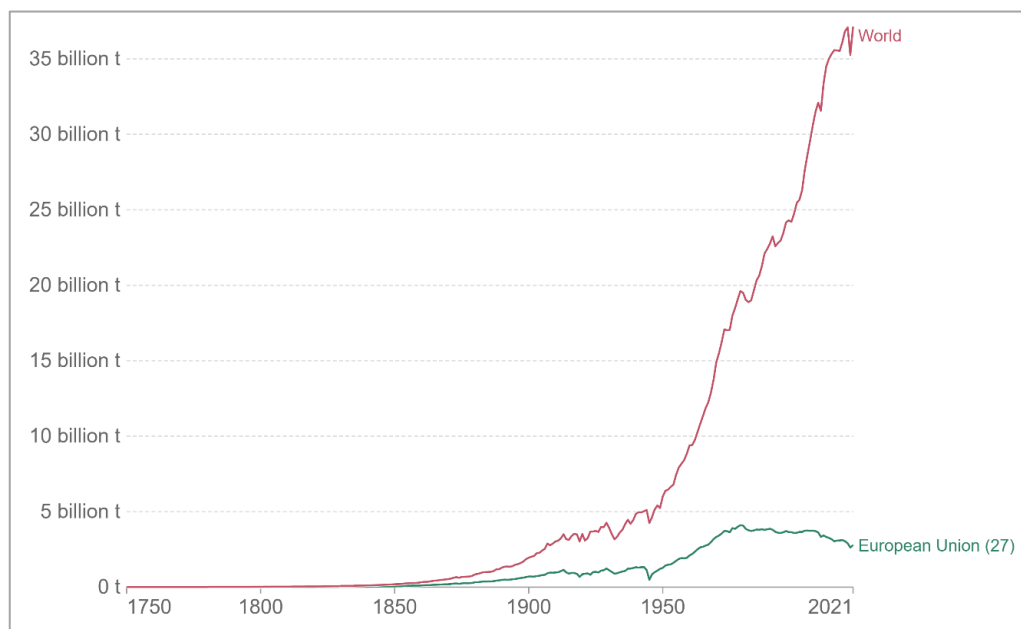
# 1. Úvod

Emise  $\text{CO}_2$  jsou dnes velmi diskutovaným tématem a snaha o snížení jejich produkce zasahuje do mnoha odvětví průmyslu včetně automobilové dopravy. V únoru roku 2023 byl evropským parlamentem schválen zákon zakazující prodej nových automobilů vypouštějících emise oxidu uhličitého od roku 2035, který znemožní prodej benzinových a naftových automobilů se spalovacím motorem. Zákaz má přispět k dosažení uhlíkové neutrality Evropské unie do roku 2050 (uhlíková neutralita je rovnováha mezi emisemi uhlíku a jeho pohlcováním z atmosféry). Tato opatření povedou k nahrazení vozidel na fosilní paliva převážně elektromobily, které jsou dnes ze všech alternativ nejvýhodnější. [1], [2]

Cílem práce je porovnat emise oxidu uhličitého vzniklé při provozu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. Celkovou uhlíkovou stopu automobilu netvoří jen emise vzniklé při provozu, ale například i výroba automobilu a jeho likvidace (recyklace), kterou ale v této práci neuvažujeme.

U spalovacích motorů vznikají emise  $\text{CO}_2$  přímo v motoru vozidla při spalování uhlovodíkových paliv. Emise  $\text{CO}_2$  při provozu elektromobilu vznikají při výrobě elektrické energie, kterou je elektromobil poháněn. Podíl jednotlivých zdrojů na výrobě elektrické energie (energetický mix), a tedy i množství produkovaných emisí se pro různé státy výrazně liší. Proto budou emise porovnány pro 3 státy s rozdílným zastoupením zdrojů v energetickém mixu (Polsko, Česká republika a Norsko).

## Vývoj roční produkce emisí $\text{CO}_2$

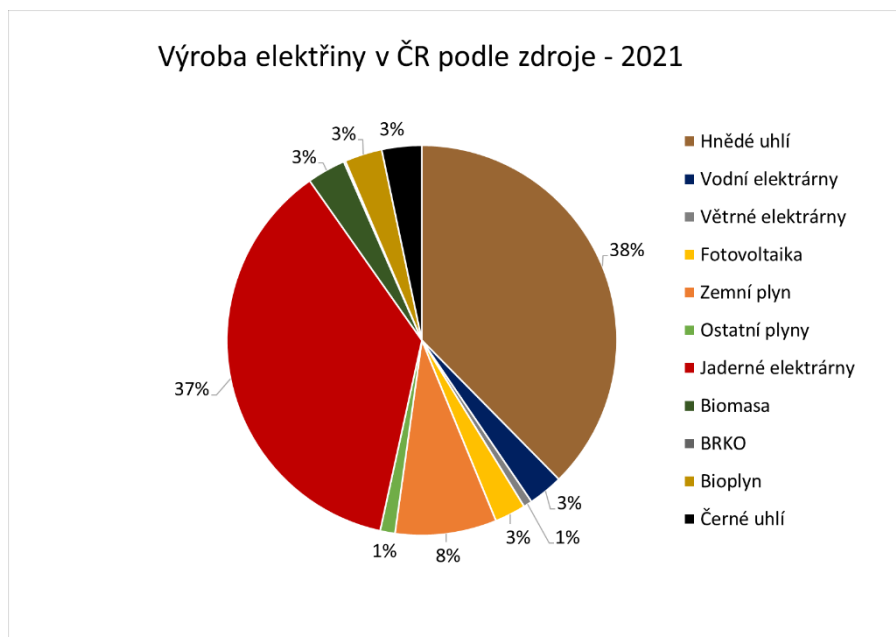


Obr. 1 – Vývoj roční produkce emisí  $\text{CO}_2$ [3]



## 2. Zdroje elektrické energie v České republice

Dominantními zdroji elektrické energie v České republice jsou uhlí a jaderné elektrárny, které dohromady z výroby elektřiny v roce 2021 pokryly téměř 80 % (obrázek 2). Zemní plyn měl na výrobě podíl zhruba 8 %. Podíl obnovitelných zdrojů je kolem 13 % procent z celkové výroby. Dále jsou popsány jednotlivé zdroje a jejich význam pro českou energetiku.

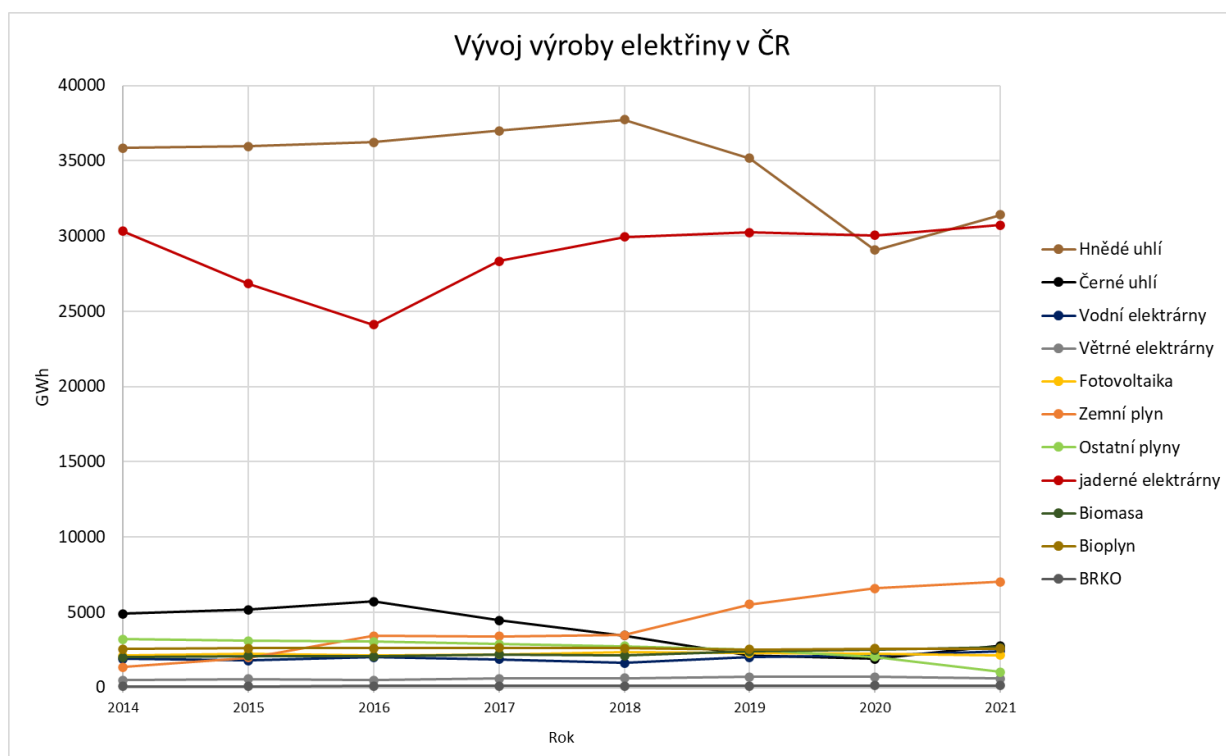


Obr. 2 – Výroba elektřiny v ČR podle zdroje – 2021[4]

### Výroba elektřiny v ČR podle zdroje – 2021

Zdroj	Výroba elektřiny v roce 2021 [GWh]	Podíl na celkové výrobě [%]
Hnědé uhlí	31 407	38
Černé uhlí	2 762	3
Vodní elektrárny	2 409	3
Větrné elektrárny	602	1
Fotovoltaika	2 153	3
Zemní plyn	7 019	8
Ostatní plyny	1 027	1
Jaderné elektrárny	30 731	37
Biomasa	2 665	3
Bioplyn	2 592	3
BRKO	127	0

Tabulka 1 - Výroba elektřiny v ČR podle zdroje – 2021 [4]



Obr. 3 – Vývoj výroby elektřiny v ČR [4]

## 2.1 Hnědé uhlí

I přesto, že se Česká republika v rámci Evropské unie zavázala ke snižování emisí  $\text{CO}_2$ , je hnědé uhlí stále hlavním zdrojem energie v ČR. Výroba v hnědouhelných elektrárnách v roce 2021 představovala 38 % z celkové výroby elektrické energie. Využití uhelných zdrojů by mělo v budoucnu klesat a jejich podíl na celkové výrobě by se měl dle Státní energetické koncepce do roku 2040 snížit na hodnotu 11 až 21 %.

Hnědé uhlí se těží v oblasti Mostecké a Sokolovské pánve. V České republice těží hnědé uhlí čtyři společnosti: Severní energetická a.s. a Vršanská uhelná a.s. (skupina Sev.en Energy), Severočeské doly a.s. (skupina ČEZ) a Sokolovská uhelná a.s. (Skupina Sokolovská uhelná). V tabulce 2 jsou uvedeny nejvýznamnější hnědouhelné elektrárny v České republice. [5]–[8]

## Hnědouhelné elektrárny v ČR s instalovaným elektrickým výkonem nad 100 MW

	Instalovaný elektrický výkon [MW]	Provozovatel	Zdroj uhlí
Elektrárna Počerady	1000	Sev.en Energy AG	Lom Vršany, Lom ČSA (Czech Coal)
Elektrárna Chvaletice	820	Sev.en Energy AG	
Elektrárna Prunéřov II	750	ČEZ	Lom Nástup-Tušimice (Severočeské doly a.s.)
Elektrárna Tušimice II	800	ČEZ	
Elektrárna Mělník I	240	ČEZ	Severočeské doly a.s.
Elektrárna Mělník II	220	ČEZ	Severočeské doly a.s.
Elektrárna Ledvice	660	ČEZ	Doly Bílina (Severočeské doly a.s.)
Elektrárna Poříčí II	165 (asi 18 % vyrobené energie je z biomasy)	ČEZ	Severočeské doly a.s.
Elektrárna Hodonín	105	ČEZ	Severočeské doly a.s.
Elektrárna Opatovice	378	EPH	Severočeské doly a.s., Mibrag (EPH)

Tabulka 2-Hnědouhelné elektrárny v ČR [5], [6], [9]–[11]

## 2.2 Černé uhlí

Černé uhlí patří v České republice k tradičním zdrojům energie. V současnosti se černé uhlí těží pouze v oblasti Ostravsko-karvinské pánve, která je součástí Hornoslezské pánve (z většiny ležící na území Polska). Jediným producentem černého uhlí v České republice je těžební firma OKD. [12]

Největší a současně jedinou funkční černouhelnou elektrárnou v ČR je elektrárna Dětmarovice, uvedená do provozu v roce 1998 a v současnosti provozovaná společností ČEZ. Elektrárna má instalovaný výkon 600 MW a využívá černé uhlí z Ostravsko-karvinské pánve, kterého spotřebuje v průměru 4800 tun za den. V roce 2021 byl podíl černého uhlí na výrobě elektřiny zhruba 3 %. [5]

## 2.3 Zemní plyn

Na území České republiky se nenacházejí žádná větší ložiska zemního plynu. Velmi malá ložiska se nacházejí v oblasti severní a jižní Moravy a jsou téměř vždy vázána na ložiska ropy. Česká republika je tedy závislá na importu zemního plynu ze zahraničí. Spotřeba zemního plynu k výrobě elektřiny je ale velmi malá a pohybuje se v řádu desetin procent z celkové spotřeby. [8]

Ze zemního plynu se v České republice v roce 2021 vyrobilo 7 019 GWh elektrické energie (asi 8% celkové výroby). Hlavní podíl na výrobě ze zemního plynu má paroplynový cyklus v areálu Elektrárny Počerady (ČEZ) s instalovaným výkonem 838 MW.

Dalším zdrojem je Paroplynová elektrárna Vřesová (Sokolovská uhelná), která byla prvním paroplynovým cyklem v ČR. Elektrárna má instalovaný výkon 400 MW. [4], [13]

## Elektrárny na zemní plyn v ČR

	Instalovaný výkon [MW]	Účinnost [%]	Provozovatel
Paroplynový cyklus Počerady	838	57,4	ČEZ
Paroplynová elektrárna Vřesová	400	54,5	Sokolovská uhelná

Tabulka 3-Elektrárny na zemní plyn v ČR [4], [13], [14]

## 2.4 Biomasa

Biomasa má z obnovitelných zdrojů energie největší podíl na výrobě elektřiny v České republice. Využití biomasy pro účely této práce znamená spalování dřeva a rostlinné hmoty k výrobě elektřiny. Elektřinu z biomasy v ČR produkuje elektrárna Poříčí (ČEZ), Elektrárna Hodonín (ČEZ) a Energetické centrum Jindřichův Hradec (ČEZ). V tabulce 4 je uvedena výroba elektřiny z jednotlivých typů biomasy (statistika nezahrnuje výrobu v domácnostech). [5], [15]

### Výroba elektřiny z biomasy podle jejich typů v roce 2021

Palivo	Hrubá výroba elektřiny [MWh]	Spotřeba paliva [t]
Palivové dřevo	77	47,4
Dřevní štěpka/odpad	1 430 218,9	1 377 328,1
Celulózové výluhy	888 974,3	506 832,8
Rostlinné materiály	104 901,7	104 318,2
Brikety a pelety	239 219,9	146 416,7
Kapalná Biopaliva	1 200,9	270,6
Celkem	2 664 592,7	2 135 213,6

Tabulka 4-Výroba elektřiny z biomasy [15]

## 2.5 Bioplyn

Bioplyn vzniká při anaerobní digesti organických látek a je tvořen převážně metanem ( $\text{CH}_4$ ) a oxidem uhličitým ( $\text{CO}_2$ ). Je produkován v bioplynových stanicích, které zpracovávají kaly z komunálních i průmyslových čističek odpadních vod, zemědělský odpad a komunální bioodpad. Bioplynových stanic je v České republice více než 500 a často jsou využívány jako lokální zdroje. Elektrická energie se vyrábí společně s teplem v kogeneračních jednotkách, kde bioplyn slouží jako palivo. [8], [16]

## 2.6 Bezemisní zdroje

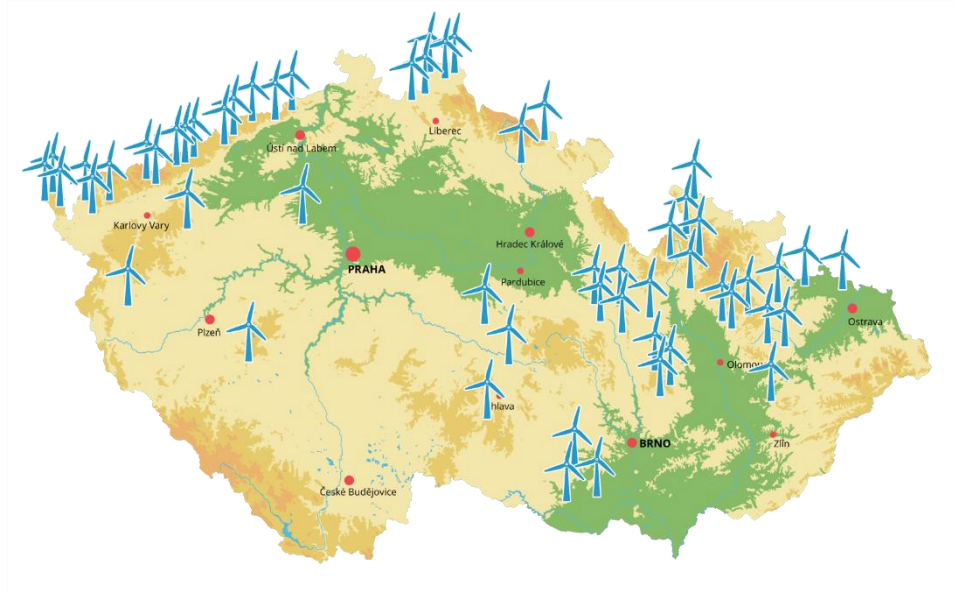
Jako bezemisní označujeme zdroje energie, které jsou CO<sub>2</sub> neutrální. V České republice jsou zastoupeny jadernými, vodními, solárními a větrnými elektrárnami. Bezemisní zdroje tvoří zhruba polovinu produkce elektrické energie v České republice.

Jaderné elektrárny v ČR mají na výrobě elektřiny podíl téměř 40 % a jsou tak největším bezemisním zdrojem. Žádný jiný energetický zdroj není schopen pokrýt rostoucí nároky na energii bez zatěžování životního prostředí emisemi CO<sub>2</sub> a proto se předpokládá využití jaderných elektráren i v budoucnu. V České republice je v provozu Jaderná elektrárna Temelín (ČEZ) o výkonu 2110 MW a Jaderná elektrárna Dukovany (ČEZ) o výkonu 2040 MW. [5]

Vodní elektrárny jsou nejméně škodlivé k životnímu prostředí, ale jejich podíl na výrobě elektřiny je v ČR pouze kolem 3 %. Mezi největší vodní elektrárny v ČR patří Orlická (364 MW), Slapy (144 MW) a Lipno (120 MW). Na našem území jsou v provozu také tři přečerpávací vodní elektrárny. Jejich výroba ale není v této práci zahrnuta, protože plní funkci spíše akumulací a využívají se pro pokrytí energetických špiček. [8]

Fotovoltaické elektrárny vyrábějí v ČR zhruba 3 % elektrické energie. Elektřina se vyrábí v solárních parcích (fotovoltaické elektrárny s výkonem nad 500 kWp), ale i pomocí fotovoltaických panelů instalovaných ve stovkách firem a domácností. [8]

Větrné elektrárny vyrábějí elektrickou energii pomocí proudícího vzduchu, který roztáčí turbínu. K provozu je potřeba průměrná rychlost vzduchu alespoň 6 m/s, která není v České republice na mnoha místech. Některé z vhodných oblastí, jako jsou Krušné hory nebo Českomoravská vrchovina, jsou navíc chráněnými oblastmi. Proto je výroba elektřiny z větrných elektráren v ČR jen kolem 1 % z celkové produkce. [8]

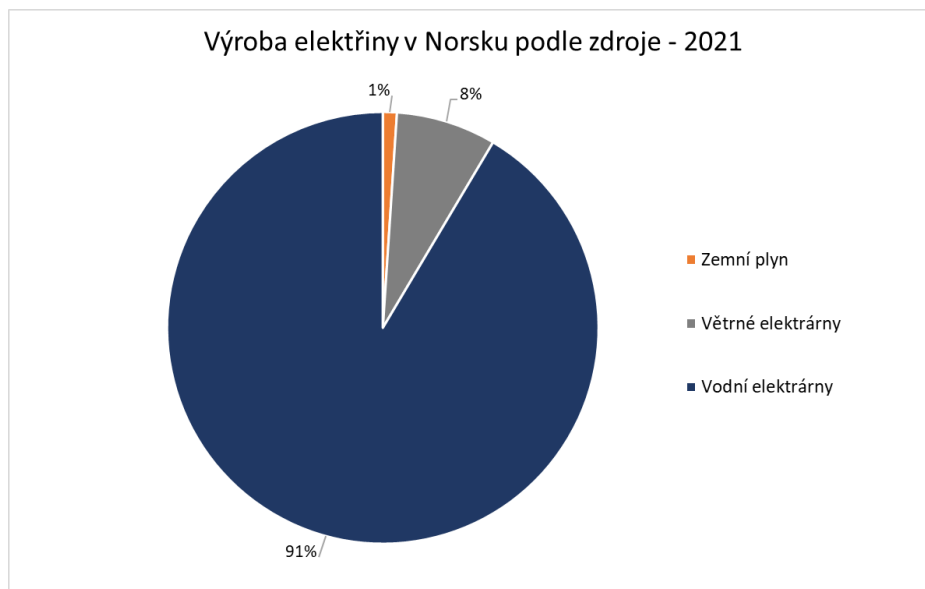


Obr. 4 – Mapa větrných elektráren na území ČR - 2020 [17]

### 3. Zdroje elektrické energie v Norsku

Stěžejním zdrojem elektrické energie jsou v Norsku vodní elektrárny, které v roce 2021 vyprodukovaly 91 % elektřiny. Význam energie z vodních děl roste v Norsku od 19. století, kdy se začala ve velkém využívat energie z řek a vodopádů. Díky tomu patří Norsko k zemím s nejvyšším podílem obnovitelných zdrojů nejen v Evropě, ale i ve světě. K celkové produkci elektřiny přispívá i energie z větrných elektráren jejíž podíl za poslední desetiletí výrazně stoupl (obrázek 6).

Norsko je jedním z hlavních producentů ropy a zemního plynu v západní Evropě, ale jen velmi malou část využívá k produkci elektřiny. Většina norského zemního plynu napájí pobřežní vrtné plošiny. Zhruba 1 % elektrické energie se vyrábí ze zemního plynu v paroplynovém cyklu elektrárny Mongstad s účinností až 70 %. Elektrárna Mongstad měla být vyřazena z provozu za účelem snížení emisí CO<sub>2</sub> stejně jako další již vyřazené tepelné elektrárny. Ukončení provozu elektrárny ale bylo již několikrát odloženo, naposledy pro nedostatek vody v nádržích po suchém jaru a zimě v roce 2022. V roce 2009 bylo zprovozněno Technology Centre Mongstad (TCM), jehož hlavním cílem byl vývoj systému pro zachycování a ukládání CO<sub>2</sub> z elektrárny. Dnes je TCM největším světovým střediskem pro testování technologie CCS (Carbon capture and storage), která zachycuje až 90 % emisí CO<sub>2</sub> z elektrárny Mongstad. [18]–[21]

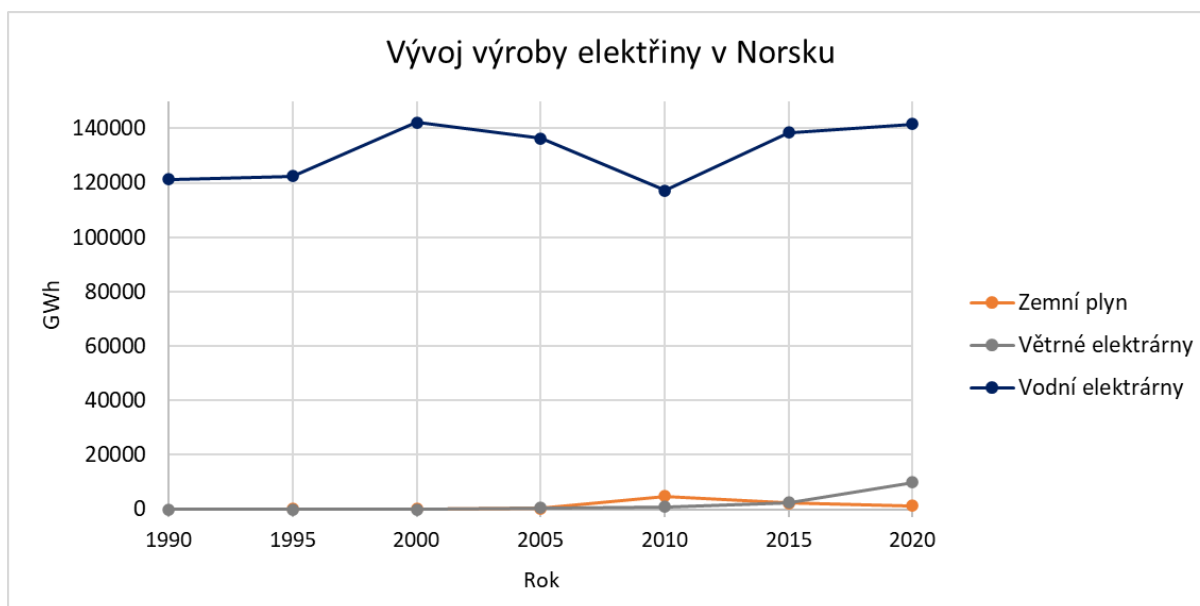


Obr. 5 – Výroba elektřiny v Norsku podle zdroje [22]

## Výroba elektřiny podle zdroje v Norsku-2021

Zdroj	Výroba elektřiny v roce 2020 [GWh]	Podíl na celkové výrobě [%]
Zemní plyn	1 646	1
Vodní elektrárny	143 699	91
Větrné elektrárny	11 768	8

Tabulka 5- Výroba elektřiny podle zdroje v Norsku-2021 [23]



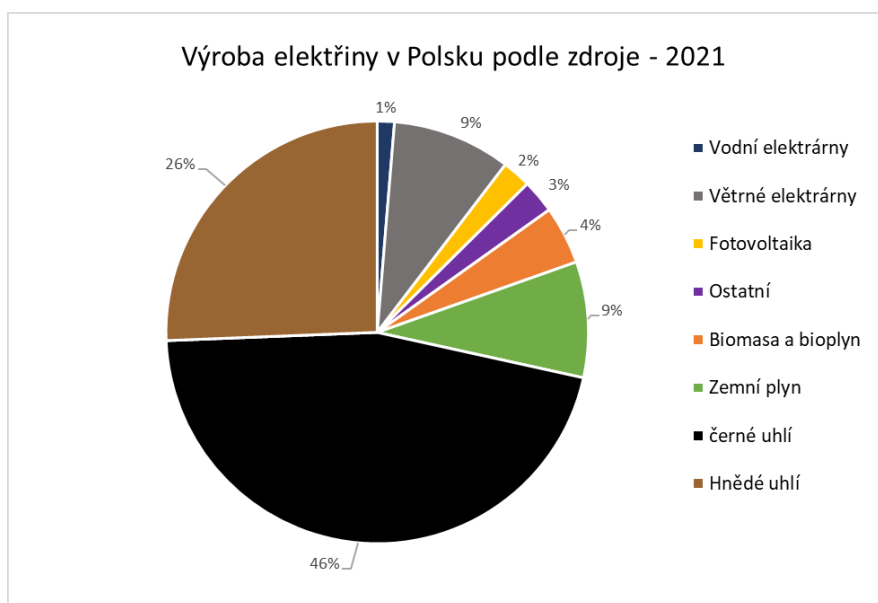
Obr. 6 – Vývoj výroby elektřiny v Norsku [22]

## 4. Zdroje elektrické energie v Polsku

Přes 70 % elektrické energie pochází v Polské republice z uhelných zdrojů. Polsko má v porovnání s ostatními evropskými státy významné zásoby uhlí a černé uhlí je stále nejdůležitějším energetickým zdrojem, jak z historických důvodů, tak s ohledem na stávající energetickou infrastrukturu. Většina Polských uhelných elektráren je ale zastaralá a má nízkou účinnost. Elektrárny, s provozem kratším než deset let, tvoří jen 10 % a 57 % uhelných elektráren je starších 30 let (2019). Zastaralé elektrárny jsou postupně vyřazovány z provozu a jejich produkce je nahrazována výstavbou nových elektráren jako jsou Kozienice, Opole nebo Jaworzno III. Polsko je proto jednou z několika zemí Evropské unie, u kterých se dle Pařížské dohody nepočítá s vyřazením uhelných elektráren z provozu do roku 2030. Program uhelného sektoru, podporovaný státem, počítá i v roce 2030 se 40 % produkce elektřiny z uhlí. [24]

Zemní plyn se podílí na výrobě elektřiny 9 % a teoreticky by mohl být ekologicky i ekonomicky výhodnou náhradou pevných paliv. Více než 2/3 zemního plynu jsou ale do Polska importovány, a proto se, ve snaze o energetickou soběstačnost, nepočítá s dlouhodobým řešením energetiky založeném na zemním plynu. [24]

Z obnovitelných zdrojů elektrické energie jsou v Polsku nejvíce zastoupeny větrné elektrárny, přestože jejich rozvoj na několik let zkomplikoval zákon schválený v roce 2016. Dle tohoto zákona, známého jako 10 H, museli být nové větrné elektrárny postaveny ve vzdálenosti větší, než desetinásobek jejich výšky od ostatních budov nebo lesů. Nebylo tak možné stavět větrné elektrárny na 99 % polské pevniny a růst jejich instalovaného výkonu se na několik let výrazně zpomalil. V roce 2022 byla schválena liberalizace zákona 10 H, díky které by měl instalovaný výkon onshore větrných elektráren dosáhnout 13-14 GW v roce 2030 a celkový potenciál překročit 44 GW. V příštích letech je také plánovaná rozsáhlá výstavba offshore větrných elektráren v Baltském moři. [25]



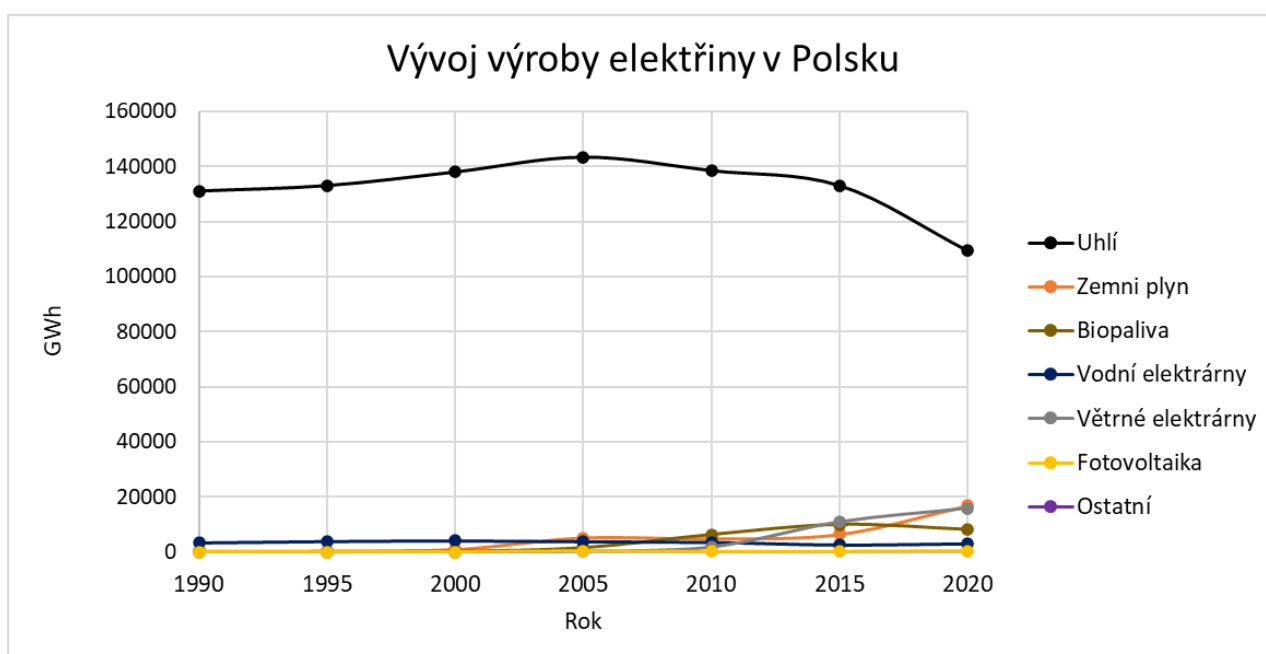
Obr. 7 – Výroba elektřiny v Polsku podle zdroje - 2021 [22]



### Výroba elektřiny podle zdroje v Polsku -2021

Zdroj	Výroba elektřiny v roce 2020 [GWh]	Podíl na celkové výrobě [%]
Vodní elektrárny	2 339	1
Větrné elektrárny	16 234	9
Fotovoltaika	3 934	2
Biomasa a bioplyn	7 954	4
Zemní plyn	15 848	9
Černé uhlí	82 143	46
Hnědé uhlí	45 834	26
Ostatní	4 583	3

Tabulka 6 - Výroba elektřiny podle zdroje v Polsku-2021 [26]



Obr. 8 – Vývoj výroby elektřiny v Polsku [22]

## 5. Technologie výroby elektřiny z fosilních zdrojů

Jak již bylo řečeno, emise CO<sub>2</sub> při výrobě elektrické energie jsou produkovány fosilními zdroji. Na výsledné množství emisí má kromě zastoupení fosilních zdrojů v energetickém mixu vliv také technologie a účinnost přeměny paliv, které jsou popsány v následující kapitole.

### 5.1 Uhelné kondenzační elektrárny

Uhelné kondenzační elektrárny přeměňují chemickou energii vázanou v uhlí na energii elektrickou. Jednou z využívaných technologií je drčení uhlí na prášek, který odpovídá požadavkům kotle a hořáků. Takto upravené palivo se dále dopravuje pomocí přehřátého tlakového vzduchu do kotle, kde je spalováno.

Do kotle je přiváděna napájecí voda, která se mění na páru o potřebných parametrech. Konstrukce kotlů se liší podle druhu spalovaného paliva a parametrů páry. Moderní kotle pracují při teplotách páry nad 550 °C a tlacích nad 23 MPa. Teplota v ohništi dosahuje 1500 °C.

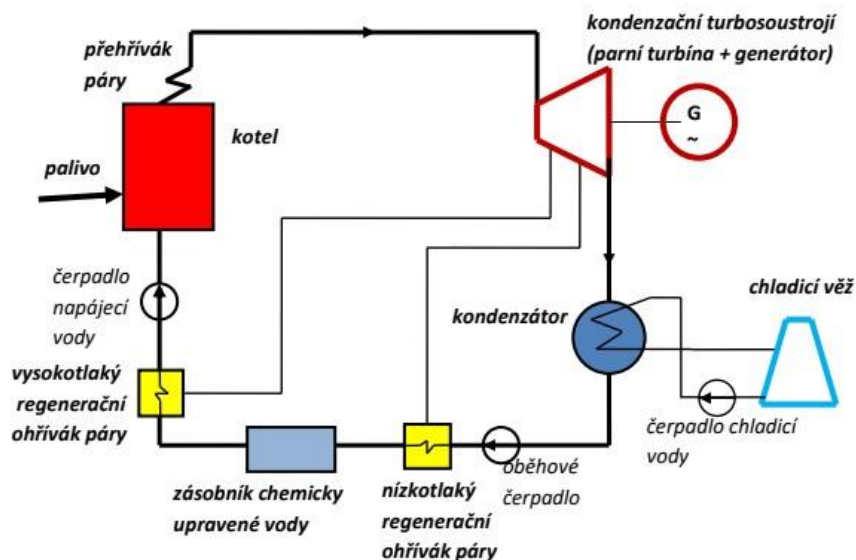
Pára se vyrábí z napájecí vody, která se přivádí z vodního toku nebo nádrže. Napájecí voda a kondenzát jsou čerpány oběhovými čerpadly. Voda je před vstupem do kotle zbavena nečistot, rozptýlených organických látek a rozpuštěných solí a minerálů, kvůli zamezení vzniku kotelního kamene. Napájecí voda ale není nikdy zcela zbavena solí, které se po vypaření usazují v kotli a mohou následně způsobit zasolení turbíny. Z tohoto důvodu se kotelní voda neustále odpouští.

Přeměna energie akumulované v páře na energii mechanickou probíhá v turbíně, kde pára expanduje a roztáčí rotor turbíny. Vzniklá mechanická práce odpovídá rozdílu (poklesu) entalpie páry na vstupu a výstupu z turbíny. Turbíny pracují s mechanickou účinností okolo 95 %. Velikost turbíny se odvíjí od požadovaných hodnot tlaku páry. Turbína je hřídelí spojena s alternátorem, který vyrábí elektrickou energii.

Pára vycházející z turbíny se mění zpět na vodu v kondenzátoru, kde je zbytková tepelná energie páry odvedena chladicí vodou do chladicí věže. Kondenzátory jsou buď směšovací, ve kterých se mísí voda s párou, nebo povrchové, kde chladicí voda proudí kolem trubek s párou. Zkondenzovaná pára s teplotou kolem 30 °C je dále čerpána zpět do kotle. Chladicí voda se rozprašuje v chladicích věžích a čerpá zpět do chladicího oběhu. Část chladicí vody se ve věžích odpaří, a proto se musí neustále doplňovat.

V kondenzačních elektrárnách se využívá regeneračního ohřevu napájecí vody, která vstupuje do kotle. K ohřevu vody se využívá část tepla expandované páry, které se tak vrací do kotle, čímž se zvyšuje účinnost. Zároveň klesá množství tepla potřebné k dosažení bodu varu, a tedy i spotřeba paliva.

Spalováním paliva v kotli vznikají produkty, které je nutné filtrovat z kouřových plynů pomocí elektrofiltrů nebo cyklonových odlučovačů.



Obr. 9 – Schéma kondenzační elektrárny [27]

Celý tepelný oběh uhelné kondenzační elektrárny se dá popsat Rankine-Clausiovým cyklem. Zvýšení účinnosti tohoto cyklu se dá docílit zvýšením teploty páry, opakovaným přehříváním páry, regeneračním ohřevem nebo zvýšením účinnosti jednotlivých komponentů oběhu. Maximální účinnost závisí převážně na tlaku a teplotě páry, která je omezena materiálovými parametry konstrukce oběhu. [28]

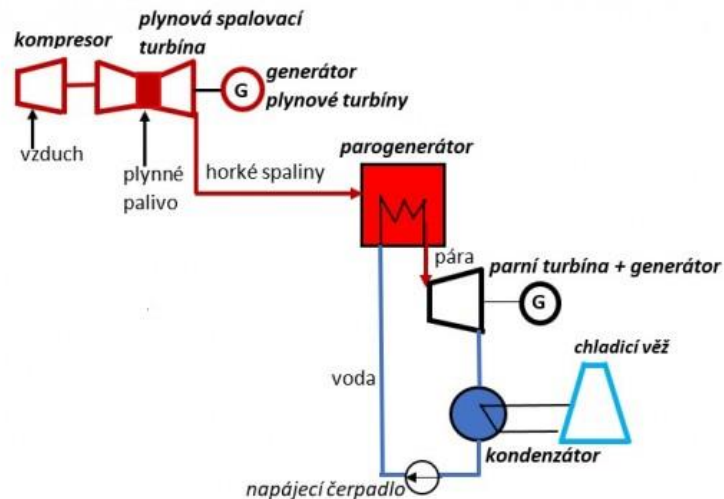
## 5.2 Paroplynové elektrárny

Paroplynové elektrárny se řadí mezi novější typy tepelných elektráren, které se dostávají do popředí díky jejich vyšší účinnosti přesahující 50 %, nízké vlastní spotřebě a ekologičnosti.

Paroplynové elektrárny fungují na principu dvou turbín, které pracují současně. Ve spalovací turbíně se spaluje směs plynu a vzduchu, která turbínu pohání. Vzniklé teplo spalin se využívá pro výrobu páry, která pohání parní turbínu.

Zemní plyn dopravovaný plynovody je v místě elektrárny upravován na provozní parametry ve stanicích upravujících tlak a čistotu plynu. Plyn dále pokračuje do spalovací komory společně s tlakovým vzduchem. Ohřátý tlakový vzduch je přiváděn kompresorem, který je největší mechanickou zátěží a představuje většinu ztrátového výkonu plynové turbíny. Při najíždění je kompresor poháněn najížděcím motorem. Teplota ve spalovací komoře se pohybuje kolem 1500 °C a spaliny ochlazené kvůli přebytku vzduchu dosahují teplot 600-800 °C. Směs spalin a vzduchu expanduje v turbíně, přičemž se snižuje jejich teplota a tlak. Tepelný cyklus parního oběhu je obdobný jako u uhelných elektráren. Teplo spalin je předáváno napájecí vodě v kotli na odpadní teplo, podobně jako u kotle v uhelných elektrárnách.

Jednou z hlavních výhod paroplynových elektráren je krátká najížděcí doba do 20 minut. Další výhodou je nízká vlastní spotřeba, která činí jen 2 % výkonu, protože elektrárna nemusí napájet pohony jako uhelné mlýny a čerpadla. Paroplynové elektrárny mají oproti uhelným lepší možnost regulace a automatizace. Účinnost je ovlivněna poměrem teplot vzduchu před vstupem a po výstupu ze spalovací turbíny, kompresním poměrem a účinností kompresoru. Účinnost parního cyklu je možné ovlivnit stejnými způsoby jako u uhelných elektráren. [28]



Obr. 10 – Schéma paroplynové elektrárny [29]

### 5.3 Účinnost elektráren využívajících fosilní zdroje

Účinnost výroby elektrické energie v uhelných elektrárnách je dána převážně parametry parního oběhu. Průměrná hodnota účinnosti je 34 %, ale pro různé země se tato hodnota výrazně liší. Jednu z nejnižších průměrných účinností má Indie (27 %) a to převážně z důvodu využívání nečištěného uhlí s vysokým obsahem popela. Naopak uhelné elektrárny s nejvyšší účinností má Dánsko (průměrná účinnost 43 %). [30]

**Porovnání průměrných účinností výroby elektrické energie z uhlí**

Země	Polsko	ČR	Indie	Dánsko
Účinnost $\eta$ [%]	36	32	27	43

Tabulka 7 - Porovnání průměrných účinností výroby elektrické energie z uhlí [30]

Účinnost paroplynových elektráren je oproti uhelným kondenzačním elektrárnám téměř dvojnásobná díky využití odpadního tepla obsaženého ve spalinách. Nejnovější paroplynové elektrárny dosahují účinností až 60 %. [30]

## 6. Pístové spalovací motory

Pro pohon osobních automobilů se dnes nejčastěji využívají čtyřdobé pístové spalovací motory. Výhodou pístových spalovacích motorů je jejich jednoduchost, kompaktnost, malé rozměry a malá hmotnost. Výhoda malých rozměrů a hmotnosti je patrná zvláště pokud při porovnávání motorů uvážíme i rozměry a hmotnost zásobníků energie a velikosti obslužných zařízení, jako je například elektromotor a akumulátorová baterie u elektromobilů. U pístových spalovacích motorů můžeme využívat paliva s vysokým energetickým obsahem, což umožňuje vyšší jízdní dosah. Výhodou je také možnost úpravy většiny spalovacích motorů na vícepalivové, které mohou využívat více druhů paliv (např. nafta a MEŘO, benzín a zemní plyn, benzín a ethanol).

Nevýhodou spalovacích motorů je nutnost spouštět odlehčený motor cizím zdrojem energie. Pístový motor je nutné spouštět nezatížený nebo jen s velmi malým zatížením, protože při nízkých otáčkách vyvíjí jen malý točivý moment. Mezi nevýhody patří také hluk a exhalace odpadních látek.

Podle způsobu zapalování směsi paliva a vzduchu rozdělujeme spalovací motory na vznětové a zážehové. [31]

### 6.1 Zážehové motory

Zážehové motory využívají směs paliva se vzduchem zažehovanou vnějším zdrojem energie, kterým je nejčastěji elektrická jiskra. Mohou využívat plynná paliva, benzín nebo líh. Kompresní poměr je omezen teplotou vznícení směsi paliva ( $\varepsilon_{max} = 11,5$ ). Čtyřdobé zážehové motory (benzínové, plynové) dosahují účinností 25–35 %. [31]

### 6.2 Vznětové motory

U vznětových motorů je palivo vstříkováno do válce motoru, kde se vlivem vysoké teploty vyvolané kompresí vzduchu vznítí. Potřebná teplota vznícení je dosažena vysokým kompresním poměrem (běžně  $\varepsilon = 17$ ). Vznětové motory mají díky vyšší tepelné účinnosti celkovou účinnost 35–45 %. [31]

## 7. Elektromobily

Jako elektromobily, nebo elektrická vozidla (EV), označujeme všechna vozidla, která jsou částečně nebo plně poháněná elektrickou energií akumulovanou v baterii. Většina současně vyráběných elektromobilů je čistě elektrická, ale vyrábějí se i hybridní vozy, které společně s baterií využívají spalovací motor. Tato práce je zaměřena pouze na elektromobily s čistě elektrickým pohonem. Komponenty, které nejvíce ovlivňují výslednou účinnost elektromobilu jsou baterie a elektromotor. [32]

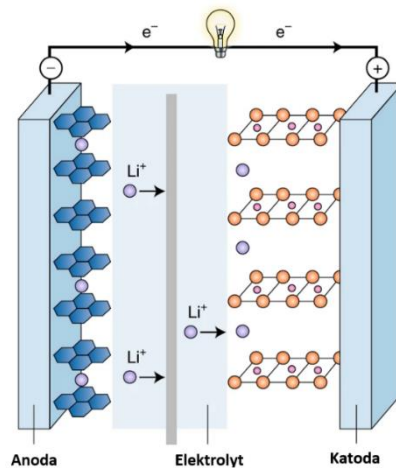
### 7.1 Elektromotor

Pro pohon elektromobilů se využívají synchronní, asynchronní i stejnosměrné elektromotory. Účinnost elektromotoru závisí na mnoha faktorech jako je velikost, hmotnost, typ motoru, počet pólových párů a chlazení. Obecně se účinnost stejnosměrných motorů s výkonem nad 90 kW pohybuje kolem 95 %, což je výrazně vyšší hodnota v porovnání s účinností spalovacích motorů (25-45 %). Výkon elektromotoru určujeme jako poměr výstupního výkonu hřídele a vstupního elektrického výkonu přiváděného do motoru. Ztráty elektromotoru vznikají odporem ve vinutí cívky (ztráty v mědi) a disipací magnetické energie v jádru statoru (ztráty v železe). Podobně jako ve spalovacím motoru vznikají také mechanické ztráty vzniklé třením v ložiskách motoru a také pohonem ventilátorů nebo čerpadel při využívání olejového či vodního chlazení. [32]

### 7.2 Baterie

Baterie hrají klíčovou roli ve vývoji elektromobilů a jsou jejich důležitou součástí, která ovlivňuje parametry jako je dojezd, zrychlení, hmotnost a účinnost automobilu.

Baterie se obecně skládají z kladné a záporné elektrody (katoda a anoda), elektrolytu a pláště, který uchovává všechny komponenty. Elektrolyt v baterii odděluje katodu a anodu, ale zároveň umožňuje pohyb iontů při elektrochemické reakci. Při připojení zátěže na svorky, tedy při vybíjení baterie dochází k pohybu iontů od anody ke katodě. Anoda začne oxidovat, čímž odevzdává elektrony, které jsou přijímány katodou, která naopak redukuje. Chemická reakce na katodě uvolňuje energii využitelnou pro napájení zátěže. Při nabíjení baterie probíhá proces opačně. [33]



Obr. 11 – Schéma lithium-iontové baterie [34]

V elektromobilech se využívá několik druhů baterií, ale nejrozšířenějším na trhu jsou dnes Lithium-iontové baterie. Lithium-iontové baterie (Li-ion baterie) byly vyvinuty v 90. letech dvacátého století a díky svým výhodám jako je dlouhá životnost a vysoká účinnost oproti ostatním druhům baterií jsou dnes nejvyžívanějším typem.

Účinnost baterie je dána poměrem energie dodané baterii při nabíjení a maximální energie, kterou je možné z baterie odebrat. Z tabulky 8, kde jsou uvedeny obecné parametry jednotlivých druhů baterií je zřejmé, že Li-ion baterie má kromě nejvyšší účinnosti také nejvyšší energetickou hustotu. Za životnost baterií se považuje počet nabíjecích cyklů, po kterých se výkon nebo kapacita baterie sníží na 80 % původní hodnoty. Li-ion baterie mají standardně životnost 500-2000 nabíjecích cyklů, ale tato hodnota výrazně závisí na hloubce vybití baterie (DOD – depth of discharge). Hodnota DOD udává procentuální množství energie, kterou odebíráme z plně nabitě baterie při vybití. Z tabulky 9 vyplývá, že čím více energie z baterie odebíráme, tím nižší je její životnost. [33]

Typ baterie	Energetická hustota [Wh/kg]	Měrný výkon [W/kg]	Energetická účinnost [%]
Olověná (Lead-Acid)	35-40	285	85
Ni-MH	50-70	200	85
Na-NiCl <sub>2</sub>	100	170	75
Li-ion	150-200	260	90

Tabulka 8 - Porovnání typů baterií [33]

Hloubka vybití (DOD)	Životnost-počet nabíjecích cyklů
100 %	300
80 %	400
60 %	600
40 %	1000
20 %	2000
10 %	6000

Tabulka 9 - Životnost Li-ion baterií v závislosti na DOD [33]

## 7.3 Nabíjení elektromobilů

Na výsledné množství elektrické energie, potřebné pro provoz elektromobilu, má kromě jeho samotné spotřeby vliv i způsob nabíjení a ztráty energie, které při nabíjení vznikají. Podle výkonu, rychlosti a používaného proudu (AC/DC) rozlišujeme několik druhů nabíjení. Při nabíjení z domácí zásuvky, je elektromobil nabíjen střídavým proudem ze sítě, který se mění na stejnosměrný pomocí měniče ve vozidle. Tento způsob nabíjení je nejjednodušší, ale zároveň nejpomalejší, protože výkon nabíjení je omezen výkonem měniče uvnitř vozidla. Další možností je nabíjení pomocí nástěnné nabíječky Wallbox, která umožňuje třífázové nabíjení a dokáže tak výrazně zkrátit nabíjecí dobu. Nejúčinnější jsou DC nabíječky, které jsou větší a poskytují vyšší výkon, díky čemuž výrazně snižují dobu nabíjení, a tak i vzniklé ztráty. V tabulce 10 jsou uvedeny výsledky testů domácího nabíjení elektromobilů, které je dnes nejvyužívanější. [35]

Model automobilu	Ztráty při nabíjení z domácí zásuvky (2,3 kW)	Ztráty při nabíjení z Wallbox (11 kW)
Renault Zoe	24,2 %	9,7 %
Volkswagen ID.3	13,6 %	9 %
Tesla Model 3	15,2 %	7,7 %
Fiat 500e	12,7 %	6,3 %

Tabulka 10 – Výsledky testů nabíjení asociace ADAC [36]



## 8. Složení fosilních paliv

V tabulkách níže jsou uvedeny složení jednotlivých fosilních paliv využívaných pro výrobu elektrické energie v elektrárnách a pro pohon automobilů se spalovacími motory. Pro výpočet emisí  $CO_2$  je důležitý zejména obsah uhlíku. Rozlišujeme obsah uhlíku v hořlavině  $C^{daf}$ , obsah v bezvodém stavu  $C^d$  a obsah v původním stavu paliva  $C^r$ . Pro výpočet uvažujeme obsah uhlíku v původním stavu ( $C^r$ ), ve kterém je palivo spalováno. Přepočet se provádí podle následujících vztahů kde  $A$  je obsah popela a  $W$  obsah vody v palivu (obdobné vztahy platí i pro obsah ostatních prvků).

$$A^r = A^d \cdot (1 - W^r) \quad (8.1)$$

$$C^r = C^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (8.2)$$

$$C^r = C^d \cdot (1 - W^r) \quad (8.3)$$

### Složení hnědého uhlí – Severočeské doly a.s.

Složka	Obsah [%]
$C^r$	45
$W^r$	29
$A^r$	9,3

Tabulka 11 - Složení hnědého uhlí – Severočeské doly a.s. (hruboprach 1) [37]

### Složení hnědého uhlí – Czechcoal

Složka	Obsah [%]
$C^r$	41,2
$W^r$	28
$A^r$	14,8

Tabulka 12- Složení hnědého uhlí – Czechcoal (hruboprach 1) [38]

### Složení černého uhlí

Složka	Obsah [%]
$C^r$	71,8
$W^r$	2
$A^r$	12,6

Tabulka 13 - Průměrné složení černého uhlí z jižní části hornoslezské pánve [39]

### Složení benzínu

Složka	Obsah [%]
$C^r$	85,5
$H^r$	14,5

Tabulka 14 - Složení benzínu [40]

### Složení nafty

Složka	Obsah [%]
$C^r$	86
$H^r$	14

Tabulka 15 - Složení nafty [40]

### Složení zemního plynu

Složka	Objemový podíl [%]
Metan $CH_4$	98,39
Etan $C_2H_6$	0,44
Propan $C_3H_8$	0,16
Butan $C_4H_{10}$	0,07
Pentan $C_5H_{12}$	0,03
Dusík $N_2$	0,84
Oxid uhličitý $CO_2$	0,07

Tabulka 16 - Složení tranzitního zemního plynu [41]

## 9. Výpočet spalovacího procesu

Při spalování dochází k fyzikálně chemickému procesu hoření za přítomnosti hořlavých prvků a okysličovačla, kterým je nejčastěji vzduch. Pro výpočet uvažujeme dokonalé spalování tuhých, kapalných a plynných paliv, při kterém dochází k dokonalému vyhoření uhlíku a vodíku bez ztráty hořlavinou ve spalínách a ztráty hořlavinou v tuhých zbytcích. Proces je popsán stechiometrickými rovnicemi, pomocí kterých určujeme objem vzduchu potřebný na spálení jednotky paliva a objem vzniklých spalin. Pro výpočet jsou použity hodnoty molárních hmotností a molárních objemů uvedené v tabulce 17. [42]

**Molární hmotnosti a molární objemy prvků**

Prvek	Molární hmotnost [kg/kmol]	Molární objem [m <sup>3</sup> /kmol]
C	12,01	-
O <sub>2</sub>	32	22,39
CO <sub>2</sub>	44,01	22,26
CO	28,01	22,37
H <sub>2</sub>	2,016	22,41
H <sub>2</sub> O	18,016	22,4
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	12,01·m+1,008·n	22,41
S	32,06	-
SO <sub>2</sub>	64,06	21,89
N <sub>2</sub>	28,013	22,4

Tabulka 17 - Použité molární hmotnosti a molární objemy [42]

**Objemové složení suchého vzduchu**

Složka	Objemový podíl [%]
Kyslík O <sub>2</sub>	21
Dusík N <sub>2</sub>	78,05
Vzácné plyny Ne, Ar, Kr	0,92
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	0,03

Tabulka 18 - Objemové složení suchého vzduchu [42]

## 9.1 Dokonalé spalování tuhých a kapalných paliv

Jeden mol uhlíku se sloučí s jedním molem kyslíku a vznikne jeden mol oxidu uhličitého



Na spálení 12,01 kg uhlíku je tedy třeba 32 kg kyslíku a vznikne 44,01 kg oxidu uhličitého

$$12,01\text{kg} + 32\text{kg} \rightarrow 44,01\text{kg} \quad (9.2)$$

Na spálení 1 kg uhlíku je třeba  $\frac{32}{12,01}$  kg kyslíku a vznikne  $\frac{44,01}{12,01}$  kg oxidu uhličitého

$$1\text{kg} + \frac{32}{12,01}\text{kg} \rightarrow \frac{44,01}{12,01}\text{kg} \quad (9.3)$$

Po dosazení skutečného množství uhlíku v palivu  $C^r$  bude celková hmotnost vyprodukovaného  $CO_2$  na kilogram paliva rovna:

$$m_{CO_2} = C^r \cdot \frac{44,01}{12,01} \text{ [kg/kg]} \quad (9.4)$$

Ve výpočtu neuvažujeme zanedbatelné množství  $CO_2$  (0,03 %) obsažené ve spalovacím vzduchu (tabulka 18).

## 9.2 Dokonalé spalování plynných paliv

Celkový objem oxidu uhličitého vzniklého spálením 1 m<sup>3</sup> paliva

$$V_{CO_2} = \phi_{CO_2} + \frac{44,52}{44,74} \cdot \phi_{CO} + \frac{22,26}{22,41} \cdot \sum m \cdot \phi_{C_mH_n} \quad (9.5)$$

Celková hmotnost oxidu uhličitého vzniklého spálením 1 m<sup>3</sup> paliva

$$m_{CO_2} = V_{CO_2} \cdot \frac{44,01}{22,26} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (9.6)$$

Podobně jako u spalování pevných a kapalných paliv zanedbáváme množství CO<sub>2</sub> ze spalovacího vzduchu. Hodnoty ve výpočtu platí pro normální podmínky plynu (tlak p = 101 325 Pa, teplota t = 0°C).

## 9.3 Emisní faktor paliv

V tabulce 19 jsou uvedeny výhřevnosti jednotlivých paliv a hmotnost CO<sub>2</sub> vzniklého spálením jednotky paliva, která byla získána dosazením do stechiometrických rovnic pro tuhá, kapalná a plynná paliva z kapitol 9.1 a 9.2.

Palivo	Výhřevnost	Vzniklé CO <sub>2</sub> na jednotku paliva
benzín	42-43,5 MJ/kg	3,13 kg/kg
nafta	42,5 MJ/kg	3,15 kg/kg
hnědé uhlí – Czechcoal	16,5 MJ/kg	1,51 kg/kg
hnědé uhlí – Severočeské doly a.s.	17 MJ/kg	1,65 kg/kg
černé uhlí	26,4 MJ/kg	2,63 kg/kg
zemní plyn	35,9 MJ/m <sup>3</sup>	1,97 kg/m <sup>3</sup>

Tabulka 19 – Vlastnosti paliv [37]–[41]

Z hodnot výhřevností a vzniklého CO<sub>2</sub> na jednotku paliva jsou dále vypočteny emisní faktory jednotlivých paliv (tabulka 20).

Palivo	Emisní faktor EF [kg CO <sub>2</sub> /MJ]
benzín	0,0732
nafta	0,0741
hnědé uhlí – Czechcoal	0,0915
hnědé uhlí – Severočeské doly a.s.	0,0971
černé uhlí	0,0996
zemní plyn	0,0549

Tabulka 20 – Emisní faktor paliv

## 9.4 Emise CO<sub>2</sub> při výrobě elektrické energie

Pro porovnání emisí CO<sub>2</sub> při provozu elektromobilu v porovnávaných státech potřebujeme znát množství CO<sub>2</sub> vyprodukované při výrobě jednotky elektrické energie. Množství CO<sub>2</sub> na jednotku elektrické energie dostaneme součtem emisních faktorů využívaných fosilních paliv (EF) (tabulka 20), vydělených účinností přeměny energie ( $\eta$ ) a vynásobených jejich poměrným zastoupením v energetickém mixu dané země (Z). Měrná emise CO<sub>2</sub> při výrobě elektrické energie je vztažena na kWh, ve kterých se udává spotřeba elektromobilů.

$$EF_e = \sum EF \cdot \frac{1}{\eta} \cdot Z \cdot \frac{1}{3,6} [\text{kg CO}_2/\text{kWh}] \quad (9.7)$$

Stát	EF <sub>e</sub> [kg CO <sub>2</sub> /kWh]
Česká republika	0,468
Polsko	0,743
Norsko	0,003

Tabulka 21 – Měrná emise CO<sub>2</sub> při výrobě elektrické energie

Typ paliva	Měrná emise CO <sub>2</sub> při výrobě elektrické energie [kg CO <sub>2</sub> /kWh]
hnědé uhlí – Czechcoal	1,029
hnědé uhlí – Severočeské doly a.s.	1,092
černé uhlí	1,121
zemní plyn	0,353

Tabulka 22 – Měrná emise CO<sub>2</sub> paliv při výrobě elektrické energie

# 10. Porovnání elektromobilů a automobilů se spalovacími motory

## 10.1 Parametry automobilů


Emise CO<sub>2</sub> při provozu budeme porovnávat pro dva elektromobily a dva automobily se spalovacím motorem. Byly vybrány automobily typu SUV: ŠKODA KODIAQ a ŠKODA ENYAQ SPORTLINE iV a automobily typu hatchback: Hyundai i30 a Volkswagen ID.3 Pro S. V tabulce 23 a 24 jsou uvedeny parametry všech modelů.

### Parametry ŠKODA KODIAQ a ŠKODA ENYAQ iV

	ŠKODA KODIAQ 2,0 TSI / 180 kW 4×4	ŠKODA ENYAQ SPORTLINE iV 80X
	 <p>Obr. 12 – ŠKODA KODIAQ [43]</p>	 <p>Obr. 13 – ŠKODA ENYAQ [44]</p>
Motor	zážehový spalovací	elektromotor
Maximální výkon [kW]	180	195
Palivo	benzín	elektrická energie
Maximální rychlost [km/h]	234	160
Spotřeba paliva	8,7-8,9 l/100 km	16,7–18,4 kWh/100 km
Kapacita baterie (využitelná)	-	77 kWh

Tabulka 23 - Technické specifikace vozů ŠKODA KODIAQ a ŠKODA ENYAQ [43], [44]

### Parametry Hyundai i30 a Volkswagen ID.3

	Hyundai i30 Hatchback 1,5i	Volkswagen ID.3 Pro S
	 <p>Obr. 14 – Hyundai i30 [45]</p>	 <p>Obr. 15 – Volkswagen ID.3 [46]</p>
Motor	zážehový spalovací	elektromotor
Maximální výkon [kW]	80,9	150
Palivo	benzin	elektrická energie
Maximální rychlost [km/h]	187	160
Spotřeba paliva	5,6-5,9 l/100 km	14,5-15,4 kWh/100 km
Kapacita baterie(využitelná)	-	58 kWh

Tabulka 24 - Technické specifikace vozů Hyundai i30 a Volkswagen ID.3 [45], [46]

## 10.2 Spotřeba automobilů

Spotřeba paliva automobilů je klíčovým údajem, který přímo ovlivňuje emise CO<sub>2</sub> při provozu, ale i dojezd automobilu, a proto je ve snaze vědců určit co nejpřesnější hodnotu spotřeby. V současnosti se hodnoty spotřeby nejčastěji stanovují v laboratorních podmínkách pomocí standardizovaných testů. V Evropě je pro měření spotřeby a homologaci vozidel využíván jednotný jízdní cyklus WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure). V roce 2017 nahradil WLTP dříve používaný standard NEDC, oproti kterému je nový test delší a vytváří podmínky bližší reálnému provozu, díky čemuž jsou naměřené hodnoty přesnější. U automobilů s čistě elektrickým pohonem však stále existuje velký rozdíl mezi spotřebou v laboratorních podmínkách a v reálném provozu. Pro analýzu spotřeby ve skutečném provozu je potřeba brát v potaz kromě rychlosti také faktory jako vliv okolní teploty a styl jízdy, které spotřebu nejvíce ovlivňují. [47], [48]

Dle [48] je z hlediska spotřeby optimální rychlostí pro provoz elektromobilu 30-40 km/h. Při jiných rychlostech se spotřeba násobí korekčním součinitelem, který vyšel nejvýše 1,32 pro rychlost nad 50 km/h. Optimální teplotou pro provoz je dle [48] 25-35 °C, přičemž při teplotách nižších než 5 °C násobíme spotřebu korekčním součinitelem 1,74. Je zřejmé, že v různých podmínkách se hodnoty spotřeby elektromobilů výrazně liší. Pro výpočet v této práci proto budou použity hodnoty naměřené v reálném provozu dle [49] (tabulka 25, tabulka 26).



### Reálná spotřeba ŠKODA ENYAQ SPORTLINE iV 80X

	Chladné počasí <sup>1</sup>	Mírné počasí <sup>2</sup>
Město	19,5 kWh/100 km	13,3 kWh/100 km
Dálnice (110 km/h)	26,6 kWh/100 km	20,8 kWh/100 km
Kombinovaná	22,6 kWh/100 km	16,7 kWh/100 km

Tabulka 25 - Reálná spotřeba ŠKODA Enyaq [49]

### Reálná spotřeba Volkswagen ID.3 Pro S

	Chladné počasí	Mírné počasí
Město	17,5 kWh/100 km	11,7 kWh/100 km
Dálnice (110 km/h)	24,1 kWh/100 km	18,6 kWh/100 km
Kombinovaná	20,3 kWh/100 km	14,8 kWh/100 km

Tabulka 26 - Reálná spotřeba VW ID.3 [49]

## 10.3 Výpočet emise CO<sub>2</sub> elektromobilů

Emise CO<sub>2</sub> při provozu elektromobilu spočítáme vynásobením množství CO<sub>2</sub> vyprodukovaného při výrobě jednotky elektrické energie ( $EF_e$ ) a spotřeby elektromobilu ( $S$ ), kterou vydělíme průměrnou účinností nabíjení elektromobilu ( $\eta_n$ ).

$$m_{CO_2}^e = EF_e \cdot \frac{S}{\eta_n} \quad (10.1)$$

### Volkswagen ID.3 Pro S

Podmínky		Emise CO <sub>2</sub> [g/km]		
		ČR	Polsko	Norsko
Chladné počasí	Město	92,33	146,59	0,59
	Dálnice	127,16	201,87	0,82
	Kombinovaná	107,11	170,04	0,69
Mírné počasí	Město	61,73	98,01	0,4
	Dálnice	98,14	155,80	0,63
	Kombinovaná	78,09	123,97	0,5

Tabulka 27 – Emise CO<sub>2</sub> Volkswagen ID.3 Pro S

<sup>1</sup> Chladné počasí: "Nejhorší podmínky": venkovní teplota -10 °C a využití vytápění

<sup>2</sup> Mírné počasí: "Nejpřívetivější podmínky": venkovní teplota 23 °C bez využití klimatizace

## ŠKODA ENYAQ SPORTLINE iV 80X

Podmínky		Emise CO <sub>2</sub> [g/km]		
		ČR	Polsko	Norsko
Chladné počasí	Město	102,89	163,34	0,66
	Dálnice	140,35	222,81	0,9
	Kombinovaná	119,24	189,31	0,76
Mírné počasí	Město	70,17	111,41	0,45
	Dálnice	109,75	174,23	0,7
	Kombinovaná	88,11	139,89	0,56

Tabulka 28 – Emise CO<sub>2</sub> ŠKODA ENYAQ SPORTLINE iV 80X

## 10.4 Výpočet emise CO<sub>2</sub> automobilů se spalovacími motory

Emise CO<sub>2</sub> při provozu automobilů se spalovacím motorem vypočteme dle rovnice 10.2 kde  $m_{CO_2}$  je hmotnost CO<sub>2</sub> vzniklého spálením jednotky paliva,  $S$  je spotřeba automobilu a  $\rho$  hustota příslušného paliva.

$$m_{CO_2}^S = m_{CO_2} \cdot S \cdot \rho \quad (10.2)$$

Automobil	Emise CO <sub>2</sub> [g/km]
ŠKODA KODIAQ 2,0 TSI / 180 kW 4x4	205,89
Hyundai i30 Hatchback 1,5i	134,53

Tabulka 29 – Emise CO<sub>2</sub> automobilů se spalovacími motory

## 10.5 Porovnání emisí CO<sub>2</sub> automobilů

V tabulce 29 jsou porovnány emise CO<sub>2</sub> všech vybraných automobilů. U elektromobilů jsou uvedeny průměrné hodnoty měrné emise pro kombinovanou spotřebu vozidel.

Automobil	Emise CO <sub>2</sub> [g/km]		
	ČR	Polsko	Norsko
ŠKODA ENYAQ	103,68	164,6	0,66
Volkswagen ID.3	92,6	147,01	0,6
ŠKODA KODIAQ	205,89		
Hyundai i30	134,53		

Tabulka 30 – Porovnání emise CO<sub>2</sub> automobilů

# 11. Nabíjení elektromobilu z domácí fotovoltaické elektrárny

Dle výsledků z předchozí kapitoly emise CO<sub>2</sub> při provozu elektromobilů, a tedy i jejich přínos pro životní prostředí silně závisí na zdroji elektrické energie, kterou jsou nabíjeny. Pokud elektřina pochází ze zdrojů na bázi fosilních paliv, nemusí být výrazný rozdíl mezi emisemi při provozu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. Alternativou k nabíjení ze sítě, tedy z energetického mixu, jsou domácí fotovoltaické systémy, které jsou čistým obnovitelným zdrojem energie. Jejich využitím je zároveň možné snížit či zcela eliminovat náklady na palivo elektromobilu. [50]

U automobilu Volkswagen ID.3 Pro S je celková využitelná kapacita baterie 58 kWh, která odpovídá dojezdu 330,5 km při uvážení průměrné kombinované spotřeby vozidla. V tabulce 31 jsou uvedeny parametry domácího nabíjení vozu Volkswagen ID.3 Pro S.

Nabíjení	Výkon nabíjení [kW]	Doba nabíjení [h]	Ztráty [%]	Potřebná energie pro plné nabití [kWh]
Ze zásuvky	2,3	25,2	13,6	65,9
Wallbox	11	5,27	9	63,2

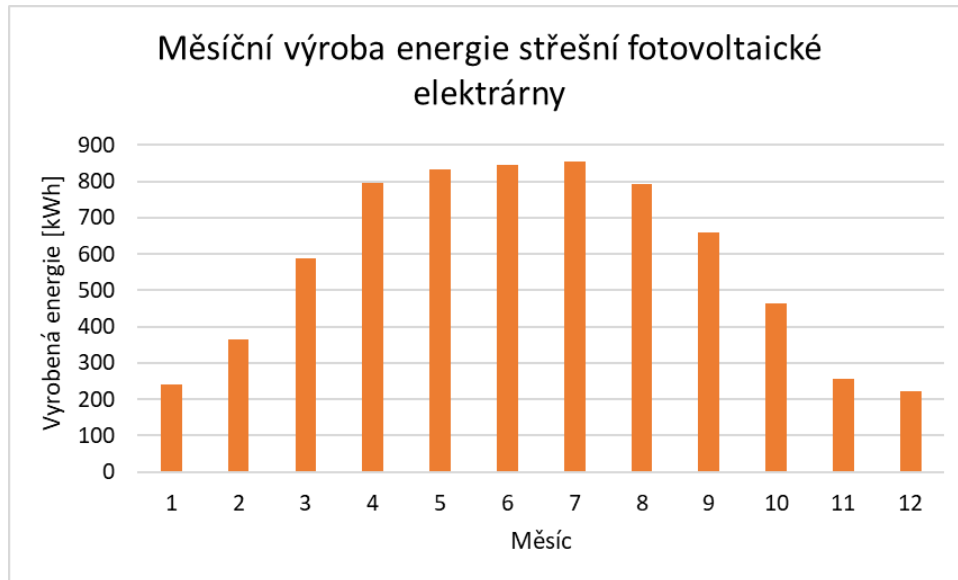
Tabulka 31 – Parametry domácího nabíjení Volkswagen ID.3 Pro S [46], [51]

Podle [52] byl průměrný instalovaný výkon nových střešních elektráren v ČR v roce 2021 6,7 kWp, což zhruba odpovídá 16 panelům o výkonu 420 Wp. Na množství vyrobené energie má kromě instalovaného výkonu vliv také lokalita, ve které se FVE nachází. V Praze odpovídá průměrná roční výroba 998 kWh/kWp při optimálním sklonu panelů a orientaci na jih. Výsledná roční výroba průměrné střešní fotovoltaické elektrárny je tedy 6 686,6 kWh/rok (11.2).

$$\text{Výroba FVE} = \text{instalovaný výkon} \cdot \text{průměrná roční výroba} \quad (11.1)$$

$$\text{Výroba FVE} = 6,7 \cdot 998 = 6\,686,6 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}} = 18,32 \frac{\text{kWh}}{\text{den}} \quad (11.2)$$

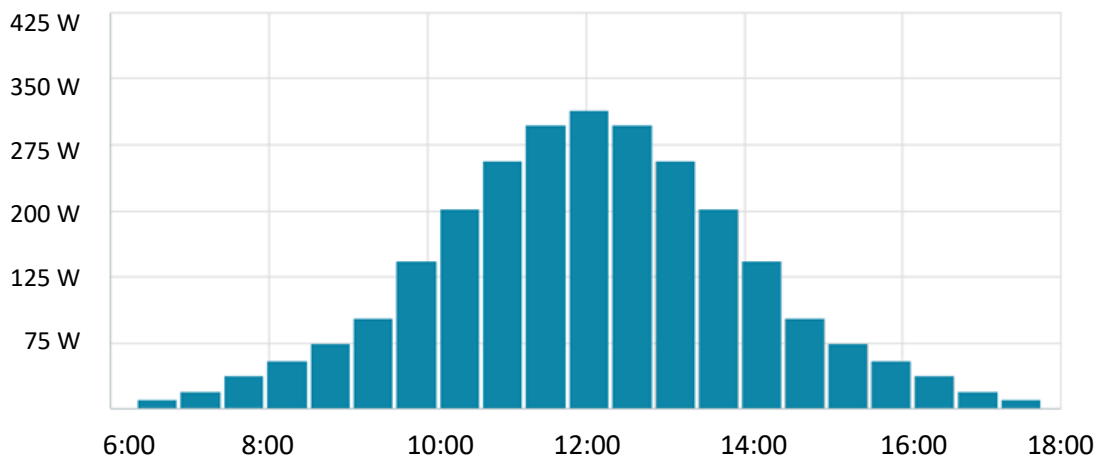
Výroba solární elektrárny ale není v průběhu roku konstantní. Z grafu měsíční výroby (obrázek 16) je patrné, že výroba v letních měsících je více než trojnásobná oproti zimním měsícům. Výroba průměrné střešní fotovoltaiky (6,7 kWp) se pohybuje kolem 800 kWh/měsíc v letních měsících a 280 kWh/měsíc v zimních měsících. Při reálném používání vozidla ale pro nabíjení nikdy nevyužijeme veškerou energii vyrobenou fotovoltaikou. Pokud budeme uvažovat využití 50 % vyrobené energie pro nabíjení vozu, bude vyrobená energie pro vůz Volkswagen ID.3 Pro S odpovídat průměrné denní ujeté vzdálenosti 76 km/den v letních měsících a 26,5 km/den v zimních měsících.



Obr. 16 – Měsíční výroba energie střešní fotovoltaické elektrárny [53]

Podobně jako výroba v průběhu roku není ani v průběhu dne výroba fotovoltaické elektrárny konstantní. Většina denní produkce je soustředěna do několika hodin kolem poledne, během kterých musí být elektromobil nabíjen. Částečným řešením tohoto omezení může být akumulace do domácí baterie, která má ale průměrně kapacitu pouze 10 kWh. Další možností je využití tzv. chytré nabíječky, která je navržena k optimalizaci nabíjecího procesu a nabízí různé módy nabíjení. Tato nabíječka monitoruje produkci fotovoltaické elektrárny, které přizpůsobí nabíjení elektromobilu za účelem co nejvyšší účinnosti. [50]

### Produkce energie solárního panelu v průběhu dne



Obr. 17 – Produkce energie solárního panelu v průběhu dne [54]

Z výpočtů vyplývá, že při nabíjení automobilu typu Volkswagen ID.3 Pro S čistě z domácí fotovoltaiky při využití 50 % vyrobené energie, jsme schopni v průměru během roku nabít jen zhruba 15 % kapacity baterie za den (11.2). Při každodenním dobíjení baterie na plnou kapacitu ze sítě, ušetříme využitím domácí fotovoltaiky v průměru 15 % nákladů na palivo i vzniklých emisí CO<sub>2</sub>. V tabulce 32 je uvedeno porovnání emisí CO<sub>2</sub> elektromobilu s využitím domácí fotovoltaiky pro případ každodenního nabíjení baterie na plnou kapacitu.

Automobil	Emise CO <sub>2</sub> [g/km]		
	ČR	Polsko	Norsko
Vokswagen ID.3 (využití FVE)	78,7	124,96	0,51
Vokswagen ID.3	92,6	147,01	0,6
Hyundai i30	134,53		

Tabulka 32 – Porovnání emisí CO<sub>2</sub> automobilů při využití domácí FVE

## 12. Závěr

Cílem práce bylo porovnat emise  $CO_2$  při provozu elektromobilů a automobilů se spalovacím motorem v České republice, Polsku a Norsku. První část práce zahrnovala analýzu zdrojů elektrické energie v jednotlivých zemích. Pro Českou republiku byla provedena také analýza fosilních paliv, využívaných pro výrobu elektrické energie, jejich vlastností a složení.

V praktické části byly pomocí stechiometrických rovnic pro spalování paliv vypočteny měrné emise  $CO_2$  při výrobě jednotkového množství elektrické energie, při uvažování složení jednotlivých fosilních zdrojů a účinností jejich přeměny na elektrickou energii. Obdobně byly vypočteny měrné emise  $CO_2$  u spalovacích motorů.

Emisní faktor automobilů se spalovacím motorem byl vypočítán pomocí spotřeby automobilu a emisního faktoru využívaného paliva. Emisní faktor elektromobilů byl vypočítán pomocí emise  $CO_2$  na jednotku elektrické energie vyrobené v dané zemi a spotřeby elektromobilu převzaté z testů v reálných podmínkách při uvažování účinnosti nabíjení.

Z energetických mixů s ohledem na výrobu elektrické energie vyplynulo, že Norsko má díky největšímu zastoupení obnovitelných zdrojů nižší emise  $CO_2$  na jednotku vyrobené elektrické energie ve srovnání s Českou republikou a Polskem (tabulka 21). Díky tomu mají elektromobily nabíjené v Norsku nejnižší emise  $CO_2$  při provozu, následované Českou republikou a Polskem.

Ze srovnání elektromobilů a automobilů se spalovacím motorem (tabulka 30) vyplývá, že emise  $CO_2$  při provozu elektromobilů vycházejí nižší než u automobilů se spalovacími motory při nabíjení z energetického mixu České republiky a také Norska, kde jsou emise  $CO_2$  při provozu elektromobilu téměř zanedbatelné. Při nabíjení elektromobilů z polského energetického mixu, který má vyšší zastoupení fosilních zdrojů, již nejsou velké rozdíly mezi emisemi elektromobilů a automobilů se spalovacím motorem.

V závěru byly vypočteny emise  $CO_2$  při provozu elektromobilu v případě jeho dobíjení z domácí fotovoltaické elektrárny. Vypočtená hodnota průměrné výroby střešní FVE v České republice (6 686,6 kWh/rok) odpovídá každodennímu nabití automobilu nižší střední třídy *Volkswagen ID.3 Pro S* na zhruba 15 % kapacity baterie. Oproti plnému nabíjení baterie ze sítě tak využitím domácí FVE ušetříme 15 % paliva i vyprodukovaných emisí  $CO_2$  (tabulka 32).

Z výsledků práce jasně vyplývá, že emise  $CO_2$  při provozu elektromobilů jsou silně závislé na složení energetického mixu, ze kterého jsou napájeny, a to zejména na podílu fosilních zdrojů. Při posuzování dopadu automobilu na životní prostředí je však nutné kromě emisí  $CO_2$  při jeho provozu uvážit celý životní cyklus výrobku (LCA) včetně jeho výroby, kterou tato práce neuvažuje.

## 13. Zdroje

- [1] *Uhlíková neutralita. Dosáhneme jí do roku 2050?* [online]. Zpravodajství Evropský parlament. říjen 2019. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190926STO62270/uhlikova-neutralita-dosahneme-ji-do-roku-2050>
- [2] *Zákaz prodeje nových benzinových a naftových aut v EU od roku 2035: Co to znamená v praxi?* [Online]. Zpravodajství Evropský parlament. listopad 2022. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20221019STO44572/zakaz-prodeje-novych-benzinovych-a-naftovych-aut-od-roku-2035>
- [3] *Vývoj roční produkce emisí CO<sub>2</sub>.* [online]. Our world in data. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
- [4] *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za rok 2021* [online]. Energetický regulační úřad. 2022. Dostupné z: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/eruelektro2021.pdf>
- [5] ČEZ [online]. 2022. Dostupné z: <https://www.cez.cz/>
- [6] SEV.EN ENERGY [online]. Dostupné z: <https://www.7energy.com/cz/>
- [7] *Uhlí v České republice* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2020. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/tuha-paliva/uhli-v-ceske-republice--251855/>
- [8] VLČEK, Tomáš a ČERNOCH, Filip. *Energetický sektor České republiky*. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-5982-5.
- [9] *Doosan Škoda Power potvrdila vítězství v soutěži na novou turbínu pro Elektrárny Opatovice* [online]. Ekonomický deník. 10. říjen 2022. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/doosan-skoda-power-potvrdila-vitezstvi-v-soutezi-na-novou-turbinu-pro-elektrarny-opatovice/>
- [10] BAČKOROVÁ, Drahomíra. *Opatovice budou brát uhlí od Severočeských dolů a z německého Mibragu* [online]. iROZHLAS. leden 2014. Dostupné z: [https://www.irozhlas.cz/regiony/opatovice-budou-brat-uhli-od-severoceskych-dolu-a-z-nemeckeho-mibragu\\_201401021120\\_mhromadka](https://www.irozhlas.cz/regiony/opatovice-budou-brat-uhli-od-severoceskych-dolu-a-z-nemeckeho-mibragu_201401021120_mhromadka)
- [11] ČEZ, a.s. – *Elektrárny Poříčí* [online]. Průmysl Dnes. Květen 2016. Dostupné z: <https://www.prumysldnes.cz/exkluzivni-rozhovory/cez-as-%E2%80%93-elektrarny-porici-160508>
- [12] OKD [online]. Dostupné z: <https://www.okd.cz/cs>
- [13] *Paroplynová elektrárna s integrovaným PPC VŘESOVÁ, ČR* [online]. ÚJV. Dostupné z: <https://www.ujv.cz/en/reference-2/komplexni-modernizace-elektrarny-prunerov-ii-ceska-republika-2-1-1-3-10646>
- [14] VOBOŘIL, David. *Paroplynové elektrárny v ČR* [online]. O ENERGETICE. 27. duben 2015. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/paroplynove-elektrarny-v-cr>

- [15] *Obnovitelné zdroje energie v roce 2021* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2021. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2022/11/Obnovitelne-zdroje-energie-2021.pdf>
- [16] *Co je bioplyn?* [online]. Česká bioplynová asociace. Dostupné z: <https://www.czba.cz/co-je-bioplyn.html>
- [17] *Mapa větrných elektráren na území ČR* [online]. SVĚT ENERGIE. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/vetrna-energie-pro-deti/vetrna-elektrarna/energie-z-vetru>
- [18] *Renewable energy production in Norway* [online]. Ministry of Petroleum and Energy. 11. květen 2016. Dostupné z: <https://www.regjeringen.no/en/topics/energy/renewable-energy/renewable-energy-production-in-norway/id2343462/>
- [19] PROCTOR, Darell. *Equinor May Postpone Closure of Norwegian Gas-Fired Power Plant* [Online]. *POWER*. 8. květen 2022. Dostupné z: <https://www.powermag.com/equinor-may-postpone-closure-of-norwegian-gas-fired-power-plant/>
- [20] *TECHNOLOGY CENTRE MONGSTADT* [online]. Dostupné z: <https://tcmda.com/>
- [21] *Energy-efficient CHP plant and world-class CO2 capture* [online]. RAMBOLL. Dostupné z: [https://ramboll.com/projects/re/mongstad\\_chp\\_plant](https://ramboll.com/projects/re/mongstad_chp_plant)
- [22] *International Energy Agency* [online]. Dostupné z: <https://www.iea.org/>
- [23] *Statistics Norway* [online]. Dostupné z: <https://www.ssb.no/en/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitet>
- [24] GAWLIK a MOKRZYCKI. *Changes in the Structure of Electricity Generation in Poland in View of the EU Climate Package* [online]. *Energies* (Basel). Květen 2019- Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/17/3323>
- [25] *Poland-Energy Sector* [online]. Dostupné z: [//www.trade.gov/country-commercial-guides/poland-energy-sector](http://www.trade.gov/country-commercial-guides/poland-energy-sector)
- [26] *Statistics Poland* [online]. Dostupné z: <https://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/>
- [27] *Schéma kondenzační elektrárny* [online]. Dostupné z: <https://www.maturitka.cz/en-ustni-15.php>
- [28] GOŇO, R a KRÁL, V. *VÝROBA A UŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE* [online]. 2012. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/vuee/Vuee\\_ucebni\\_texty.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/Vuee_ucebni_texty.pdf)
- [29] *Paroplynový cyklus* [online]. VOVCR. Dostupné z: <https://www.vovcr.cz/odz/tech/284/page19.html>
- [30] TAYLOR, P, LAVAGNE, O, d'ORTIGUE, N, a FRANCOEUR, M. *Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels*. červenec 2008
- [31] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [32] DENTON, Tom. *Electric and Hybrid Vehicles*. New York: Institute of the motor industry. 2016.



- [33] FAUZAN, M. *A Review on Recent Progress of Batteries for Electric Vehicles* [online]. International Journal of Applied Engineering Research. prosinec 2019. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/338500929\\_A\\_Review\\_on\\_Recent\\_Progress\\_of\\_Batteries\\_for\\_Electric\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/338500929_A_Review_on_Recent_Progress_of_Batteries_for_Electric_Vehicles)
- [34] *Schéma lithium-iontové baterie* [online]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41928-018-0048-6>
- [35] *Nabíječky elektromobilů a jejich vysvětlení* [online]. Dostupné z: <https://www.tsg-solutions.com/cz/nabijecky-elektromobilu/>
- [36] ZUGEHÖR, D. *ADAC: Charging losses of up to 30 per cent are common* [online]. energate messenger. 15. září 2022. Dostupné z: <https://www.energate-messenger.com/news/225482/adac-charging-losses-of-up-to-30-per-cent-are-common>
- [37] *Katalog hnědého uhlí 2022* [online]. Dostupné z: <https://www.sdbilinskeuhli.cz/aktivity/prodej-uhli/katalog-hnedeho-uhli.aspx>
- [38] *Katalog Mostecké uhlí* [online]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/69841/F2-BP-2017-Maslik-Vojtech-priloha-Priloha2.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- [39] SMOLINSKI, A. *Chemometric Study of Trace Elements in Hard Coals of the Upper Silesian Coal Basin, Poland* [online]. The Scientific World Journal. 2014. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/234204/>
- [40] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5.
- [41] FÍK, Josef. *Lexikon spalování plynu*. Praha: GAS, 2000. Informační systém GAS. ISBN 80-902339-9-6.
- [42] JIROUŠ, František. *Efektivní spalování paliv*. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, c2013. ISBN 978-80-260-5393-4.
- [43] *Katalog ŠKODA KODIAQ* [online]. Dostupné z: [https://www.skoda-auto.cz/\\_doc/34b1d7f9-0a88-4353-bacf-ad6c0ef60bb6](https://www.skoda-auto.cz/_doc/34b1d7f9-0a88-4353-bacf-ad6c0ef60bb6)
- [44] *Katalog ŠKODA ENYAQ iV* [online]. Dostupné z: [https://www.skoda-auto.cz/\\_doc/36507de5-aba6-46d0-a9f4-134e8f45ed56](https://www.skoda-auto.cz/_doc/36507de5-aba6-46d0-a9f4-134e8f45ed56)
- [45] *Katalog Hyundai i30 HB* [online]. Dostupné z: <https://s7g10.scene7.com/is/content/hyundaiautoever/technicka-data-i30-hbpdf>
- [46] *Katalog Volkswagen ID.3* [online]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/id3/informacni-materialy> (
- [47] *WLTP: Nové standardy pro spotřebu* [online]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/wltp>
- [48] XIAO, L a RUNZE, G. *Influence Factors and Correction coefficient for Energy Consumption of Electric Vehicles* [Online]. Peking. 2021. Dostupné z: [://www.researchgate.net/publication/368012129\\_Influence\\_Factors\\_and\\_Correction\\_coefficient\\_for\\_Energy\\_Consumption\\_of\\_Electric\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/368012129_Influence_Factors_and_Correction_coefficient_for_Energy_Consumption_of_Electric_Vehicles)

- [49] *Electric Vehicle Database* [online]. Dostupné z: <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider-topspeed:prev~next=110~350|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-towweight:prev~next=0~2500|range-slider-fastcharge:prev~next=0~1500|paging:currentPage=0|paging:number=9>
- [50] SVARC, J.Home. *Solar EV Charging Explained* [online]. 10. leden 2023. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-ev-charging>
- [51] *ADAC Testing: Electric Car Charging Loss During AC Charging* [online]. Nation World News. 16. září 2022. Dostupné z: <https://nationworldnews.com/adac-testing-electric-car-charging-loss-during-ac-charging/>
- [52] *V roce 2021 se v ČR postavilo 62 megawattů nové fotovoltaiky* [online]. Tzbinfo. 8. leden 2022. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/23298-v-roce-2021-se-v-cr-postavilo-62-megawattu-nove-fotovoltaiky>
- [53] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- [54] *What time of day are solar panels most efficient?* [online]. Dostupné z: <https://gosolarquotes.com.au/what-time-of-day-are-solar-panels-most-efficient/>

## Seznam obrázků

- Obr. 1 - Vývoj roční produkce emisí CO<sub>2</sub> [3]
- Obr. 2 – Výroba elektřiny v ČR podle zdroje – 2021 [4]
- Obr. 3 – Vývoj výroby elektřiny v ČR [4]
- Obr. 4 - Mapa větrných elektráren na území ČR – 2020 [17]
- Obr. 5 - Výroba elektřiny v Norsku podle zdroje [22]
- Obr. 6 - Vývoj výroby elektřiny v Norsku [22]
- Obr. 7 - Výroba elektřiny v Polsku podle zdroje – 2021 [22]
- Obr. 8 - Vývoj výroby elektřiny v Polsku [22]
- Obr. 9 - Schéma kondenzační elektrárny [27]
- Obr. 10 - Schéma paroplynové elektrárny [29]
- Obr. 11 - Schéma lithium-iontové baterie [34]
- Obr. 12 – ŠKODA KODIAQ [43]
- Obr. 13 – ŠKODA ENYAQ [44]
- Obr. 14 – Hyundai i30 [45]

Obr. 15 – Volkswagen ID.3 [46]

Obr. 16 – Měsíční výroba energie střešní fotovoltaické elektrárny [53]

Obr. 17 - Produkce energie solárního panelu v průběhu dne [54]

## Seznam tabulek

Tab. 1 - Výroba elektřiny v ČR podle zdroje – 2021 [4]

Tab. 2 - Hnědouhelné elektrárny v ČR [5], [6], [9]–[11]

Tab. 3 - Elektrárny na zemní plyn v ČR [4], [13], [14]

Tab. 4 - Výroba elektřiny z biomasy [15]

Tab. 5 - Výroba elektřiny podle zdroje v Norsku-2021 [23]

Tab. 6 - Výroba elektřiny podle zdroje v Polsku-2021 [26]

Tab. 7 - Porovnání průměrných účinností výroby elektrické energie z uhlí [30]

Tab. 8 - Porovnání typů baterií [33]

Tab. 9 - Životnost Li-ion baterií v závislosti na DOD [33]

Tab. 10 - Výsledky testů nabíjení asociace ADAC [36]

Tab. 11 - Složení hnědého uhlí – Severočeské doly a.s. (hruboprach 1) [37]

Tab. 12 - Složení hnědého uhlí – Czechcoal (hruboprach 1) [38]

Tab. 13 - Průměrné složení černého uhlí z jižní části hornoslezské pánve [39]

Tab. 14 - Složení benzínu [40]

Tab. 15 - Složení nafty [40]

Tab. 16 - Složení tranzitního zemního plynu [41]

Tab. 17 - Použité molární hmotnosti a molární objemy [42]

Tab. 18 - Objemové složení suchého vzduchu [42]

Tab. 19 - Vlastnosti paliv [37]–[41]

Tab. 20 - Emisní faktor paliv

Tab. 21 - Měrná emise  $CO_2$  při výrobě elektrické energie

Tab. 22 - Měrná emise  $CO_2$  paliv při výrobě elektrické energie

Tab. 23 - Technické specifikace vozů ŠKODA KODIAQ a ŠKODA ENYAQ [43], [44]

Tab. 24 - Technické specifikace vozů Hyundai i30 a Volkswagen ID.3 [45], [46]

Tab. 25 - Reálná spotřeba ŠKODA Enyaq [49]

Tab. 26 - Reálná spotřeba VW ID.3 [49]

Tab. 27 - Emise  $CO_2$  Volkswagen ID.3 Pro S

Tab. 28 - Emise  $CO_2$  ŠKODA ENYAQ SPORTLINE IV 80X

Tab. 29 - Emise  $CO_2$  automobilů se spalovacími motory

Tab. 30 - Porovnání emise  $CO_2$  automobilů

Tab. 31 - Parametry domácího nabíjení Volkswagen ID.3 Pro S [46], [51]

Tab. 32 - Porovnání emisí  $CO_2$  automobilů při využití domácí FVE