



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav procesní a zpracovatelské techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Porovnání emisí CO₂ v životním cyklu elektromobilu a
automobilu se spalovacím motorem**

Praha 2021

Agáta Bařhová

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bařhová** Jméno: **Agáta** Osobní číslo: **473721**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání emisí CO₂ v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem

Název bakalářské práce anglicky:

Comparison of CO₂ emissions in the life cycle of electromobile and car with combustion engine

Pokyny pro vypracování:

- Pokuste se na základě dat z literatury získat informace o množství CO₂ vyprodukovaného v celém životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem (tj. včetně množství emisí při výrobě podstatných dílů, při provozu a při recyklaci, bude-li to možné).
- Na základě nalezených dat zpracujte bilanci celkového množství vyprodukovaného oxidu uhličitého v celém životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. Při bilancování uvažujte s emisemi ze všech zdrojů, které s výrobou, provozem nebo recyklací automobilů souvisí (např. emise elektrárny produkující elektrickou energii, kterou využívá elektromobil pro provoz).
- Stanovte, jaké množství CO₂ lze ušetřit přechodem na elektromobilu v modelovém příkladu.

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Moravec, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

Ing. Jiří Moravec, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna 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 studentky

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a veškeré k tomu použité podklady a literaturu uvádím v příloženém seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Jméno a příjmení

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Moravci, Ph.D. za jeho konstruktivní připomínky a rady, ochotu a čas mně věnovaný.

Anotační list

Jméno autora: Agáta

Příjmení autora: Bařhová

Název práce česky: Porovnání emisí CO₂ v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem

Název práce anglicky: Comparison of CO₂ emissions in the life cycle of an electromobile and a car with a combustion engine

Rozsah práce: počet stran: 41

počet obrázků: 10

počet tabulek: 12

počet příloh: 0

Akademický rok: 2020/2021

Jazyk práce: český

Ústav: Ústav procesní a zpracovatelské techniky

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Jiří Moravec, Ph.D.

Anotace česky: Cílem této bakalářské práce je zhodnotit, je-li v České republice emisně výhodnější vyrobit, provozovat, udržovat a likvidovat elektromobil či automobil se spalovacím motorem. K tomuto účelu byly použity informace uvedené ve vědeckých publikacích.

Anotace anglicky: The aim of this bachelor's thesis is to evaluate whether it is more emission-effective to produce, operate, maintain and dispose of an electric car or a car with an internal combustion engine in the Czech Republic. Information provided in scientific publications were used for this purpose.

Klíčová slova: elektromobil, automobil se spalovacím motorem, emise CO₂, bilance emisí CO₂ v životním cyklu

Klíčová slova anglicky: electromobile, automobile with a combustion engine, CO₂ emissions, CO₂ emissions balance in life cycle

Využití: Vyčíslení životního cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem z hlediska emisí v něm vyprodukovaných

Úvod.....	1
1. Klimatická změna	1
1.1. Skleníkové plyny	2
1.1.1. Oxid uhličitý (CO ₂).....	3
1.1.2. Vodní pára (H ₂ O).....	3
1.1.3. Metan (CH ₄)	4
1.1.4. Oxid dusný (N ₂ O)	4
1.2. Kjótský protokol.....	4
1.3. Pařížská dohoda.....	4
2. Zdroje emisí oxidu uhličitého.....	4
3. Typy motorů dle zdroje energie	5
3.1. Spalovací motory	5
3.1.1. Pístové spalovací motory.....	6
3.1.1.1. Zážehový motor	6
3.1.1.2. Vznětový motor	7
3.2. Elektromotor.....	8
4. Zdroje energie pro provoz automobilu.....	8
4.1. Ropa a ropné produkty	9
4.1.1. Benzin	11
4.1.2. Motorová nafta.....	12
4.2. Elektrická energie	13
4.2.1. Energetický mix v České republice v roce 2019.....	15
4.2.1.1. Výpočet průměrné hodnoty emisí CO ₂ na 1 kW vyrobené elektrické energie [g/kWh].....	16
4.2.1.2. Energetický mix v České republice v roce 2030 (předpoklad).....	17
4.2.2. Energetický mix v Norském království.....	18
5. Výroba automobilu	18
5.1. Výroba spalovacího motoru.....	20
5.2. Výroba elektromotoru	20
5.2.1. Výroba baterie	21
5.2.1.1. Problematika získávání surovin	21
6. Provoz automobilu.....	21
6.1. Provoz elektromobilu	22
6.2. Provoz automobilu se zážehovým motorem	23

6.3. Provoz automobilu se vznětovým motorem	24
7. Údržba automobilu	24
8. Likvidace automobilu	25
8.1. Likvidace baterie	26
9. Bilance tvorby emisí CO ₂ v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem	27
10. Porovnání tvorby emisí oxidu uhličitého v životním cyklu elektromobilu v České republice a v Norském království	28
11. Bilance emisí CO ₂ v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem za použití limitních dat	30
12. Závěr	33
Zdroje	35

Úvod

Klimatická změna, tedy globální oteplování, je jednou z největších hrozeb dnešní doby. Skleníkové plyny, oxid uhličitý pak především, jsou její hlavní příčinou. Zdrojem oxidu uhličitého jsou, mimo lidskou činnost, dýchání aerobních organismů, přírodní požáry a vulkanická činnost – to je ale přírůstek pro planetu přirozený a sama ho dokáže vyrovnat pomocí fotosyntézy zelených rostlin a absorpce oceánu. Největším producentem emisí oxidu uhličitého je ale člověk. Od začátku průmyslové revoluce koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře výrazně narostla, to bylo a nadále je působeno přemírou spalování fosilních paliv, kácení lesů a pěstování plodin, které oxidu uhličitého nespotřebují dost. Jedním z nejdůležitějších zdrojů oxidu uhličitého je doprava, proto se musíme zabývat možným přechodem na automobilové motory využívající zdroje energie nespalující fosilní uhliková paliva a zjistit, jak efektivně tím můžeme snížit objem produkce tohoto skleníkového plynu. Ve svojí práci se tedy budu zabývat porovnáním emisí oxidu uhličitého v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. To znamená, že kromě provozu se budu zajímat o emise vytvořené při výrobě automobilu, rafinaci pohonných hmot, údržbě vozu a jeho likvidaci. Zároveň chci v práci poukázat na skutečnost, že provoz elektromobilů není emisně neutrální, jak často tvrdí jejich výrobci.

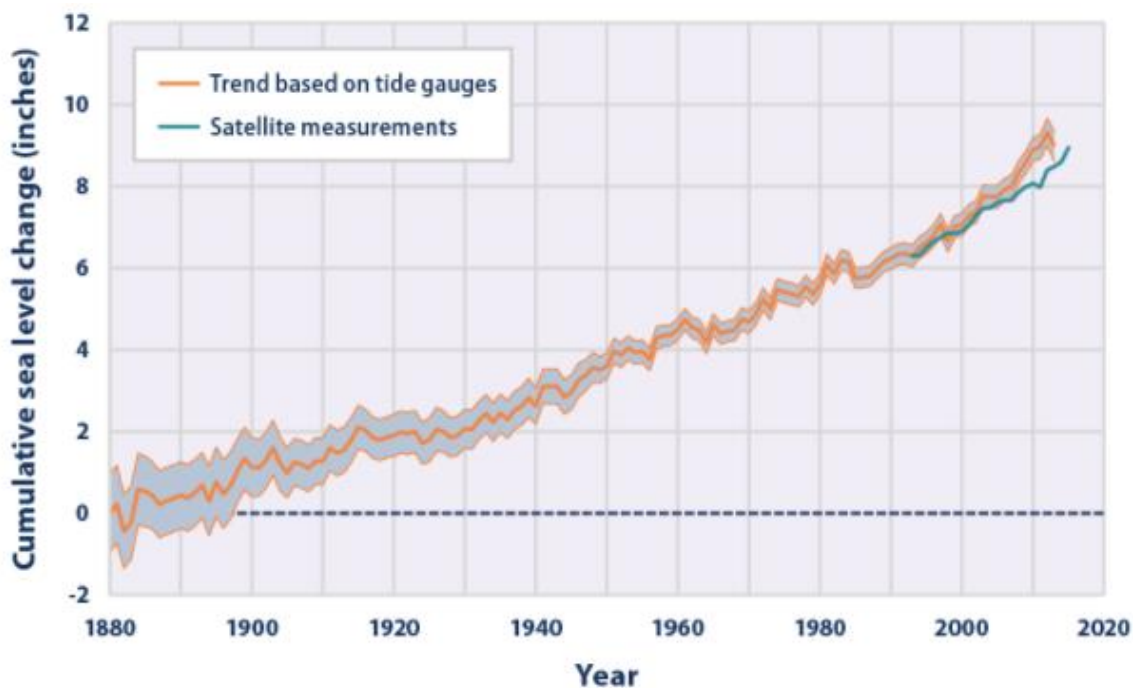
Pro sestavení bilance tedy budu z vhodné literatury čerpat relevantní informace vztahující se k dané problematice a pokusím se vyčíslit, zda je pro běžného českého občana emisně výhodnější pořídit si elektromobil než automobil se spalovacím motorem. Následně porovnam emisní výhodnost provozu elektromobilu v České republice a v Norském království.

1. Klimatická změna

Klimatická změna je jednou z největších hrozeb dnešní doby. Je také zvaná globální oteplování. Jedná se o změny v teplotě na a okolo povrchu Země, které způsobují dlouhodobé změny v projevech počasí.

Efekt globálního oteplování můžeme už delší dobu pozorovat na celé planetě. Od roku 1880 vzrostla průměrná teplota na povrchu Země o 0,85 °C, což nemusí působit jako velký rozdíl. Kdyby však průměrná teplota na planetě klesla o 5 °C, nastala by doba ledová [1].

Dalším podstatným projevem globálního oteplování je zvyšování hladiny moří (celosvětová hladina oceánu se zvedla o 0,19 m mezi lety 1910 a 2010). Dochází k němu kvůli teplotní roztažnosti vody v oceánech a ohřívání vzduchu způsobujícímu tání ledovců a ker, což je znázorněno grafem na obrázku 1. Ohřívání hladiny oceánu také způsobuje, že se zvyšuje jeho kyselost (pH oceánu se snížilo o 0,1 od začátku průmyslové revoluce) [2].

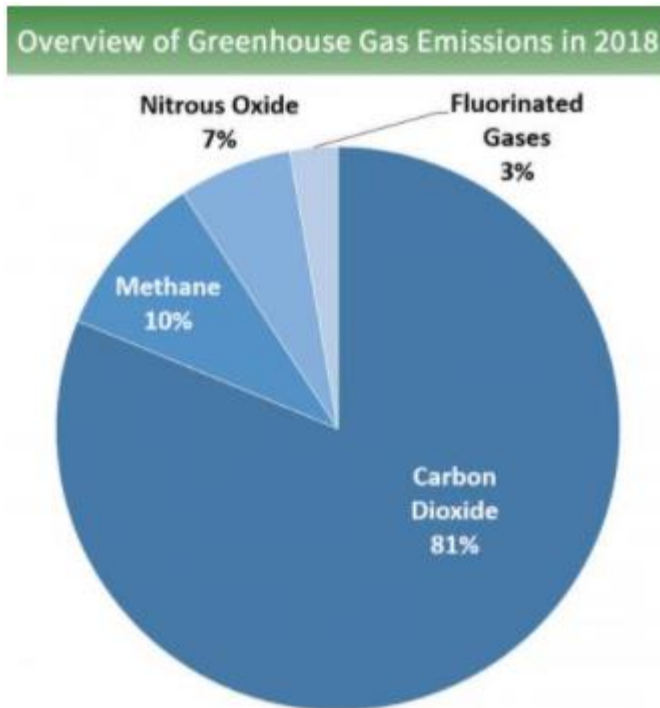


Obrázek 1: Průměrná celosvětová absolutní změna výšky hladiny moře, 1880-2015 [3]

Lidmi zapříčiněné emise skleníkových plynů významně rostou od doby těsně před průmyslovou revolucí, hnány především ekonomickým a populačním růstem, a nyní jsou vyšší než kdy dříve. Efekt antropogenních skleníkových plynů, mezi které se řadí oxid uhličitý, kterým se budu ve své práci zabývat, byl zaznamenán v celém klimatickém systému planety a je extrémně pravděpodobně dominantní příčinou globálního oteplování od poloviny dvacátého století [4].

1.1. Skleníkové plyny

Mezi antropogenní skleníkové plyny se řadí vodní pára, oxid uhličitý (CO_2), methan (CH_4), oxid dusný (N_2O), ozon (O_3), částečně a zcela fluorované uhlovodíky (HFC a PFC), fluorid sírový (SF_6), tvrdé (chlor-fluorované uhlovodíky) a měkké freony (HCFC), halony a řada dalších plynů (např. SF_5CF_3 , NF_3 ...). Na obrázku 2 je znázorněno procentuální rozložení těchto plynů za rok 2018. V této kapitole jsou představeny čtyři nejpodstatnější skleníkové plyny.



Obrázek 2: Celkové emise za rok 2018 = 6,667 mil. tun CO₂ ekv. Procenta zaokrouhlena. [5]

1.1.1. Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý (CO₂) – představující jednu z hlavních komponent skleníkových plynů – je považován za jednu z nejdůležitějších příčin zrychlování klimatické změny a oteplování povrchu Země [6]. Přírodní rovnováha produkce a absorpce oxidu uhličitého je dosažena biosférou naší planety a oceánem. Lidstvo ale tento uhlíkový cyklus narušilo spalováním uhlí, ropy, zemního plynu a biomasy, kácením lesů nebo také pěstováním plodin, které nespotřebují tolik oxidu uhličitého, aby byla rovnováha zachována. Statistiky nám říkají, že ze zkoumaných faktorů měl oxid uhličitý největší podíl na klimatickou změnu mezi lety 1750 a 2005 [7]. Před průmyslovou revolucí dosahovala koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře konstantně 280 ppm, dnes se tato hodnota pohybuje okolo 370 ppm, narostla tedy o více jak 30 % [8].

1.1.2. Vodní pára (H₂O)

Největší objem mezi emisemi všech skleníkových plynů zastává vodní pára, toto je ale důsledkem globálního oteplování, ne přímým důsledkem industrializace. Jak teplota atmosféry roste, dochází k většímu výparu vody. Teplota vzduchu také roste, čímž má vyšší maximální absolutní vlhkost, což způsobuje více páry v atmosféře. Větší koncentrace páry v atmosféře je pak schopna pohltit větší množství tepelné energie vyzařované ze Země a tím dále ohřívat atmosféru [9].

1.1.3. Metan (CH₄)

Metan je extrémně efektivní absorbent radiace, má antropogenní i přírodní zdroje. Za posledních 50 let se zvýšila koncentrace metanu v atmosféře – z 1,52 ppmv v roce 1978 na nyníjších 1,77 ppmv [10] - hlavně vlivem pěstování rýže, chovem dobytka, užíváním zemního plynu a těžbou uhlí.

1.1.4. Oxid dusný (N₂O)

Oxid dusný představuje hrozbu pro ozonovou vrstvu Země, protože s ozonem oxiduje viz. rovnice (1). Zhruba dvě třetiny celkových ročních emisí se uvolňují z půdy přirozenou cestou a zbývající třetina je výsledkem lidské činnosti, např. výroba a užívání průmyslových hnojiv [11].



Vzhledem k faktu, že oxid uhličitý je nejčastějším skleníkovým plynem, budu se v další fázi práce věnovat zejména tomuto plynu.

1.2. Kjótský protokol

Existuje celosvětová snaha o snížení emisí skleníkových plynů. Jedná se o Kjótský protokol [12], který byl podepsán 11. 12. 1997 a vstoupil v platnost 16. 2. 2005. Přes 190 zemí se účastní této snahy snížit emise skleníkových plynů o 5,2 % za období mezi lety 2008–2012 (období prvního závazku) v porovnání s hodnotami skleníkových plynů v atmosféře v roce 1990. V roce 2012 se zúčastněné státy dohodly na období druhého závazku (Doha), tato dohoda přišla v platnost 31. 12. 2020, poté co 34 ze 37 zemí se stanovenými individuálními cíli tuto dohodu ratifikovalo.

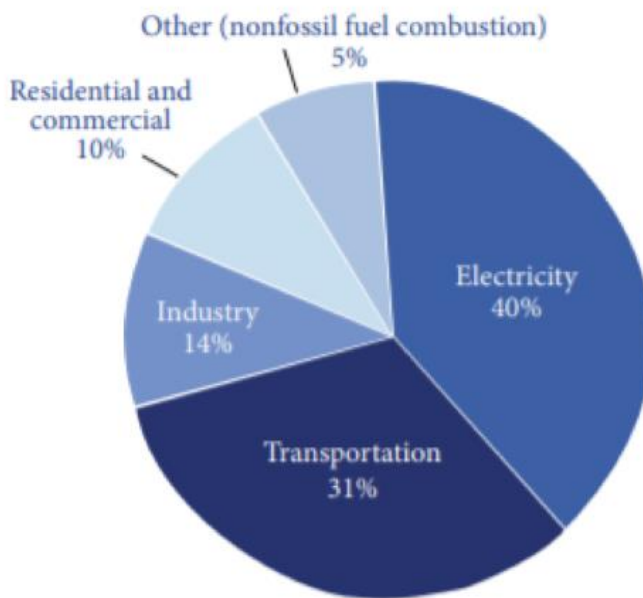
1.3. Pařížská dohoda

Další z iniciativ zabývající se ochranou klimatu je Pařížská dohoda. Ta byla přijata smluvními stranami Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu na konci roku 2015. Tato dohoda formuluje dlouhodobý cíl ochrany klimatu (tj. udržení nárůstu průměrné globální teploty pod hranicí 2 °C v porovnání s obdobím před průmyslovou revolucí a snaha, aby nárůst teploty nepřekročil 1,5 °C) a na rozdíl od Kjótského protokolu ukládá za povinnost stanovit si vnitrostátní redukční příspěvky k dosažení cíle Pařížské dohody nejen rozvinutým, ale i rozvojovým státům [13].

2. Zdroje emisí oxidu uhličitého

Pro dosažení nižších emisí oxidu uhličitého je nutné znát jejich hlavní zdroje. Přirozeným zdrojem oxidu uhličitého je dýchání aerobních organismů, ale tento přírůstek planeta sama vyrovnává pomocí fotosyntézy zelených rostlin a absorpce oceánu. Dalším zdrojem těchto emisí jsou požáry a vulkanická činnost. Největším producentem emisí oxidu uhličitého je

člověk. Z obrázku 3 je patrné, že doprava je jedním z nejpodstatnějších zdrojů oxidu uhličitého, a proto se musíme zabývat možným přechodem na automobilové motory využívající zdroje energie nespalující fosilní uhlíková paliva a zjistit, jak efektivně tím můžeme omezit výrobu tohoto skleníkového plynu.



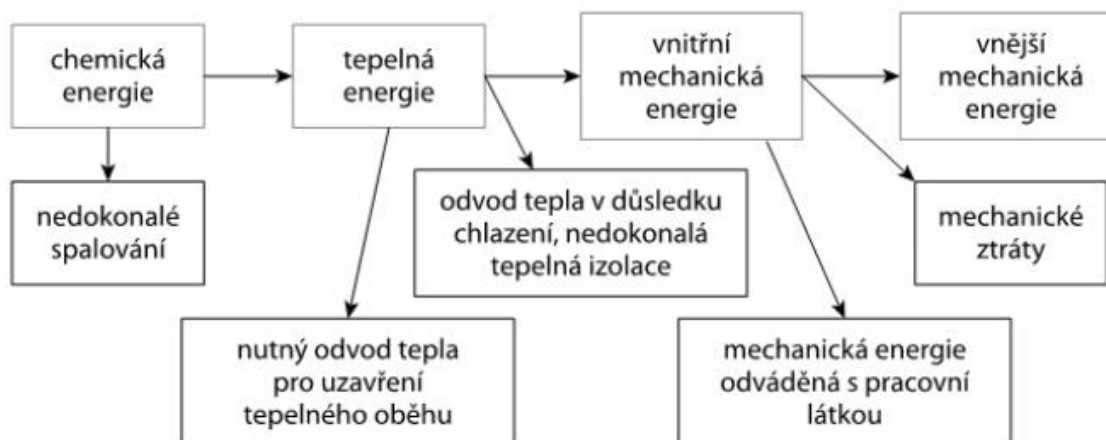
Obrázek 3: Zdroje emisí CO₂ dle sektoru, celosvětově (2019) [14]

3. Typy motorů dle zdroje energie

Existuje mnoho druhů motorů, z nichž nejčastěji používané v automobilovém průmyslu jsou spalovací motory. Nyní je snaha šetřit životní prostředí přechodem na elektromotory, jimiž se budu zabývat později. Dále existují například kapalinové motory, pneumatické motory, magnetické motory a mnoho dalších motorů a jejich variant, které se ale nepoužívají v moderních automobilech, proto je v této práci nebudu detailněji rozebírat.

3.1. Spalovací motory

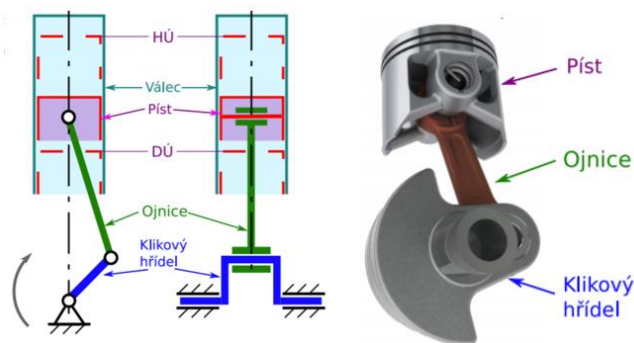
Spalovací motory jsou tepelné stroje, ve kterých probíhá spalování paliva a tím se získává tepelná energie, kterou za použití plynného média motor převádí na mechanickou práci, podrobně zpracované schéma je na obrázku 4. Tyto motory se dělí dle využití energie plynného média na pístové spalovací motory, kde se využije energie potenciální (tlak spalin), a spalovací turbíny, kde se využije energie kinetická (rychlost proudu spalin) [15]. Tyto motory jsou v dnešní době nepoužívanějším pohonem automobilů.



Obrázek 4: Schéma přeměny energie ve spalovacím motoru – obecná transformace chemické energie paliva na mechanickou práci spalovacího motoru [15]

3.1.1. Pístové spalovací motory

Základním prvkem pístového motoru je píst. Tento píst je poháněn tlakovou silou od plynů ve spalovací komoře. Píst se pohybuje, čímž se tlaková síla využije k vytváření (nebo spotřebovávání) mechanické práce. Pohyb pístu je zpravidla posuvný, což komplikuje přímé využití generované práce, protože pro pohon automobilu je nutný pohyb rotační. To je provedeno klikovým mechanismem. Pro zajištění opakovatelnosti procesu generování práce je nutný přímočarý vratný pohyb pístu. Schématické i reálné znázornění klikového mechanismu je zobrazeno na obrázku 5.



Obrázek 5: Schématické znázornění klikového mechanismu s vyznačenými úvratěmi (vlevo) a reálné provedení klikového mechanismu v motoru (vpravo) [16]

3.1.1.1. Zážehový motor

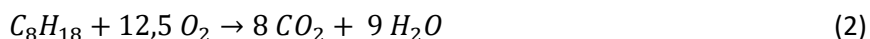
Zážehové motory jsou také zvané benzinové podle převážně používaného paliva. Směs paliva se vzduchem ve válci motoru je zážehována energií z vnějšího zdroje, např. elektrickou jiskrou. Toto se používá také u motorů na plynná paliva jako jsou metan, propan-butan, líh, nebo dříve petrolej. Kompresní poměr je omezen teplotou vznícení palivové směsi, tzn. vznikem detonačního hoření, a v motorech spalujících benzin nabývá

hodnot mezi 9:1 a 12:1 [17]. Motory spalující zemní plyn nebo zkapalněný ropný plyn dosahují o něco vyšších kompresních poměrů, protože mají vyšší oktanové číslo. Účinnost čtyřdobého benzinového zážehového motoru se pohybuje mezi 20 a 33 % [18].

Pracovní cyklus zážehového motoru má čtyři fáze:

1. Sání – v první fázi dochází k nasátí směsi benzínu a vzduchu ve stanoveném poměru skrze sací ventil
2. Komprese – poté píst stlačí směs vzduchu a paliva, která zmenšuje svůj objem, ve směsi tím vznikne tlak a dojde k jejímu zahřátí při maximálním stlačení přeskochí v zapalovací svíčke jiskra, která zapálí směs; v této fázi jsou sací i výfukový ventil uzavřené
3. Expanze – dochází k výbuchu palivové směsi, ve válci se prudce zvýší tlak a teplota, plyny expandují a jak tlačí píst do dolní úvratě, konají práci; v této fázi jsou oba ventily stále uzavřené
4. Výfuk – píst se pohybuje do horní úvratě, výfukový ventil je otevřený a spaliny jsou vytlačeny do výfukového potrubí

Benzin se běžně aproximuje jako čistý oktan s chemickým vzorcem C_8H_{18} . Hoření benzínu je exotermickou reakcí benzínu (paliva) a kyslíku (oxidantu) a začátek této reakce je vyvolán jiskrou ze svíčky. Tato reakce probíhá podle stechiometrické rovnice (2).



Uvolněná energie odpovídá 45.8 MJ/kg nebo 33.7 MJ/l spáleného C_8H_{18} [19] [20].

3.1.1.2. Vznětový motor

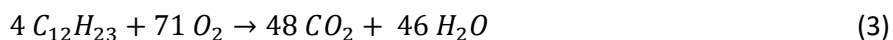
Vznětové motory, jinak jsou také nazývané diesel-motory, jsou specifické tím, že palivo (motorová nafta), které je vstříkováno do válce motoru, se v důsledku teploty vyvolané stlačením vzduchu vznítí, bez nutnosti použití svíčky, nebo jakéhokoliv vnějšího zdroje energie. Pro dosažení teploty potřebné pro vznícení je třeba použít velký kompresní poměr ($\epsilon_{min} = 12$) [2]. Účinnost vznětového motoru je vyšší než motoru zážehového a dosahuje hodnot mezi 38 a 50 % [21].

Pracovní cyklus vznětového motoru má čtyři fáze:

1. Sání – skrz sací ventil je do válce nasáván vzduch, píst se pohybuje do dolní úvratě
2. Komprese – píst se pohybuje do horní úvratě, nasátý vzduch je pístem stlačován, zmenšuje svůj objem, zvětšuje tlak a teplotu a těsně před tím, než píst dosáhne horní úvratě je do válce vstříknuto palivo; oba ventily jsou v této fázi uzavřené
3. Expanze – směs paliva a vzduchu samovznícením vzplane a shoří, ve válci se prudce zvýší tlak a teplota, plyny expandují a jak tlačí píst do dolní úvratě, konají práci; v této fázi jsou oba ventily stále uzavřené

4. Výfuk – píst se pohybuje do horní úvrati, výfukový ventil je otevřený a spaliny jsou vytlačeny do výfukového potrubí

Nafta se běžně aproximuje jako uhlovodík s chemickým vzorcem $C_{12}H_{23}$. Hoření nafty je exotermickou reakcí nafty (paliva) a kyslíku (oxidantu) a tato reakce je spontánní (není k ní potřeba jiskra). Tato reakce probíhá podle stechiometrické rovnice (3). Uvolněná energie odpovídá 45.5 MJ/kg nebo 36.9 MJ/l spáleného $C_{12}H_{23}$ [20].



Nafta má větší hustotu než benzín a obsahuje přibližně 15 % víc energie na stejný objem paliva. Když bereme v úvahu rozdíl mezi energetickou hustotou, vyjde nám vznětový motor asi o 20 % účinnější než zážehový, přestože má větší hmotnost [22].

3.2. Elektromotor

Motory v elektrických vozech jsou podstatně jednodušeji řešeny než spalovací motory v konvenčních automobilech. Vzhledem k zásadně menším rozměrům motorů je možné je umístit přímo do nápravy. Elektromotory díky jejich momentové charakteristice nepotřebují vícestupňovou převodovku, čímž se také radikálně zjednoduší zástavba. Vzhledem k vysokým otáčkám elektromotorů se běžně používá redukční převod. Dnes je nejrozšířenější použití jednoho elektrického třífázového motoru na nápravu. Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na spotřebu, týkajícím se i elektromobilů se do budoucna plánuje použití dvoustupňových převodovek, aby došlo ke snížení spotřeby elektrické energie. V průběhu let se používané elektromotory lišily; nejdříve se používaly motory stejnosměrné, po vyřešení otázky regulace se začaly používat motory střídavé [23].

Důležitou otázkou u elektromobilů je jejich účinnost, která vyjadřuje kolik (elektrické) energie přijaté vozidlem se změní na práci roztáčející kola vozidla. Účinnost elektromotorů v moderních elektromobilech dosahuje hodnot mezi 85 a 90 %. Tato hodnota ovšem není totožná s celkovou účinností elektromobilů (59–62 %), kvůli ztrátám způsobeným nabíjením a vybíjením baterie a u některých typů elektromobilů převáděním střídavého proudu (při dobíjení) na stejnosměrný a následně zpět. Oproti elektromobilům, které jsou vysoce účinné, dosahují automobily se spalovacími motory (benzín) menší celkové účinnosti, konkrétně 17–21 % z energie vázané v palivu [23].

4. Zdroje energie pro provoz automobilu

Pro provoz automobilu potřebujeme zdroj energie. Pro elektromobily je tímto zdrojem elektřina a pro automobily se spalovacím motorem jsou těmito zdroji různá paliva. Jedná se o benzín, naftu, zemní plyn, zkapalněný ropný plyn, vodík atp. V této kapitole představím

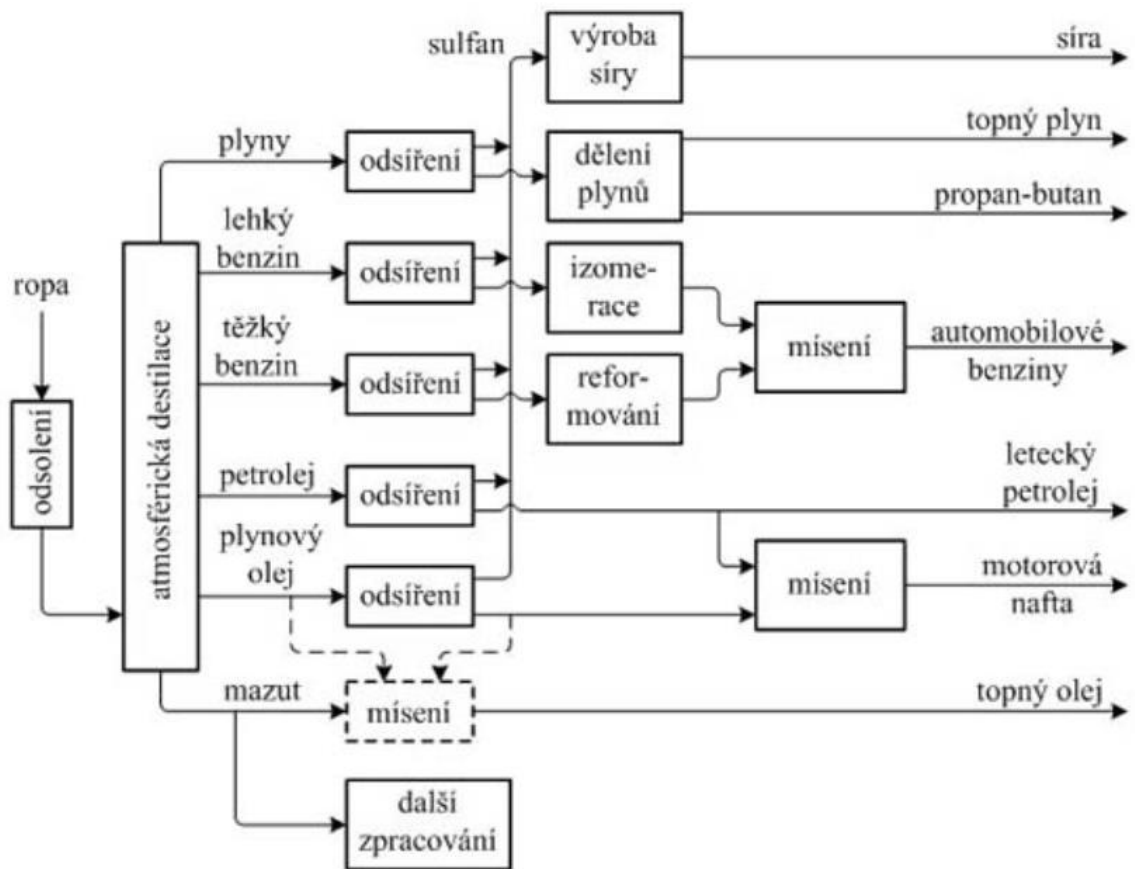
v současnosti nejpoužívanější zdroje energie pro automobily, tedy elektřinu a dva ropné deriváty – benzin a motorovou naftu.

4.1. Ropa a ropné produkty

Ropa je směs tekutých uhlovodíků, především alkanů, a je základní surovinou petrochemického průmyslu. Je nutnou součástí moderní společnosti, neboť ta se bez ní neobejde. Používá se při výrobě plastů, fosilních paliv (detailně se budu zabývat pouze benzinem a motorovou naftou, jako nejčastějšími palivy pro automobily se spalovacími motory), výrobě elektřiny a má mnoho dalších využití. Ropa se neustále tvoří geochemickými procesy z matečních hornin, ale taková přeměna trvá milióny až desítky miliónů let, tudíž z našeho hlediska se jedná o neobnovitelný zdroj energie.

Před zpracováním je ropa odsolována. Základem jejího zpracování je proces kontinuální rektifikace, při níž jsou při atmosférickém tlaku v kolonách oddělovány jednotlivé skupiny uhlovodíků podle jejich bodu varu (ropné frakce viz. obrázek 6). Získané produkty jsou nejprve hydrorafinovány, čímž jsou z nich selektivně odstraněny organicky vázané prvky, jako je síra, dusík a případně i kyslík. Takto zpracované meziprodukty se podrobují mnoha dalším procesům sekundárního zpracování ropy, aby se dosáhlo zpracování těžkých ropných frakcí a jejich přeměny na frakce lehčí [24].

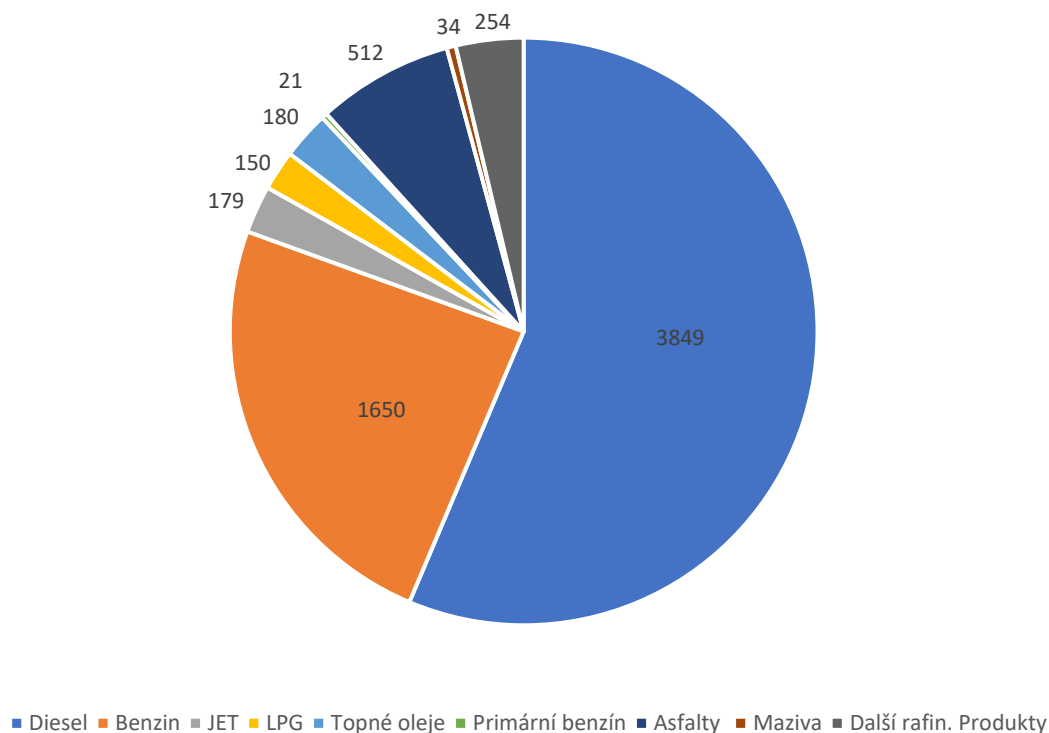
Těžba, doprava, rafinace, vlastně každý proces s ropou spojený, má negativní vliv na životní prostředí. Za poměrně málo významný můžeme považovat vliv na ovzduší spojený s těžbou a dopravou ropy. Emise tvořené těžbou ropy jsou odhadovány na 0,05 % ročně vyprodukovaných emisí a doprava ropy představuje při obvyklé vytíženosti ropných vrtů jen nepatrné navýšení dopravní frekvence [25]. Zato při zpracování ropy se do ovzduší uvolňuje podstatné množství emisí nejen oxidu uhličitého, ale i oxidů dusíku, prachových částic, oxidu siřičitého, těkavých organických sloučenin, odpadní vody a tuhého odpadu. Na každý milion tun zpracované surové ropy rafinérie v Evropě emitují 20–820 tisíc tun oxidu uhličitého [26]. Obrovský rozptyl hodnot emisí je způsoben hlavně rozdíly v legislativních opatřeních v jednotlivých státech Evropy a také rozdíly ve struktuře jednotlivých rafinérií a propojení jednotlivých procesů. Dále můžeme pozorovat negativní vlivy hluku, vlivy na faunu a flóru, na podzemní a povrchovou vodu, na půdu a na geologii a hydrogeologii. Můžeme tedy říct, že závislost lidstva na ropě se negativně projevuje ve všech aspektech životního prostředí.



Obrázek 6: Schéma zpracování frakcí z atmosférické destilace ropy na jednotlivá paliva [27]

UNIPETROL RPA je vlastníkem obou českých rafinérií, které vyrábí pohonné hmoty. Za rok 2017 vyprodukovala skupina UNIPETROL 3 849 tis. tun motorové nafty [28], což je 56,4 % celkového objemu výroby, a 1 650 tis. tun benzínu [28], což je 24,2 % z celkového objemu výroby společnosti UNIPETROL a.s., což je znázorněno na obrázku 7. Pro výpočet emisí oxidu uhličitého použijeme předpoklad, že lze říct, že při výrobě každého produktu této společnosti se vyrobí stejné množství oxidu uhličitého. Za rok 2017 se ve společnosti UNIPETROL RPA, pod kterou spadají rafinerie, vyrobilo 3 324 kt oxidu uhličitého [29]. S uvažováním předpokladu o rovnosti výroby všech produktů můžeme říct, že při výrobě motorové nafty se vyrobilo 1 874,7 kt oxidu uhličitého a při výrobě benzínu se vyrobilo 804,8 kt oxidu uhličitého.

Prodejní objemy rafinérských produktů UNIPETROL; rok 2017, [tis. tun]



Obrázek 7: Objem výroby společnosti UNIPETROL a.s. 2017 [28]

Pro další výpočty potřebujeme převést objem motorové nafty a benzinu na litry. Předpokládám hustotu benzinu $0,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a hustotu motorové nafty $0,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ [30]. Takže společnost UNIPETROL za rok 2017 vyprodukovala 2 200 000 tis. litrů benzinu a 4 582 143 tis. litrů motorové nafty. Na jeden litr benzinu se tedy vyrobí 366 g oxidu uhličitého a na jeden litr motorové nafty se vyrobí 409 g oxidu uhličitého.

4.1.1. Benzin

Benzin je uhlovodíková směs kapalin ropného původu, která je klasifikovaná svými fyzikálními vlastnostmi spíše než specifickým chemickým složením, a která má více využití. Její hlavní využití je jako palivo v zážehových spalovacích motorech, ale například i jako rozpouštědlo nátěrových hmot. Vyrábí se v ropných rafinériích, ale přímý benzin vyroben destilací z ropy nespĺňuje požadavky současných motorů, proto se používá jako součást směsi. Benzin je na rozdíl od nafty extrémně hořlavý, a proto platí u benzinových pump přísná pravidla zakazující manipulaci s ohněm.

Základem typického benzinu jsou uhlovodíky (4–12 atomů uhlíku v molekule), ale hodně uhlovodíků je považováno za nebezpečné a podléhají regulaci, jde například o benzen,

toluen, naftalen a víc jak 10 dalších. Mezi důležité složky benzinové směsi patří: reformát, katalyticky krakovaný benzin/nafta, hydrokrakát, přímý naftový destilát, alkylát a izomerát. Terminologie se liší dle rafinerie a státu. Typický benzin je tedy především směs parafinů (alkanů), naftenů (cykloalkanů) a olefinů (alkenů), a jejich přesné poměry závisí na konkrétní rafinerii, použité ropě a cílové třídě benzínu (oktanovém čísle). Benzin ještě může obsahovat různá aditiva, například ethery, a kontaminanty, hlavně sloučeniny síry, které se musí odstraňovat za pomoci Clausova procesu, aby nezpůsobily korozi motorů [31].

Kvalita benzínu je nepřímo úměrná hustotě, která se pohybuje mezi 0,64 a 0,77 g·cm⁻³. Teplota varu benzínu se pohybuje mezi 60 a 120 °C, přičemž za kvalitnější je považován benzin s nižší teplotou varu [30].

Pro stanovení množství emisí vytvořených při spalování jednoho litru benzínu, postupuji následovně. Uvažuji benzin s hustotou 0,75 g·cm⁻³ s obsahem uhlíku 87 % [32]. Nejprve spočítám, kolik je gramů uhlíku v jednom litru benzínu mC_{ben} dle rovnice (4), kde m_{ben} značí hmotnost jednoho litru benzínu a cC_{ben} koncentraci uhlíku v benzínu v procentech. Celkové emise vyrobené při spálení jednoho litru benzínu es_{ben} spočítám jako součet gramů kyslíku nutných pro hoření benzínu mO_{ben} a uhlíku obsaženém v benzínu mC_{ben} dle rovnice (5). Jeden litr benzínu váží 750 g a pro spálení jednoho litru benzínu je třeba 1740 gramů kyslíku [32].

$$mC_{ben} = \frac{m_{ben} \cdot cC_{ben}}{100} \quad (4)$$

$$mC_{ben} = \frac{750 \cdot 87}{100} = 652 \text{ g}$$

$$es_{ben} = mO_{ben} + mC_{ben} \quad (5)$$

$$es_{ben} = 1740 + 652 = 2392 \text{ g}$$

Množství vyrobených emisí při spálení jednoho litru benzínu je 2392 g oxidu uhličitého.

4.1.2. Motorová nafta

Stejně jako benzin je nafta směsí kapalných uhlovodíků a získává se destilací a rafinací z ropy při teplotách mezi 150 a 370 °C. Slouží jako palivo pro vznětové spalovací motory, kde stlačený vzduch dosahující vysoké teploty nejprve naftu zahřeje, posléze i zapálí. Zahřátí nafty je důležité, protože není tak hořlavá jako benzin a bez předehřátí by nevzplála.

Kvalita motorové nafty je dána jejím cetanovým číslem, které vyjadřuje její vznětovou charakteristiku a je předepsána normou ČSN EN 590. Tato norma udává právě cetanové číslo, destilační křivku, bod vzplanutí, obsah síry a dalších aditiv (například povinný obsah

bio složky FAME/MEŘO), vody a nečistot. Jelikož podmínkou kvalitní nafty je vysoký obsah dlouhých nerozvětvených parafinických uhlovodíků, které při nízkých teplotách vytvářejí krystaly, může nafta v zimě zatuhnout (tzv. „zamrzávání“ je vratný proces parafinace nafty). Tudíž je v zimních měsících vyráběna takzvaná klasická zimní motorová nafta, která musí splňovat určitá kritéria, aby nedocházelo k vytěsňování parafinických látek [33].

Hustota nafty je $0,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a její teplota varu se pohybuje mezi 163 a $357 \text{ }^\circ\text{C}$ [30]. Díky tomu, že poměr paliva a vzduchu ve válci u diesel motorů se může pohybovat mezi 18:1 a 70:1, tzn. že na stejný objem vzduchu ve válci může být vstříknuto mnohem méně paliva než u motorů benzinových (které mají tento poměr většinou mezi 12:1 a 18:1 a vyžadují velkou měrou homogenní směs paliva se vzduchem), je spotřeba dieselových motorů nižší než motorů benzinových [33].

Pro stanovení množství emisí vytvořených při spalování jednoho litru motorové nafty, postupují následovně. Uvažují naftu s hustotou $0,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ s obsahem uhlíku $86,2 \%$ [32]. Nejprve spočítám, kolik je gramů uhlíku v jednom litru nafty mC_{lnaf} dle rovnice (6), kde m_{lnaf} značí hmotnost jednoho litru nafty a cC_{lnaf} koncentraci uhlíku v naftě v procentech. Celkové emise vyrobené při spálení jednoho litru nafty es_{naf} spočítám jako součet gramů kyslíku nutných pro hoření nafty mO_{lnaf} a uhlíku obsaženém v naftě mC_{lnaf} dle rovnice (7). Jeden litr nafty váží 840 g a pro spálení jednoho litru nafty je třeba 1920 gramů kyslíku [32].

$$mC_{lnaf} = \frac{m_{lnaf} \cdot cC_{lnaf}}{100} \quad (6)$$

$$mC_{lnaf} = \frac{840 \cdot 86,2}{100} = 724 \text{ g}$$

$$es_{naf} = mO_{lnaf} + mC_{lnaf} \quad (7)$$

$$es_{naf} = 1920 + 724 = 2644 \text{ g}$$

Množství vyrobených emisí při spálení jednoho litru motorové nafty je 2644 g oxidu uhličitého.

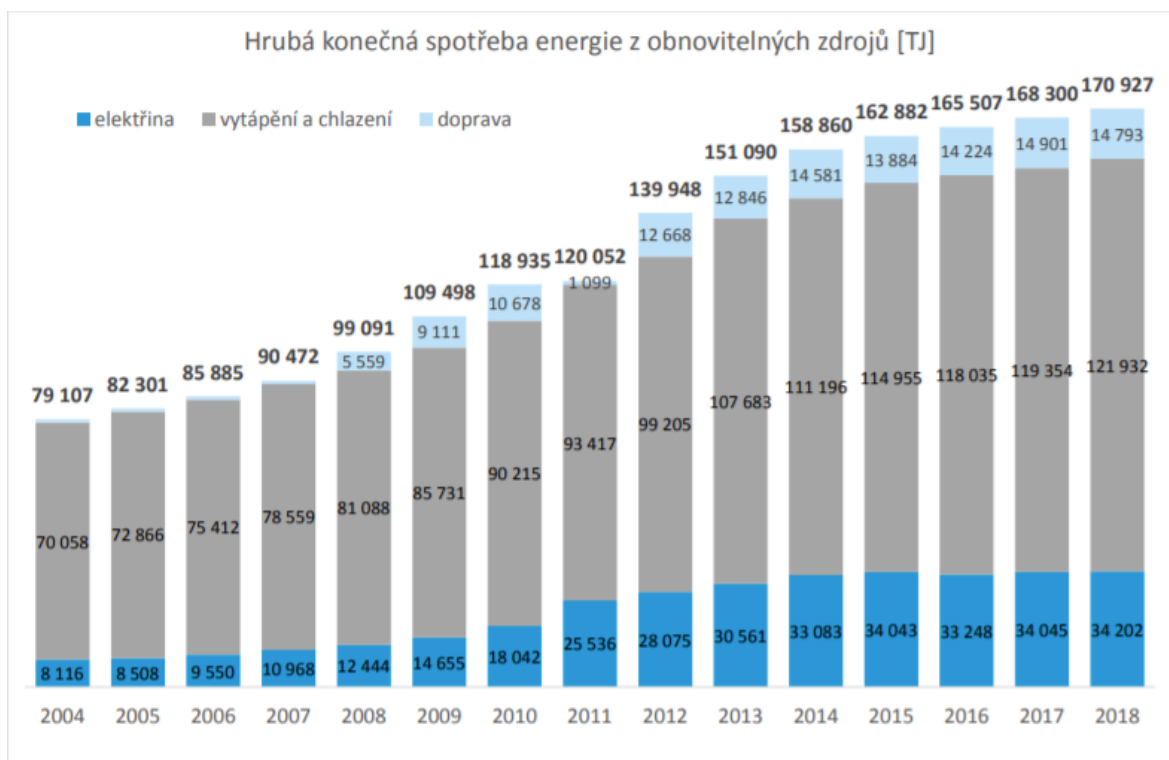
4.2. Elektrická energie

Elektrická energie je nutná pro veškerý průmysl a v dnešní době i pro život jako takový. K výrobě elektřiny nám slouží elektrárny různých typů, lišící se způsobem získávání energie (tepelné, jaderné, fotovoltaické elektrárny) a zdroji energie (uhlí, jádro, vítr, voda, sluneční záření atd.). Nejčastěji se využívá přeměny energie vázané ve zdroji na energii tepelnou,

poté mechanickou, kterou je poháněn elektrický generátor. Podmínkou výroby elektrické energie je otáčivý pohyb rotoru, který je roztáčen turbínou poháněnou pohybovou energií [34].

Celosvětově ve výrobě elektřiny převažují fosilní paliva tzn. paliva z neobnovitelných zdrojů (např. hnědé uhlí, černé uhlí, zemní plyn), která jsou spalována a vzniklá tepelná energie se mění na mechanickou např. využitím páry. Dále je hojně využívána jaderná energie někdy též zvaná atomová, která vzniká řízenou štěpnou reakcí. Při této reakci jsou těžká atomová jádra Uranu (popř. Plutonia) ostřelována neutrony a energie vzniklá štěpením těchto atomů vymrští tzv. dceřiná jádra, která se sráží s dalšími atomy a jejich pohybová energie se tím mění na energii tepelnou [34].

Existuje snaha o rozšíření využití obnovitelných zdrojů energie (OZE), což jsou takové zdroje, které mají schopnost se úplně nebo částečně obnovovat a mají svůj původ v procesech, které probíhají v jádru Slunce nebo souvisejí s geofyzikálními pochody na Zemi. Řadíme mezi ně energii větru, slunečního záření, vody, geotermální energii a energii vázanou v biomase. Při přeměně z primární energie na využitelnou formu energie mají tyto zdroje minimální dopad na životní prostředí [35]. Výsledky této snahy o rozšíření využití OZE jsou patrné na obrázku 8.



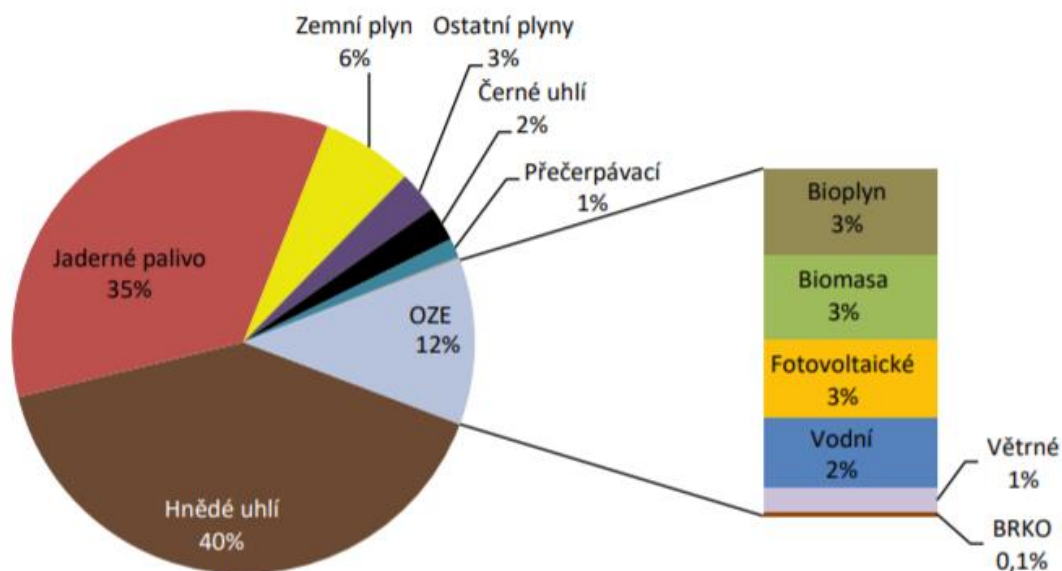
Obrázek 8: Vývoj konečné spotřeby energie z obnovitelných zdrojů v ČR mezi roky 2004 a 2018 (brutto) [36]

4.2.1. Energetický mix v České republice v roce 2019

Podíl určitých typů elektráren na celkové výrobě elektrické energie nazýváme energetickým mixem.

Největší podíl na vyrobené energii v České republice (data z roku 2019) mají uhelné elektrárny spalující hnědé uhlí – 40 %, a jaderné elektrárny – 35 %, dále elektrárny využívající obnovitelné zdroje – 12 %, které zahrnují elektrárny spalující bioplyn – 3 %, biomasu – 3%, fotovoltaické elektrárny - 3 %, vodní elektrárny – 2 %, větrné elektrárny – 1 % a elektrárny spalující tuhý komunální odpad (BRKO) - 0,1 %, další elektrárny jsou takové, které spalují zemní plyn – 6 %, ostatní plyny – 3 %, černé uhlí – 2 % a posledním typem elektráren vyskytujícím se v České republice jsou elektrárny přečerpávací – 1 %. Toto rozdělení je znázorněno na obrázku 9, zobrazujícím energetický mix České republiky v roce 2019. V tabulce 1 je uveden objem výroby elektrické energie podle typu elektrárny v české republice v roce 2019 v GWh.

Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto - 2019



Obrázek 9: Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny v ČR v roce 2019 (brutto), procenta zaokrouhlena [37]

Tabulka 1: Výroba elektřiny v ČR v roce 2019 [37]

Bilance elektřiny - zdroje [GWh]													
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Výroba elektřiny brutto	8 557,2	7 747,0	7 507,4	6 892,0	7 165,8	6 149,7	5 728,7	6 517,1	6 994,1	8 011,0	7 838,3	7 880,4	86 988,7
Jaderné (JE)	2 739,5	2 599,9	2 295,9	2 229,0	2 902,3	2 348,6	1 885,0	2 219,1	2 369,2	2 975,7	2 941,5	2 740,4	30 246,2
Parní (PE)	4 448,4	3 917,1	3 901,9	3 399,8	3 140,5	2 487,6	2 576,5	3 006,1	3 281,2	3 565,9	3 669,8	3 992,1	41 386,7
Paroplynové (PPE)	548,2	416,1	250,4	301,0	272,0	488,3	496,5	539,2	604,5	650,5	551,6	400,1	5 518,5
Plynové a spalovací (PSE)	352,7	315,4	337,6	302,8	294,1	259,0	262,8	262,3	273,3	322,5	342,2	351,8	3 676,7
Vodní (VE)	229,1	217,0	349,6	230,6	177,7	129,9	97,3	92,9	96,7	159,3	105,5	122,5	2 008,0
Přečerpávací (PVE)	105,7	79,2	93,8	89,9	93,1	67,2	85,3	99,8	104,1	112,2	98,8	137,7	1 166,7
Větrné (VTE)	80,8	64,4	84,9	62,7	51,6	36,3	28,2	27,4	44,9	62,2	72,7	84,0	700,0
Fotovoltaické (FVE)	52,7	137,9	193,2	276,3	234,6	332,8	297,1	270,3	220,3	162,7	56,3	51,8	2 285,9
Výroba elektřiny netto	8 001,0	7 238,0	7 003,9	6 422,1	6 686,6	5 725,9	5 319,3	6 058,0	6 525,1	7 485,3	7 324,1	7 355,4	81 144,8
Jaderné (JE)	2 593,6	2 459,5	2 168,5	2 103,2	2 746,7	2 215,5	1 776,5	2 092,0	2 244,1	2 813,9	2 780,9	2 587,7	28 582,2
Parní (PE)	4 068,3	3 576,4	3 555,0	3 083,7	2 843,1	2 226,2	2 304,8	2 703,9	2 966,5	3 233,4	3 345,1	3 648,0	37 554,4
Paroplynové (PPE)	542,3	410,8	247,5	297,1	269,0	482,2	490,6	532,9	597,5	643,1	545,4	395,6	5 454,0
Plynové a spalovací (PSE)	333,7	297,8	317,9	284,6	276,1	240,9	244,1	243,6	255,6	303,5	323,5	332,9	3 454,2
Vodní (VE)	227,3	215,2	347,2	228,8	176,3	128,8	96,5	92,1	95,9	158,0	104,5	121,4	1 991,9
Přečerpávací (PVE)	104,3	78,2	92,6	88,7	91,9	66,4	84,2	98,5	102,7	110,7	97,5	135,9	1 151,5
Větrné (VTE)	79,7	63,5	83,8	61,8	50,9	35,8	27,8	27,0	44,3	61,5	71,8	83,0	691,0
Fotovoltaické (FVE)	51,8	136,6	191,5	274,0	232,7	330,2	294,7	268,1	218,4	161,2	55,4	50,9	2 265,5

zdroj dat: výkaz ERÚ-E1, OTE, a.s.

4.2.1.1. Výpočet průměrné hodnoty emisí CO₂ na 1 kW vyrobené elektrické energie [g/kWh]

Pro výpočet bilance emisí v celém životním cyklu elektromobilu potřebuji znát průměrnou hodnotu emisí na jednu vyrobenou kilowatthodinu elektrické energie v České republice. Tu spočítám jako vážený průměr s pomocí dat z obrázku 9 a tabulky 2, které jsem shrnula do tabulky 3. Protože počítám průměrnou hodnotu, použiji průměrné hodnoty z tabulky 2. Dále zanedbám přečerpávací elektrárny, protože nejsou podstatnou součástí českého energetického mixu a nepodařilo se mi získat relevantní data k emisní náročnosti takového typu elektrárny.

Tabulka 2: Emise CO₂ tvořené určitým typem elektrárny na kWh [38]

Palivo	Vyprodukované emise CO ₂ [g/kWh]
Černé, hnědé uhlí	1 000 - 1 100
Jaderné palivo	90 - 140
Obnovitelné zdroje	10 - 40
Zemní plyn a ostatní plyny	330 - 360

Tabulka 3: Data nutná k výpočtu váženého průměru dle rovnice (8).

Palivo	Zastoupení v energetickém mixu ČR [%]	Vyprodukované emise CO ₂ [g/kWh]
Černé, hnědé uhlí	42	1050
Jaderné palivo	35	115
Obnovitelné zdroje	12	25
Zemní plyn a ostatní plyny	9	345

Pro výpočet průměrné hodnoty použijí rovnici (8), kde $n_{CO_2 i}$ značí průměrné emise určitého typu elektrárny na jednu kilowatthodinu elektrické energie a w_i značí procentuální hodnotu zastoupení určitého druhu elektrárny v energetickém mixu České republiky. Index i označuje konkrétní typ elektrárny – *čhú* pro elektrárny spalující černé a hnědé uhlí, *jp* pro elektrárny využívající jaderné palivo, *oz* pro elektrárny čerpající energii z obnovitelných zdrojů a *zpop* pro elektrárny spalující zemní plyn a ostatní plyny. Celkový průměr značím jako $\overline{n_{CO_2}}$.

$$\overline{n_{CO_2}} = \frac{\sum_{i=1}^n n_{CO_2 i} \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (8)$$

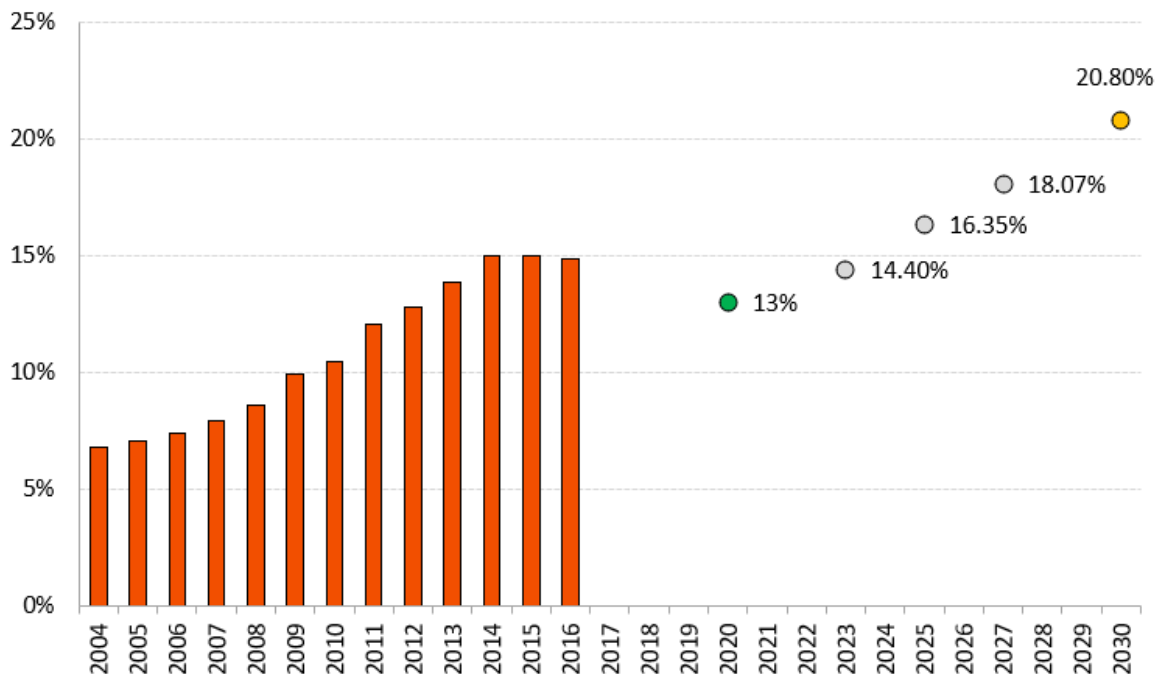
$$\overline{n_{CO_2}} = \frac{w_{\text{čhú}} \cdot n_{CO_2 \text{ čhú}} + w_{\text{jp}} \cdot n_{CO_2 \text{ jp}} + w_{\text{oz}} \cdot n_{CO_2 \text{ oz}} + w_{\text{zpop}} \cdot n_{CO_2 \text{ zpop}}}{w_{\text{čhú}} + w_{\text{jp}} + w_{\text{oz}} + w_{\text{zpop}}}$$

$$\overline{n_{CO_2}} = \frac{42 \cdot 1050 + 35 \cdot 115 + 12 \cdot 25 + 9 \cdot 345}{42 + 35 + 12 + 9} = \frac{51\,530}{98} = 523 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$$

Průměrná hodnota emisí CO₂ vytvořených při výrobě jedné kilowatthodiny elektrické energie v České republice je $\overline{n_{CO_2}} = 523 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$.

4.2.1.2. Energetický mix v České republice v roce 2030 (předpoklad)

Ministerstvo průmyslu a obchodu, odbor 41100, [39, str. 3] uvádí, že „Dne 30. listopadu 2016 představila Evropská komise energetický balíček s názvem Čistá energie pro všechny Evropany. Tento legislativní balíček obsahuje celem tři nařízení týkající se trhu s elektřinou, rizikové připravenosti v oblasti elektroenergetiky a správy Energetické unie. Balíček dále obsahuje čtyři směrnice, které se zabývají obnovitelnými zdroji energie, energetickou účinností, energetikou náročností budov a trhu s elektřinou. Česká republika navrhuje jako optimální nastavit hodnotu cíle energie z OZE (příspěvku ČR) do roku 2030 ve výši 20,8 %, která odpovídá geografickým, klimatickým a ekonomickým možnostem České republiky.“ Na obrázku 10 je znázorněn reálný průběh vývoje podílu OZE na konečné spotřebě energie do roku 2016, kdy byl tento graf zpracován, od roku 2016 je znázorněn předpoklad dalšího vývoje s kontrolními body, které znázorňují minimální nutný podíl OZE na konečné spotřebě energie až do roku 2030.



Obrázek 10: průběh trajektorie podílu z OZE na konečné spotřebě energie mezi roky 2004–2030 pro ČR včetně kontrolních bodů [39]

4.2.2. Energetický mix v Norském království

Zcela odlišný energetický mix od České republiky má Norské království. Téměř 98 % vyrobené elektřiny se vyrábí v elektrárnách využívající obnovitelné zdroje energie, zbylá energie se vyrábí v teplárnách spalujících fosilní paliva. Zdaleka největší podíl má energie vyrobená ve vodních elektrárnách (96 % veškeré vyrobené elektřiny), dále využívají větrných elektráren (1,4 %) a elektrárny spalující obnovitelné zdroje energie (0,1 %) [40]. Už jen z tohoto rozložení výroby elektřiny je patrné, že na jednu kilowatthodinu se v Norsku vyprodukuje podstatně menší množství oxidu uhličitého než v České republice. Tato hodnota odpovídala $\overline{n_{CO2nor}} = 16,4 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$ v roce 2017 [40].

5. Výroba automobilu

Do bilance celkových emisí oxidu uhličitého v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem je nutné zahrnout emise dané výrobou různých dílů pro všechny druhy automobilů, kterými se v práci zabývám. Všechny automobily se vyrábí na masivních výrobních linkách. Výroba automobilu začíná zpravidla lisováním dílů, kde veškerou práci konají výrobní stroje a lidští zaměstnanci pouze dohlíží za podpory počítačů na správný chod lisovacích linek. Každý díl se vyrobí za zhruba dvacet vteřin a takových dílů je na jeden automobil potřebných až šedesát. Tyto díly poté putují do svařovny, kde jsou svařeny v karoserii. Svaření karoserie zabere běžně používaným strojům do šedesáti vteřin. Karoserie je dále nalakována roboty a je přesunuta do montážní haly. Zde se do ní

namontují všechny exteriérové i interiérové prvky auta – motor, převodovka, kola, volant, zrcátka atd. v případě elektromobilu jsou místo motoru a palivové nádrže instalovány baterie a elektromotor. Po doplnění všech provozních kapalin je automobil testován z důvodu spolehlivosti a bezpečnosti. Provádí se jak testy na trati se zkušebním řidičem, tak tzv. vodní test, při kterém se kontroluje utěsnění vozidla, a také světelný test, kterým se kontrolují detaily na vozidle. Poté může automobil zamířit do prodeje.

Při výrobě automobilu nebo elektromobilu se vyrobí také velké množství oxidu uhličitého. Výrobu automobilu můžeme rozdělit do několika skupin:

- Výroba základních komponent
- Výroba specializovaných komponent
- Výroba baterií a doplňků
- Sestavení

Oxid uhličitý vzniká v každé fázi výroby. Při výrobě elektromobilu se vyrobí podstatně více oxidu uhličitého než při výrobě automobilu se spalovacím motorem. To je dáno několika faktory:

Z tabulky 4 vidím, že tělo auta a karoserie jsou na výrobu – jak energeticky, tak – emisně (o 59 % [41]) víc náročné u elektromobilů, což je dáno hlavně větší vahou těchto částí, to značí použití více materiálu. Když uvažuji specializované komponenty jako zážehový motor nebo převodovku, je jejich výroba emisně náročnější u automobilů se spalovacím motorem kvůli větší váze a složitější kompozici. Zato trakční motor a elektronický řadič se vyskytují pouze u elektromobilů, tudíž ve výsledku je výroba celé skupiny specializovaných komponent emisně náročnější u elektromobilů a to o 3 %. Výroba baterií a doplňků je opět náročnější u elektromobilů, protože při výrobě Li-ionových baterií používaných v elektromobilech se vyrobí více než stonásobně víc oxidu uhličitého než při výrobě olověných baterií používaných v automobilech se spalovacím motorem [41]. Sestavení elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem je stejně náročné, ale do kompletního sestavení elektromotoru musíme zahrnout i sestavení Li-ionové baterie, tudíž kompletní sestava elektromobilu je o něco náročnější než kompletní sestavení automobilu se spalovacím motorem [41]. Výroba vznětového motoru je emisně náročnější o 20,8 % [42] než výroba zážehového motoru. Toto je dáno hlavně větší hmotností takového motoru, tudíž je nutno použít více materiálu a vyprodukuje se víc emisí oxidu uhličitého. Jestliže se při výrobě zážehového motoru vyprodukuje 2090 kg CO₂ [41], pak se při výrobě vznětového motoru vyprodukuje 2530 kg CO₂ a celkové vyprodukované emise na jeden automobil se vznětovým motorem budou 9610 kg CO₂, což je o 4,75 % více než při výrobě automobilu se zážehovým motorem a o 34,38 % méně než při výrobě elektromobilu.

Tabulka 4: kolik kg CO₂ se uvolní při výrobě jednotlivých částí elektromobilu nebo automobilu se zážehovým motorem [41]

Součást		Emise CO ₂ na jeden vyrobený automobil [kg]	
		AUTOMOBIL SE ZÁŽEHOVÝM MOTOREM	ELEKTROMOBIL
ZÁKLADNÍ KOMPONENTY	Karosérie vč. interiéru, exteriéru a skel	2767,9	4393,5
	Šasi (bez baterie)	1684,7	2665,5
SPECIÁLNÍ KOMPONENTY	Hnací pohon	2092,5	145,6
	Převodovka	617,4	455,2
	Trakční motor	/	1179,1
	Elektronický řadič	/	1010,2
BATERIE A DOPLŇKY	Olověný akumulátor	24,5	15,1
	Li-ionové baterie	/	2788,8
	Provozní kapaliny	230,2	98,3
	Pneumatiky	677,1	677,1
SESTAVENÍ	Sestavení olověných akumulátorů	14,1	8,7
	Sestavení li-ionové baterie	/	141,5
	Sestavení vozidla	1064,1	1064,1
CELKEM		9172,5	14642,5

5.1. Výroba spalovacího motoru

Prvním krokem při výrobě spalovacího motoru je odlití těla motoru z oceli. Další části motoru jsou ukovány pomocí kovacích strojů a jejich forem. Následně se součásti strojově obrábí, aby se dosáhlo finálního tvaru v zadané přesnosti. Poté se smontují s dalšími předpřipravenými komponenty, jeden motor je složen z nejméně 300 součástí. Pak následuje testování motoru a pokud motor splní všechna kritéria provozu, je odvezen na montážní linku a nainstalován do automobilu.

5.2. Výroba elektromotoru

Při výrobě elektromotoru do aut se začíná výrobou a sestavou rotoru a statoru. Pak jsou vyrobeny koncové rámy a všechny součásti jsou poslány na sestavení. V poslední fázi výroby jsou koncové rámy, stator, rotor a různé další malé součásti sestaveny v motor, ten je pak testován, nabarven a připraven k převozu na montážní linku.

5.2.1. Výroba baterie

Li-ionové baterie používané v elektromobilech jsou vyrobeny z několika surovin, jako je grafit, uhlík, kovové oxidy a sůl lithia. Z těchto prvků jsou vyrobeny elektrody a v kombinaci s vhodným elektrolytem vytváří elektrický proud. Podobné baterie se používají v moderních technologiích, které využíváme denně, jako jsou například notebooky nebo mobilní telefony.

5.2.1.1. Problematika získávání surovin

Při výrobě Li-inových baterií se vytvoří velké množství oxidu uhličitého, není to ale jediný ekologický problém, který výroba těchto baterií přináší. Těžba lithia není příliš náročný proces, ale je zdoluhavý a neekologický. Horníci vyvrtají díru do solné plošiny a vypumpují na povrch roztok bohatý na minerály. Po několika měsících se vypaří dostatek vody a zbude mix manganových, hořčíkových, boraxových a lithiových solí. Tento mix je poté filtrován a uložen do dalšího „bazénku“. Po 12 až 18 měsících tohoto procesu je mix dostatečně vyfiltrován a je možné extrahovat uhličitán lithný. Jedním ze zásadních problémů těžby lithia je náročnost na spotřebu vody. Na vytěžení jedné tuny lithia se spotřebuje asi 1.9 mil. litrů vody [43]. Dále je zde velké nebezpečí kontaminace okolí chemikáliemi a zbytkovými produkty při těžbě lithia, jako je například kyselina chlorovodíková [43]. Těžba lithia se také podepisuje na vzhledu krajiny a nevratně do něj zasahuje. Globální zásoby lithia nejsou nekonečné, je odhadováno, že dostupné zdroje obsahují 25,5 mil. tun lithia [44], což by mělo pokrýt stále rostoucí poptávku ještě pár let. Nejdepresivnější odhady počítají s vytěžením celosvětové zásoby lithia do roku 2025 [45].

6. Provoz automobilu

Další zdroj emisí, který nesmí v bilanci chybět, je provoz automobilu. Provozem automobilu se rozumí doba mezi koupí automobilu a jeho likvidací. Každý automobil za svůj životní cyklus vyprodukuje jiné množství oxidu uhličitého, protože tato hodnota je závislá na mnoha faktorech: na počtu najetých kilometrů, účinnosti motoru nebo spotřebě paliva, druhu paliva a jeho kvalitě, dokonce i na stylu jízdy řidiče. Pokusím se tedy uvažovat průměrná data platící pro průměrného občana České republiky vlastního osobního automobilu.

Běžná česká rodina vlastní jeden automobil a průměrně ročně naježdí 20 000 km [46]. Životnost automobilu bývá mezi 200 000 – 300 000 km [47], tento údaj se výrazně mění podle více faktorů. Když pominu možnost nehody a zdemolování automobilu, odvíjí se životnost hlavně podle stylu užívání vozidla a zejména podle toho, jestli je vůz pravidelně a kvalitně udržován. Pokud je o automobil dobře postaráno a není vystaven extrémním podmínkám nebo používání, může se dožít nájezdu i 400 000 km [47]. Pro mou práci budu

uvažovat průměrnou hodnotu životnosti automobilu při běžném užívání a údržbě a to 300 000 km, což platí jak pro automobily se spalovacím motorem, tak pro elektromobily.

V posledních letech se čím dál většimu zákaznickému úspěchu těší modely aut typu SUV, budu tedy srovnávat tři automobily, které jsou běžně dostupné na českém trhu a jejich využití i rozměry jsou dle mého názoru srovnatelné. Jedná se o tři vozy automobilky Škoda, a to: Škoda KAROQ Ambition s benzinovým motorem 1,5 TSI 110kw, Škoda KAROQ Ambition s dieslovým motorem 2,0 TDI 110kw a Škoda ENYAQ iV 80 s elektrickým motorem s výkonem 150 kW s baterií s kapacitou 82 kWh [48], další důležitá data jsou vypsána v tabulce 5.

Tabulka 5: Data k automobilům, pro něž počítám bilanci [48]

	Škoda KAROQ Ambition	Škoda KAROQ Ambition	Škoda ENYAQ iV 80
Motor	1,5 TSI 110 kw	2,0 TDI 110 kw	Elektromotor 150kW
Li-ionová baterie	-	-	82/77 kWh
Převodovka	6 stupňová	6 stupňová	1 stupňová
Palivo	Benzin 95	Diesel	Elektřina
Maximální rychlost	207 km/h	207 km/h	207 km/h
Emise udávané výrobcem	139 g/km	126 g/km	0 g/km
Spotřeba	6,1 l/100km	4,8 l/100km	16,7 kWh/100km
Cena	Od 697 900 Kč	Od 702 900 Kč	Od 1 202 900 Kč

6.1. Provoz elektromobilu

Běžně zmiňované emise spojované s automobily se tvoří spalováním paliva v motoru. Tudíž nám přijde, že emise vyrobené při provozu elektromobilu jsou zdánlivě nulové, i samotné automobilky to tak uvádějí. Je to ale pravda jen z části, protože elektřina používaná pro provoz automobilu musí být někde vyrobena, říkáme tedy, že elektromobil má „výfuk v elektrárně“. Emise plynoucí z provozu elektromobilu za celý jeho životní cyklus tedy spočítám z průměrných emisí vyprodukovaných na 1 kWh v tuzemských elektrárnách a ze spotřeby Škody ENYAQ iV 80 udávané výrobcem dle rovnic (9), (10) a (11), při předpokladu dojezdové životnosti tohoto elektromobilu 300 000 km. Při počítání elektrické spotřeby elektromobilu musím vzít v úvahu i účinnost dobíjení (střední účinnost dobíjení baterií v elektromobilech je 85,7 % [49]) a trvalé technické ztráty v přenosové síti v České republice (22,5 % [50]). Nejprve spočítám celkovou životní spotřebu elektrické energie $s_{z_{el}}$ tak, že vydělím spotřebu na 100 km $s_{100km_{el}}$ stem, abych dostala spotřebu na jeden kilometr a tuto hodnotu vynásobím dojezdovou životností $d_{\dot{z}}$. Pak spočítám reálnou spotřebu

elektrické energie za život elektromobilu $rsž_{el}$ zahrnutím účinnosti dobíjení elektromobilu $údob$ a ztrát přenosové sítě $zpřs$. Emise způsobené provozem elektromobilu v celém jeho životním cyklu $epž_{el}$ spočítám jako reálnou spotřebu elektrické energie za život elektromobilu násobenou průměrnými emisemi vytvořenými za produkci jedné kilowatthodiny elektrické energie v České republice $\overline{n_{CO_2}}$.

$$sž_{el} = \frac{s100km_{el}}{100} \cdot dž \quad (9)$$

$$sž_{el} = \frac{16,7}{100} \cdot 300\,000 = 50\,100 \text{ kWh}$$

$$rsž_{el} = \frac{sž_{el}}{údob} + zpřs \quad (10)$$

$$rsž_{el} = \frac{50\,100}{0,857} + \frac{50\,100 \cdot 22,5}{85,7} = 71\,613,2 \text{ kWh}$$

$$epž_{el} = rsž_{el} \cdot \overline{n_{CO_2}} \quad (11)$$

$$epž_{el} = 71\,613,2 \cdot 523 = 37\,453\,700 \text{ g} = 37\,453,7 \text{ kg}$$

Množství emisí oxidu uhličitého vytvořeného při provozu elektromobilu za celý jeho životní cyklus je 37 453,7 kg.

6.2. Provoz automobilu se zážehovým motorem

Emise tvořené při provozu automobilu se spalovacím zážehovým motorem spočítám podle rovnic (12) a (13). Předpokládám spotřebu paliva udávanou výrobcem $s100km_{záž}$ a dojezdovou životnost tohoto automobilu 300 000 km. Nejprve spočítám životní spotřebu benzínu jako spotřebu automobilu na kilometr násobenou dojezdovou životností $dž$ dle rovnice (12). Pak spočítám emise tvořené provozem automobilu $epž_{záž}$ tak, že sečtu emise vytvořené spálením jednoho litru benzínu es_{ben} s emisemi vytvořenými při výrobě jednoho litru benzínu ev_{ben} a vynásobím životní spotřebou automobilu se zážehovým motorem dle rovnice (13).

$$sž_{záž} = \frac{s100km_{záž}}{100} \cdot dž \quad (12)$$

$$sž_{záž} = \frac{6,1}{100} \cdot 300\,000 = 18\,300 \text{ l}$$

$$epž_{záž} = (es_{ben} + ev_{ben}) \cdot sž_{záž} \quad (13)$$

$$epž_{záž} = (2\,392 + 366) \cdot 18\,300 = 50\,471\,400 \text{ g} = 50\,471,4 \text{ kg}$$

Množství emisí oxidu uhličitého vytvořeného při provozu automobilu se se spalovacím zážehovým motorem za celý jeho životní cyklus je 50 471,4 kg.

6.3. Provoz automobilu se vznětovým motorem

Emise tvořené při provozu automobilu se spalovacím vznětovým motorem spočítám podle rovnic (14) a (15). Předpokládám spotřebu paliva udávanou výrobcem $s_{100km_{vzň}}$ a dojezdovou životnost tohoto automobilu 300 000 km. Nejprve spočítám životní spotřebu motorové nafty jako spotřebu automobilu na kilometr násobenou dojezdovou životností $dž$ dle rovnice (14). Pak spočítám emise tvořené provozem automobilu $epž_{vzň}$ tak, že sečtu emise vytvořené spálením jednoho litru nafty es_{naf} s emisemi vytvořenými při výrobě jednoho litru nafty ev_{naf} a vynásobím životní spotřebou automobilu se vznětovým motorem dle rovnice (15).

$$sž_{vzň} = \frac{s_{100km_{vzň}}}{100} \cdot dž \quad (14)$$

$$sž_{vzň} = \frac{4,8}{100} \cdot 300\,000 = 14\,400\,l$$

$$epž_{vzň} = (es_{naf} + ev_{naf}) \cdot sž_{vzň} \quad (15)$$

$$epž_{vzň} = (2\,644 + 409) \cdot 14\,400\,l = 43\,963\,200\,g = 43\,963,2\,kg$$

Množství emisí oxidu uhličitého vytvořeného při provozu automobilu se se spalovacím vznětovým motorem za celý jeho životní cyklus je 43 963,2 kg.

7. Údržba automobilu

Každý automobil je třeba pravidelně udržívat, abychom dosáhli správných jízdních vlastností a zvýšili životnost automobilu. Nejvýznamnější součásti z hlediska produkce oxidu uhličitého, které je nutné pravidelně měnit, jsou pneumatiky a autobaterie pro všechna vozidla; motorový olej a chladicí kapalina pro automobily se spalovacím motorem a Li-ionová baterie pro elektromobily. Přehled součástí podléhajících pravidelné výměně, intervaly výměny a emise, které jsou výrobou těchto součástí vytvořeny, je zobrazen v tabulce 6. Hodnoty v tabulce 6 jsou čerpány z literatury [41], [51] a [48]. Dojezdovou životnost všech tří typů automobilů předpokládám 300 000 km.

Tabulka 6: Přehled součástí, které je třeba měnit, intervaly výměny a emisní náročnost

Název součásti	Interval výměny [km]	Emise CO ₂ [kg CO ₂ /výměna]
Pneumatiky	40 000 [51]	108 [51]
Autobaterie	50 000 [51]	19,5 [51]
Motorový olej	15 000 [48]	3,22 [51]
Chladicí kapalina	27 000 [51]	7,03 [51]
Li-ionová baterie	160 000 [51]	2788,8 [41]

Z tabulky je patrné, že výměna určitých částí proběhne několikrát za život automobilu. Pneumatiky bude nutno měnit 8krát (zaokrouhлено), autobaterii 6krát, motorový olej se bude měnit 20krát, chladicí kapalina 11krát (zaokrouhлено) a Li-ionová baterie jednou za celý život automobilu. Tudíž celkové emise způsobené údržbou $e_{úž_{spl}}$ a $e_{úž_{el}}$ spočítám podle rovnice (16) pro automobily se spalovacím motorem a podle rovnice (17) pro elektromobil.

$$e_{úž_{spl}} = 8 \cdot pneu + 6 \cdot autobaterie + 20 \cdot mot.olej + 11 \cdot chladicí kap. \quad (16)$$

$$e_{úž_{spl}} = 8 \cdot 108 + 6 \cdot 19,5 + 20 \cdot 3,22 + 11 \cdot 7,03 = 1\,122,73 \text{ kgCO}_2$$

$$e_{úž_{el}} = 8 \cdot pneu + 6 \cdot autobaterie + Li - ion baterie \quad (17)$$

$$e_{úž_{el}} = 8 \cdot 108 + 6 \cdot 19,5 + 2788,8 = 3\,769,8 \text{ kgCO}_2$$

8. Likvidace automobilu

V dnešní době je jediná legálně možná likvidace vozidla likvidace ekologická. Po předání automobilu vrakovišti dojde k demontáži všech snadno odmontovatelných a cenných součástí a také součástí obsahující nebezpečné látky jako jsou například autobaterie nebo katalyzátor. Poté jsou deaktivovány airbagy a odborně vypuštěny všechny provozní kapaliny, které zahrnují palivo, brzdovou kapalinu, motorový olej a olej v převodovce a v servomotorech řízení, hydraulický olej, chladicí kapalinu a nemrznoucí směsi včetně ostřikovačů. Dále jsou demontovány olejový a palivový filtr. Po vypuštění všech kapalin se otvory zaslepí, aby nedocházelo ke kontaminaci okolí. Pak jsou odmontována kola a světlá, vyříznuta skla a demontovány veškeré součásti elektroinstalace (motorky, serva, startér) včetně kabeláže. V posledním kroku demontáže se vyjme interiér vozidla, odřežou se velké

separovatelné kusy karoserie (např. dveře, kapota, chladič) a nakonec se odmontuje výfukové ústrojí, nápravy a hnací agregát. Po demontáži zůstane jen samotná karoserie, která se slisuje nebo rozdrtí a odešle do hutí k dalšímu použití. Všechny získané suroviny se rozdělí do dvou kategorií na dále recyklovatelné druhotné suroviny a suroviny, které recyklovat nelze, a které je nutné odevzdat k dalšímu zpracování do spaloven, nebo zaplatit uložení na skládku.

Likvidace automobilu se spalovacím motorem a elektromobilu (mimo baterie) je obdobně náročná na produkci emisí CO₂. Likvidaci automobilu můžeme rozdělit na čtyři části, a to jsou demontáž, slisování/drcení, transport, skládkování. Demontáž je energeticky i emisně zanedbatelná oproti ostatním částem likvidace automobilu [42]. Celkové emise CO₂ vyprodukované při likvidaci automobilu odpovídají hodnotě 66 kgCO₂ a dílčí hodnoty vyprodukovaných emisí při každé části likvidace jsou vidět v tabulce 7.

Tabulka 7: kolik kg CO₂ se uvolní při jednotlivých částech likvidace automobilu [42]

PROCES	EMISE CO ₂ [kgCO ₂]
Slisování/drcení	24
Transport	4
Skládkování	38

8.1. Likvidace baterie

Jsou dvě možnosti likvidace baterie, první je skládkování a druhá je recyklace. Recyklací baterie se rozumí její rozebrání na jednotlivé součásti a původní suroviny, nebo její využití v jiné aplikaci. Abychom předešli budoucímu nedostatku surovin, používaných při výrobě baterií, jedná se zejména o kobalt, nikl a lithium, potřebujeme recyklovací procesy. V dnešní době je recyklováno zhruba 5 % Li-ionových baterií na konci jejich životního cyklu [52], v některých oblastech světa je tato hodnota ještě menší. Recyklace Li-ionových baterií má několik fází – nejprve je baterie kompletně vybita, pak se rozebere na jednotlivé součásti (hliník a měď se odevzdávají k recyklaci příslušným závodům), následují mechanické procesy (drcení, prosévání, třídění). Dále se uplatňují procesy pyrometalurgie a hydrometalurgie v různých kombinacích, aby se dosáhlo co největšího výtěžku recyklovaných materiálů [53]. Dnes využívané konvenční recyklační procesy dosahují účinnosti mezi 27 a 96 % [53]. Evropská Unie v poslední době navrhuje, aby výrobci elektromobilů a baterií, byli zodpovědní za recyklaci svých výrobků. Například Nissan používá staré autobaterie k pohánění automaticky řízených vozidel, která se starají o

dopravu součástí pracovníkům, ve svých továrnách. Volkswagen dělá totéž, a zároveň otevřel svůj první recyklovací závod v Salzgitteru v Německu a v pilotní fázi provozu plánuje recyklaci až 3 600 elektromobilových baterií ročně [52]. Renault recykluje všechny své baterie, ale jde o v globálním měřítku o ne příliš podstatné množství – jen několik set ročně [52]. Likvidaci baterií nemohu zahrnout do bilance emisí oxidu uhličitého, jelikož se mi nepodařilo najít žádný zdroj, který by se touto problematikou z emisního hlediska zabýval.

9. Bilance tvorby emisí CO₂ v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem

Pro sestavení samotné bilance jsem potřebovala zjistit data týkající se emisí tvořených během celého životního cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. Ten se skládá ze čtyř částí – tedy z výroby, provozu, údržby a likvidace. Pro elektromobil bylo tím pádem nutné zjistit emisní náročnost výroby všech komponent včetně Li-ionové baterie. Dále pak emisní náročnost provozu tzn. jaké množství emisí je vyprodukováno na jednu kilowatthodinu elektrické energie v České republice, jaké množství elektrické energie spotřebuje mnou vybraný elektromobil na 100 km, jaké jsou ztráty přenosové sítě v České republice a jaká je účinnost dobíjení elektromobilu. Pro výrobu automobilů se spalovacím motorem bylo nutné zjistit emisní náročnost výroby všech součástí včetně zážehového a vznětového motoru. Pro provoz bylo nutné zjistit jaké množství emisí se vytvoří při spalování jednoho litru paliva (benzinu, motorové nafty), jaké množství emisí se vytvoří při jeho rafinaci z ropy a kolik litrů paliva spotřebuje automobil na 100 km. Pro údržbu elektromobilu i automobilu se spalovacím motorem bylo nutné zjistit, které součásti podléhají pravidelné výměně, jak často výměna probíhá a kolik emisí se při ní vytvoří (při výměně Li-ionové baterie tuto hodnotu nahrazuji hodnotou emisí vytvořených při její výrobě). Pro likvidaci všech druhů mnou uvažovaných automobilů bylo nutné zjistit emisní náročnost slisování či drcení, transportu a skládkování. Všechna zjištěná data jsem sečetla a uvedla v tabulce 8.

Z důvodů nedostatku zdrojů a relevantních informací jsem musela aproximovat emise vzniklé při rafinaci paliv z ropy a musela jsem tak zcela zanedbat emise tvořené při transportu ropy a paliv. Dále jsem ze stejného důvodu musela zanedbat emisní náročnost rozebírání baterií, ve své bilanci tedy vycházím z předpokladu, že v současné době se baterie recyklují hlavně využitím v jiných aplikacích, čímž se nevytváří žádné emise.

Tabulka 8: Bilance životního cyklu automobilů se spalovacím motorem a elektromobilu

Části životního cyklu	Automobil se zážehovým motorem	Automobil se vznětovým motorem	Elektromobil
Výroba [kgCO ₂]	9 172,5	9 607,7	14 642,5
Provoz [kgCO ₂]	50 471,4	43 963,2	37 453,7
Údržba [kgCO ₂]	1 122,7	1 122,7	3 769,8
Likvidace [kgCO ₂]	66,0	66,0	66,0
CELKEM [kgCO₂]	60 832,6	54 759,6	55 932,0

Z výsledků mé bilance je patrné, že emisně nejmíň náročný je životní cyklus automobilu se vznětovým motorem, naopak nejvíce náročný je životní cyklus automobilu se zážehovým motorem. Důvodem skutečnosti, že elektromobil není emisně nejvýhodnější, je hlavně emisní náročnost výroby baterie a energetický mix České republiky. Elektromobil je jen o málo emisně nevýhodnější než dieselový automobil, ale do výpočtu není zahrnuta případná likvidace baterie. Můžu tedy říct, že všechny tři typy automobilu jsou řádově srovnatelné a žádný není výrazně lepší ani výrazně horší, co se týče emisí oxidu uhličitého vyprodukovaných v jeho životním cyklu, beru-li v úvahu data pro Českou republiku. Elektromobil má oproti automobilům se spalovacím motorem nespornou výhodu, a sice že při jeho provozu se emise tvoří v elektrárně, což znamená, že nepřispívá ke znečištění vzduchu ve městech, naproti tomu ale přispívá znečištění vzduchu v oblastech přilehlých elektrárnám. Plošný přechod na elektromobily by tedy v našich podmínkách byl výhodný pouze pro ovzduší ve městech, ne pro ovzduší v České republice jako takové.

10. Porovnání tvorby emisí oxidu uhličitého v životním cyklu elektromobilu v České republice a v Norském království

Z výsledků mé bilance z kapitoly 9 se může zdát, že přechod na elektromobily neřeší problém tvorby emisí oxidu uhličitého způsobený osobní automobilovou dopravou. Tato skutečnost platí pro Českou republiku, hojně využívající elektrickou energii tvořenou spalováním fosilních paliv, neplatí však pro země s vysokým podílem elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie. Takovou zemí je například Norské království, které využívá většinu energie z obnovitelných zdrojů. Emise vytvořené při výrobě, údržbě a likvidaci elektromobilu v Česku a v Norsku se nebudou lišit, ale emise vytvořené během provozu elektromobilu se díky odlišným energetickým mixům lišit budou. Emise tvořené provozem elektromobilu v České republice počítám dle rovnic (9), (10) a (11), emise tvořené provozem elektromobilu v Norském království spočítám ekvivalentním výpočtem dle rovnic (18), (19) a (20). Výpočet provedu pro Škodu ENYAQ iV 80 s elektrickým motorem

s výkonem 150 kW s baterií s kapacitou 82 kWh se spotřebou na 100 km $s_{100km_{el}} = 16,7 kWh/100 km$. Účinnost dobíjení baterie elektromobilu *údob* bude totožná a budu předpokládat stejné ztráty rozvodové sítě *zpřs* a stejnou dojezdovou životnost *dž*. Průměrná hodnota emisí oxidu uhličitého na jednu vyrobenou kilowatthodinu elektrické energie v Norsku je $\overline{n_{CO2nor}} = 16,4 gCO2/kWh$ [40].

$$sž_{el} = \frac{s_{100km_{el}} \cdot dž}{100} \quad (9)$$

$$sž_{el} = \frac{16,7}{100} \cdot 300\,000 = 50\,100 kWh$$

$$rsž_{el} = \frac{sž_{el}}{údob} + zpřs \quad (10)$$

$$rsž_{el} = \frac{50\,100}{0,857} + \frac{50\,100 \cdot 22,5}{85,7} = 71\,613,2 kWh$$

$$epž_{el} = rsž_{el} \cdot \overline{n_{CO2}} \quad (11)$$

$$epž_{el} = 71\,613,2 \cdot 523 = 37\,453\,700 g = 37\,453,7 kg$$

$$sž_{el} = \frac{s_{100km_{el}} \cdot dž}{100} \quad (18)$$

$$sž_{el} = \frac{16,7}{100} \cdot 300\,000 = 50\,100 kWh$$

$$rsž_{el} = \frac{sž_{el}}{údob} + zpřs \quad (19)$$

$$rsž_{el} = \frac{50\,100}{0,857} + \frac{50\,100 \cdot 22,5}{85,7} = 71\,613,2 kWh$$

$$epž_{el} = rsž_{el} \cdot \overline{n_{CO2}} \quad (20)$$

$$epž_{elnor} = 71\,613,2 \cdot 16,4 = 1\,174\,457 g = 1\,174,5 kg$$

Z výsledků rovnic (11) a (20) je patrné, že provozovat elektromobil v Norsku, které vyrábí 98 % elektrické energie z obnovitelných zdrojů [40], je emisně podstatně výhodnější než v České republice. Při provozu elektromobilu v Norsku se vytvoří o 96,9 % emisí oxidu uhličitého méně než při provozu v Česku.

Kdybychom tedy předpokládali, že by Česká republika měla stejně emisně náročný energetický mix jako Norsko a všechny ostatní vstupy bilance by byly stejné, bylo by v České republice až třikrát výhodnější provozovat elektromobil než automobil se spalovacím motorem, ať už zážehovým nebo vznětovým (viz. tabulka 9). Tímto srovnáním chci demonstrovat fakt, že plošný přechod na elektromobilitu má smysl, ale jen v zemích, kde se elektrická energie vyrábí způsoby, které znečišťují ovzduší jen minimálně.

Tabulka 9: Bilance životního cyklu automobilů se spalovacím motorem a elektromobilů s předpokladem energetického mixu České republiky a Norského království

Části životního cyklu	Automobil se zážehovým motorem	Automobil se vznětovým motorem	Elektromobil (energetický mix ČR)	Elektromobil (energetický mix Norsko)
Výroba [kgCO ₂]	9 172,5	9 607,7	14 642,5	14 642,5
Provoz [kgCO ₂]	50 471,4	43 963,2	37 453,7	1 174,5
Údržba [kgCO ₂]	1 122,7	1 122,7	3 769,8	3 769,8
Likvidace [kgCO ₂]	66,0	66,0	66,0	66,0
CELKEM [kgCO₂]	60 832,6	54 759,6	55 932,0	19 652,8

11. Bilance emisí CO₂ v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem za použití jiných dat

Číselné hodnoty emisí v částech životního cyklu automobilu se spalovacím motorem nebo elektromobilu se mohou lišit dle zdroje dat a metodiky výpočtu. V této kapitole se pokusím nastínit další možnost srovnání těchto automobilů z hlediska emisí oxidu uhličitého, která se liší od bilance z kapitoly 9. Tato bilance, na rozdíl od bilance z kapitoly 9, zahrnuje hodnoty emisí produkovaných při provozu automobilu udávané výrobcem, údržbu vozidla více odpovídající realitě (lidský faktor – majitelé automobilů málokdy dodržují intervaly pro výměnu součástí doporučené výrobcem) a Li-ionové baterie vyrobeny méně šetrným způsobem k životnímu prostředí.

Při uvažování stejného postupu a emisní náročnosti výroby elektromobilu s použitím jiné hodnoty emisí (emise CO₂, které se vyprodukují při výrobě jedné Li-ionové baterie do elektromobilu, odpovídají 6337 kg [42]) se emise oxidu uhličitého vzniklé při výrobě elektromobilu zvýší o 24,2 %. Celkové emise oxidu uhličitého vyprodukované při výrobě jednoho elektromobilu tedy budou 18 190,9 kg, viz. tabulka 10.

Tabulka 10: kolik kg CO₂ se uvolní při výrobě jednotlivých částí elektromobilu [41] a Li-ionové baterie [42]

Součást		Emise CO ₂ na jeden vyrobený automobil [kg]
		ELEKTROMOBIL
ZÁKLADNÍ KOMPONENTY	Karosérie vč. interiéru, exteriéru a skel	4393,5
	Šasi (bez baterie)	2665,5
SPECIÁLNÍ KOMPONENTY	Hnací pohon	145,6
	Převodovka	455,2
	Trakční motor	1179,1
	Elektronický řadič	1010,2
BATERIE A DOPLŇKY	Olověný akumulátor	15,1
	Li-ionové baterie	6337
	Provozní kapaliny	98,3
	Pneumatiky	677,1
SESTAVENÍ	Sestavení olověných akumulátorů	8,7
	Sestavení li-ionové baterie	141,5
	Sestavení vozidla	1064,1
CELKEM		18 190,9

Emise tvořené provozem automobilu se spalovacím motorem mohou spočítat z dat uváděných výrobcem, viz tabulka 5. Emisní náročnost provozu automobilu se spalovacím motorem ($ep_{vzáz}$ pro automobil se zážehovým motorem a $ep_{vzvž}$ pro automobil se vznětovým motorem) tedy spočítám dle rovnic (21) a (22) tak, že vytvořené emise udávané výrobcem na jeden kilometr (e_{vben} pro automobil se zážehovým motorem a e_{vmaf} pro automobil se vznětovým motorem) vynásobím dojezdovou životností $dž$, kterou stále předpokládám 300 000 km pro oba automobily.

Zážehový motor

$$epž_{vzáž} = e_{vben} \cdot dž \quad (21)$$

$$epž_{vzáž} = 139 \cdot 300\,000 = 41\,700\,000\,g \\ = 41\,700\,kg$$

Vznětový motor

$$epž_{vvzň} = e_{vnaf} \cdot dž \quad (22)$$

$$epž_{vvzň} = 126 \cdot 300\,000 = 37\,800\,000\,g \\ = 37\,800\,kg$$

Emise oxidu uhličitého vzniklé při provozu automobilu se zážehovým motorem dle výrobce jsou $epž_{vzáž} = 41\,700\,kg$ a emise oxidu uhličitého vzniklé při provozu automobilu se vznětovým motorem dle výrobce jsou $epž_{vvzň} = 37\,800\,kg$.

Hodnoty emisí vznikající údržbou se budou měnit v závislosti na intervalech výměny vybraných součástí a na emisní náročnosti výroby Li-ionové baterie elektromobilu, která se bude měnit jednou za celý životní cyklus tohoto automobilu. Intervaly výměny běžných součástí v bilanci z kapitoly 9 byly brány jako nejkratší možné tzn. doporučené, zde tedy používám hodnoty více se blížíící realitě, viz tabulka 11.

Tabulka 11: Přehled součástí, které je třeba měnit, intervaly výměny odpovídající každodenní realitě a emisní náročnost

Název součásti	Interval výměny [km]	Emise CO ₂ [kg CO ₂ /výměna]
Pneumatiky	50 000	108 [51]
Autobaterie	80 000	19,5 [51]
Motorový olej	20 000	3,22 [51]
Chladicí kapalina	40 000	7,03 [51]
Li-ionová baterie	160 000 [51]	6337 [42]

Z tabulky 11 je patrné, že výměna určitých částí proběhne v tomto případě méněkrát v životním cyklu automobilu než v případě, který je popsán v tabulce 6. Pneumatiky bude nutno měnit 6krát a autobaterii 4krát (zaokrouhlo) jak u automobilu se spalovacím motorem, tak u elektromobilu. Motorový olej se bude měnit 15krát a chladicí kapalina 8krát (zaokrouhlo) u automobilu se spalovacím motorem a Li-ionová baterie jednou za celý život elektromobilu. Tudíž celkové emise způsobené údržbou $e_{úž_{splr}}$ a $e_{úž_{elr}}$ spočítám podle rovnice (23) pro automobily se spalovacím motorem a podle rovnice (24) pro elektromobil.

$$e_{\dot{u}\dot{z}_{splr}} = 6 \cdot pneu + 4 \cdot autobaterie + 15 \cdot mot. olej + 8 \cdot chladicí kap. \quad (23)$$

$$e_{\dot{u}\dot{z}_{splr}} = 6 \cdot 108 + 4 \cdot 19,5 + 15 \cdot 3,22 + 8 \cdot 7,03 = 830,54 \text{ kgCO}_2$$

$$e_{\dot{u}\dot{z}_{elr}} = 6 \cdot pneu + 4 \cdot autobaterie + Li - ion baterie \quad (24)$$

$$e_{\dot{u}\dot{z}_{elr}} = 6 \cdot 108 + 4 \cdot 19,5 + 6337 = 7\,063 \text{ kgCO}_2$$

Likvidace automobilu bude vždy stejně emisně náročná, stejně jako provoz elektromobilu, který se změní jen v případě, že se změní energetický mix České republiky.

Tabulka 12: Bilance životního cyklu automobilů se spalovacím motorem a elektromobilu s alternativní sadou dat

Části životního cyklu	Automobil se zážehovým motorem	Automobil se vznětovým motorem	Elektromobil
Výroba [kgCO ₂]	9 172,5	9 607,7	18 090,7
Provoz [kgCO ₂]	41 700,0	37 800,0	37 453,7
Údržba [kgCO ₂]	830,5	830,5	7 063,0
Likvidace [kgCO ₂]	66,0	66,0	66,0
CELKEM [kgCO₂]	51 769,0	48 304,2	62 673,4

Z výsledků mé bilance s alternativní sadou dat, viz tabulka 12, je patrné, že emisně nejhůře je na tom elektromobil. Důvodem této skutečnosti je hlavně jeho baterie, jejíž výroba je extrémně emisně náročná. Prodloužení intervalů údržby snížilo její emisní náročnost u automobilů se spalovacími motory, ale u elektromobilu podstatně vzrostla, právě kvůli jeho baterii, kterou je nutno v jeho životním cyklu měnit.

12. Závěr

Bakalářská práce se zabývá porovnáním emisí oxidu uhličitého v životním cyklu elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. Dále se zabývá možným přechodem na automobilové motory využívající zdroje energie nespalující fosilní uhlíková paliva a zkoumá možnosti, jak efektivně tím lze snížit objem produkce emisí oxidu uhličitého.

V úvodní teoretické části je popsán životní cyklus elektromobilu a životní cyklus automobilu se spalovacím motorem, tedy jejich výroba, provoz, údržba a likvidace. Pro každou etapu tohoto cyklu bylo nutné co nejdetailněji popsat kolik emisí oxidu uhličitého se při ní vytvoří a proč se tak děje.

V praktické části jsem vytvořila tři porovnání automobilů. Z důvodů nedostatku zdrojů a relevantních informací jsem musela aproximovat emise vzniklé při rafinaci paliv z ropy a

musela jsem zcela zanedbat emise tvořené při transportu ropy a paliv. Dále jsem ze stejného důvodu musela zanedbat emisní náročnost rozebírání baterií, ve své práci jsem tedy vycházela z předpokladu, že v současné době se baterie recyklují hlavně využitím v jiných aplikacích, čímž se nevytváří žádné emise.

V prvním srovnání jsem postupovala pomocí středních hodnot a co nejpřesnějších dat zjištěných z odborné literatury. Z výsledků mé bilance je patrné, že všechny porovnávané automobily jsou z hlediska vyprodukovaných emisí oxidu uhličitého v jejich životním cyklu řádově srovnatelné. Přesto emisně nejmíň náročný je životní cyklus automobilu se vznětovým motorem, naopak nejvíce náročný je životní cyklus automobilu se zážehovým motorem. Důvodem skutečnosti, že elektromobil není emisně nejvýhodnější, je hlavně emisní náročnost výroby baterie a energetický mix České republiky. Může se tedy zdát, že přechod na elektromobily neřeší problém tvorby emisí oxidu uhličitého způsobený osobní automobilovou dopravou. Tato skutečnost platí pro Českou republiku, hojně využívající elektrickou energii tvořenou spalováním fosilních paliv, neplatí však pro země s vysokým podílem elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie. Takovou zemí je například Norské království, které využívá většinu energie z obnovitelných zdrojů. Kdybychom tedy předpokládali, že by Česká republika měla stejně emisně náročný energetický mix jako Norsko a všechny ostatní vstupy bilance by byly stejné, bylo by v České republice až třikrát výhodnější provozovat elektromobil než automobil se spalovacím motorem, ať už zážehovým nebo vznětovým. Tímto srovnáním chci demonstrovat fakt, že plošný přechod na elektromobilitu má smysl, ale jen v zemích, kde se elektrická energie vyrábí způsobem, který znečišťuje ovzduší jen minimálně. Číselné hodnoty emisí v částech životního cyklu automobilu se spalovacím motorem nebo elektromobilu se mohou lišit dle zdroje dat a metodiky výpočtu, z toho důvodu jsem provedla ještě třetí srovnání. To zahrnuje hodnoty emisí produkovaných při provozu automobilu udávané výrobcem, údržbu vozidla více odpovídající realitě a Li-ionové baterie vyrobeny méně šetrným způsobem k životnímu prostředí. Z výsledků alternativního srovnání, je patrné, že emisně nejhůře je na tom elektromobil. Důvodem této skutečnosti je hlavně jeho baterie, jejíž výroba je extrémně emisně náročná. Prodloužení intervalů údržby snížilo její emisní náročnost u automobilů se spalovacími motory, ale u elektromobilu podstatně vzrostla, právě kvůli jeho baterii, kterou je nutno v jeho životním cyklu měnit.

Výsledkem mé práce je tedy zjištění, že v České republice nemá, z hlediska životního prostředí a emisí oxidu uhličitého, smysl plošný přechod na elektromobilitu, dokud nebudou baterie vyráběny způsobem podstatně šetrnějším k životnímu prostředí a dokud se výrazně nezmění energetický mix České republiky ve prospěch snížení emisí oxidu uhličitého.

13. Reference

- [1] *carbonfootprint.com* - *Climate Change* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: https://www.carbonfootprint.com/warming.html?fbclid=IwAR0jhIXIE_ytmnrf04uA5XAoM_fmT_61MT0Zd3SwcvvPAM9GslwrajSTvi4
- [2] USGCRP Indicator Details. *GlobalChange.gov* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.globalchange.gov/browse/indicators/global-sea-level-rise>
- [3] US EPA, OAR, 2016. Climate Change Indicators: Sea Level. *US EPA* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-level>
- [4] PACHAURI, R. K., Leo MAYER a INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, ed., 2015. *Climate change 2014: synthesis report*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 978-92-9169-143-2.
- [5] US EPA, OAR, 2015. Overview of Greenhouse Gases. *US EPA* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- [6] EDENHOFER, Ottomar a spol., *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, New York: Cambridge University Press, 2014. ISBN 978-1-107-65481-5
- [7] *Greenhouse Gases | Monitoring References | National Centers for Environmental Information (NCEI)* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/greenhouse-gases.php#co2>
- [8] BALOGH, Jeremiás Máté, JÁMBOR, Attila. (PDF) *Determinants of CO2 Emission: A Global Evidence*. ISSN: 2146-4553 Available from: https://www.researchgate.net/publication/322094141_Determinants_of_CO2_Emission_A_Global_Evidence?fbclid=IwAR3jZZgvosFtva3by6uEANdH8OyAwJfGGwu0h6zZtOuAVFIJGS_vgKYtMkE [accessed Dec 02 2020].
- [9] HANSEN, Kathryn. 2008. *NASA - Water Vapor Confirmed as Major Player in Climate Change* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/topics/earth/features/vapor_warming.html
- [10] WUEBBLES, Donald J a Katharine HAYHOE, 2002. Atmospheric methane and global change. *Earth-Science Reviews* [online]. **57**(3), 177–210. ISSN 0012-8252. Dostupné z: doi:[10.1016/S0012-8252\(01\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00062-9)
- [11] MUÑOZ, Cristina, Leandro PAULINO, Carlos MONREAL a Erick ZAGAL, 2010. Greenhouse Gas (CO2 AND N2O) Emissions from Soils: A Review. *Chilean journal of agricultural research* [online]. **70**(3) [vid. 2020-12-02]. ISSN 0718-5839. Dostupné z: doi:[10.4067/S0718-58392010000300016](https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000300016)

- [12] *The Kyoto Protocol - Status of Ratification* | UNFCCC [online] [vid. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>
- [13] ČR, MŽP, 2016. Pařížská dohoda. [online] [vid. 2020-12-05]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- [14] ABDALLAH, Lamiaa a Tarek EL-SHENNAWY, 2013. Reducing Carbon Dioxide Emissions from Electricity Sector Using Smart Electric Grid Applications. *Journal of Engineering* [online]. **2013**. Dostupné z: doi:[10.1155/2013/845051](https://doi.org/10.1155/2013/845051)
- [15] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 8024734753
- [16] PECHOUT, Martin. *Spalovací motory – základní přehled*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. ISBN 978-80-213-2984-3
- [17] RAUSCHER, Jaroslav. *Spalovací motory*. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, 2005
- [18] Anon., nedatováno. *Čtyřdobý zážehový motor* | Eduportál Techmania [online] [vid. 2021-05-26]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/plyny/tepelne-motory/ctyrdoby-zazehovy-motor>
- [19] DILLON, Stephanie. *The Chemistry of Combustion* [online] [vid. 2020-12-02]. Chemistry of Liberal Studies – Forensic Academy. Dostupné z: <https://www.chem.fsu.edu/chemlab/chm1020c/Lecture%207/01.php>
- [20] ANON., nedatováno. *Differences Between Diesel and Petrol* | ACEA - European Automobile Manufacturers' Association [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.acea.be/news/article/differences-between-diesel-and-petrol>
- [21] Anon., nedatováno. *Vznětové motory* | Vítejte na Zemi [online] [vid. 2021-05-26]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/cenia/?p=vznetove_motory&site=doprava
- [22] The Chemistry of the Diesel Engine. *The Chemistry of the Diesel Engine* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://chembloggreen1.wordpress.com/>
- [23] VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. *Elektromechanické měniče*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001048757.
- [24] LINTNEROVÁ, Otília, 2009. *Geológia kaustobiolitov. Uhlie a uhľovodíky*. Bratislava: Univerzita Komenského, 118 s.
- [25] ANON., nedatováno. *EIA 2/98 - Vliv těžby ropy a plynu na životní prostředí* [online] [vid. 2021-05-01]. Dostupné

z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B18C18B302379CCCC1256FC000407A70/\\$file/e-02-3.htm](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B18C18B302379CCCC1256FC000407A70/$file/e-02-3.htm)

[26] doc. Ing. Blažek, Josef CSc. Emise ze zpracování ropy, BREF, komplexita rafinérií [online] [vid. 2021-05-01]. Dostupné

z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/zpracovani_ropy_9_0.pdf

[27] ANON., nedatováno. *petroleum.cz, Zpracování atmosférických destilátů na paliva* [online] [vid. 2021-04-06]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-01.aspx>

[28] UNIPETROL, Výroční zpráva společnosti UNIPETROL, a.s. za rok 2017. 2017. [online] [vid. 2021-05-13]. Dostupné z: unipetrol.cz

[29] UNIPETROL, Společná zpráva 2019 o ochraně zdraví, bezpečnosti práce a životního prostředí. 2019. [online] [vid. 2021-05-13]. Dostupné z: unipetrol.cz

[30] *B. Kočího malý slovník naučný*. Kapesní vyd. V Praze: B. Kočí, 1929.

[31] GLASPIE, C., 2021. *Oil Resource: How Is Petroleum Formed: How Is Petroleum Formed* [online]. B.m.: Independently Published. ISBN 9798717807104. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=zxtlzgEACAAJ>

[32] ANON., nedatováno. *Výpočet emisí CO₂ – autolexicon.net* [online]. [vid. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/vypocet-emisi-co2/>

[33] [HTTP://WWW.WLIST.CZ](http://WWW.WLIST.CZ), wList cz,, nedatováno. Diesel vs. benzin: toto jsou klíčové rozdíly ve fungování obou typů motorů. *Autoforum.cz* [online] [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/diesel-vs-benzin-toto-jsou-klicove-rozdily-ve-fungovani-obou-typu-motoru/>

[34] *Výroba elektrické energie, 2013*. [online] [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=vyroba_elektricke_energie&site=energie

[35] ISSaR, Informační systém statistiky a reporting v životním prostředí [online] [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://issar.cenia.cz/>

[36] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie 2010 – 2018, 2019*. [online] [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/12/Podil-OZE-na-hrube-konecne-spotrebe-energie-2010-2018_1.pdf

[37] Energetický regulační úřad. *Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2019* [online] [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy#2020>

- [38] ANON., nedatováno. *How much CO2 is produced by atomic energy?* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://timeforchange.org/co2-emission-of-electricity-from-nuclear-power-stations/>
- [39] Ministerstvo průmyslu a obchodu, odbor 41100. *Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030, 2019.* [online] [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/>
- [40] Anon., nedatováno. *Electricity disclosure 2017 - NVE* [online] [vid. 2021-05-30]. Dostupné z: <https://www.nve.no/norwegian-energy-regulatory-authority/retail-market/electricity-disclosure-2017/?ref=mainmenu>
- [41] ANON., nedatováno. *Comparative Study on Life Cycle CO2 Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China | Elsevier Enhanced Reader* [online] [vid. 2021-04-06]. Dostupné z: doi:[10.1016/j.egypro.2017.03.827](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.827)
- [42] KAWAMOTO, Ryuji, Hideo MOCHIZUKI, Yoshihisa MORIGUCHI, Takahiro NAKANO, Masayuki MOTOHASHI, Yuji SAKAI a Atsushi INABA, 2019. Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA. *Sustainability* [online]. **11**(9), 2690. doi:[10.3390/su11092690](https://doi.org/10.3390/su11092690)
- [43] Anon., 2020. The Environmental Impact of Lithium Batteries. *IER* [online]. [vid. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/the-environmental-impact-of-lithium-batteries/>
- [44] WANGER, Thomas Cherico, 2011. The Lithium future—resources, recycling, and the environment. *Conservation Letters* [online]. **4**(3), 202–206. ISSN 1755-263X. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2011.00166.x>
- [45] LLC, Lithium South Development Corp and Emerging Markets Consulting, 2021. Emerging Markets Report: Lithium Could Run out by 2025. *GlobeNewswire News Room* [online] [vid. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/04/14/2209842/0/en/Emerging-Markets-Report-Lithium-Could-Run-out-by-2025.html>
- [46] WWW.PUBLIS.CZ, Global Vision, a s-wwv reklamni-agentura com, Publis CMS, nedatováno. *Operativní leasing: zásadní je počet najetých kilometrů - Operativní leasing Naoperak.cz - auto na operak* [online] [vid. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.naoperak.cz/magazin-operativni-leasing/operativni-leasing-zasadni-je-pocet-najetych-kilometru/>
- [47] ANON., nedatováno. *Jak dlouhá je přibližná životnost běžného automobilu* [online] [vid. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.autozive.cz/kolik-kilometru-muzou-auta-vydrzet-a-jaka-je-jejich-priblizna-zivotnost-komplexni-odpoved-od-vyrobcu/>

- [48] ANON., nedatováno. ŠKODA AUTO a.s. [online] [vid. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/>
- [49] J. Sears, D. Roberts and K. Glitman, "A comparison of electric vehicle Level 1 and Level 2 charging efficiency," *2014 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 2014, pp. 255-258, doi: 10.1109/SusTech.2014.7046253.
- [50] ANON., nedatováno. *Celkové ztráty v rozvodných a přenosových vedeních* [online] [vid. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://crushtymks.com/cs/transmission-and-distribution/1581-total-losses-in-power-distribution-and-transmission-lines.html>
- [51] JLCA (Life Cycle Assessment Society of Japan).LCA Database 2015FY, 4th ed.; JLCA (Life Cycle Assessment Society of Japan): Tokyo, Japan, 2015.
- [52] Anon., 2021. Electric cars: What will happen to all the dead batteries? *BBC News* [online]. [vid. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/business-56574779>
- [53] HANISCH, Christian, Jan DIEKMANN, Alexander STIEGER, Wolfgang HASELRIEDER a Arno KWADE, 2015. Recycling of Lithium-Ion Batteries. In: *Handbook of Clean Energy Systems* [online]. B.m.: American Cancer Society, s. 1–24 [vid. 2021-05-28]. ISBN 978-1-118-99197-8. Dostupné z: doi:[10.1002/9781118991978.hces221](https://doi.org/10.1002/9781118991978.hces221)

14. Seznam obrázků

Obrázek 1: Průměrná celosvětová absolutní změna výšky hladiny moře, 1880-2015 [3].....	2
Obrázek 2: Celkové emise za rok 2018 = 6,667 mil. tun CO2 ekv. Procenta zaokrouhlena. [5]	3
Obrázek 3: Zdroje emisí CO2 dle sektoru, celosvětově (2019) [46]	5
Obrázek 4: Schéma přeměny energie ve spalovacím motoru – obecná transformace chemické energie paliva na mechanickou práci spalovacího motoru [1].....	6
Obrázek 5: Schematické znázornění klikového mechanismu s vyznačenými úvratěmi (vlevo) a reálné provedení klikového mechanismu v motoru (vpravo) [3]	6
Obrázek 6: Schéma zpracování frakcí z atmosférické destilace ropy na jednotlivá paliva [29]	10
Obrázek 7: Objem výroby společnosti UNIPETROL a.s. 2017 [45].....	11
Obrázek 8: Vývoj konečné spotřeby energie z obnovitelných zdrojů v ČR mezi roky 2004 a 2018 (brutto) [22]	14
Obrázek 9: Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny v ČR v roce 2019 (brutto), procenta zaokrouhlena [21].....	15
Obrázek 10: průběh trajektorie podílu z OZE na konečné spotřebě energie mezi roky 2004–2030 pro ČR včetně kontrolních bodů [26]	18

15. Seznam tabulek

Tabulka 1: Výroba elektřiny v ČR v roce 2019 [37]	16
Tabulka 2: Emise CO ₂ tvořené určitým typem elektrárny na kWh [38]	16
Tabulka 3: Data nutná k výpočtu váženého průměru dle rovnice (8).	16
Tabulka 4: kolik kg CO ₂ se uvolní při výrobě jednotlivých částí elektromobilu nebo automobilu se zážehovým motorem [41]	20
Tabulka 5: Data k automobilům, pro něž počítám bilanci [48]	22
Tabulka 6: Přehled součástí, které je třeba měnit, intervaly výměny a emisní náročnost	25
Tabulka 7: kolik kg CO ₂ se uvolní při jednotlivých částech likvidace automobilu [42]	26
Tabulka 8: Bilance životního cyklu automobilů se spalovacím motorem a elektromobilu	28
Tabulka 9: Bilance životního cyklu automobilů se spalovacím motorem a elektromobilů s předpokladem energetického mixu České republiky a Norského království	30
Tabulka 10: kolik kg CO ₂ se uvolní při výrobě jednotlivých částí elektromobilu [41] a Li-ionové baterie [42]	31
Tabulka 11: Přehled součástí, které je třeba měnit, intervaly výměny odpovídající každodenní realitě a emisní náročnost	32
Tabulka 12: Bilance životního cyklu automobilů se spalovacím motorem a elektromobilu s alternativní sadou dat	33