

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: Průmyslový management

**Stanovení ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo
s ohledem na energetický mix
Bakalářská práce**

Jana KULIKOVÁ

Vedoucí práce: prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Jana Kuliková**

Studijní program: Průmyslový management

Název tématu: **Stanovení ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo s ohledem na energetický mix**

Cíl: Cílem práce je stanovit ekvivalent CO₂ pro elektrovozidlo s ohledem na energetický mix České republiky a států Evropské unie. Následně tuto hodnotu porovnat s hodnotou CO₂ u konvenčního vozidla. Hlavním výstupem bakalářské práce bude vyhodnocení, zda je v současné době elektromobilita ekologická, či nikoliv.

Rámcový obsah:

1. Úvod a cíl práce.
2. Teoretická východiska pro výpočet energetického mixu daných zemí a současný stav emisní legislativy.
3. Analýza současného stavu energetických mixů zemí EU a stanovení ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo s ohledem na hodnoty energetických mixů.
4. Vyhodnocení a porovnání hodnot CO₂ pro elektrovozidlo a konvenční vozidlo.
5. Zhodnocení a závěr.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. IBLER, Z. *Energetika 1. díl.: Technický průvodce*. 1. vyd. Praha: BEN, 2002. 615 s. ISBN 80-7300-026-1.
2. DRÁBOVÁ, D. – PAČES, V. *Perspektivy české energetiky: současnost a budoucnost*. Praha : Novela Bohemia, 2014. 348 s. ISBN 978-80-87683-26-2.
3. SMIL, V. *Ropa: průvodce pro začátečníky*. Praha : Kniha Zlín, 2018. 268 s. ISBN 978-80-7473-703-9.

Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2020

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2021

L. S.

Elektronicky schváleno dne 27. 5. 2021

Jana Kuliková

Autorka práce

Elektronicky schváleno dne 28. 5. 2021

prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 28. 5. 2021

prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.

Garant studijního programu

Elektronicky schváleno dne 31. 5. 2021

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Mé poděkování patří panu prof. Ing. Vojtěchovi Dynybylovi, Ph.D. za vedení mé závěrečné práce, poskytování informací a odborný dohled.

Obsah

Úvod.....	7
1 Teoretická východiska pro výpočet energetického mixu.....	8
1.1 Stav legislativy v automobilovém průmyslu.....	9
1.1.1 Vozidla se spalovacími motory.....	9
1.1.2 Elektrovozidla.....	11
1.2 Energetické mixy a výpočet CO ₂ ekvivalentu pro elektrovozidlo	12
1.2.1 Metodika stanovení energetického mixu.....	12
1.2.2 Výpočet CO ₂ ekvivalentu pro elektrovozidlo.....	13
2 Analýza energetických mixů zemí EU a stanovení ekvivalentu CO ₂ pro elektrovozidlo	16
2.1 Analýza energetických mixů zemí EU.....	16
2.1.1 Celková produkce elektrické energie	17
2.1.2 Celková produkce CO ₂ při výrobě elektřiny	22
2.2 Stanovení ekvivalentu CO ₂ pro elektrovozidlo v g/kWh.....	26
3 Porovnání hodnot CO ₂ pro elektrovozidlo a konvenční vozidlo.....	28
3.1 Porovnání hodnot CO ₂ pro elektrovozidlo a konvenční vozidlo	28
3.2 Vyhodnocení	30
Závěr	33
Seznam literatury	34
Seznam obrázků a tabulek.....	37

Seznam použitých zkratek a symbolů

BEV	Bateriové elektrické vozidlo
IEA	Mezinárodní agentura pro energii
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu
PM	Pevné částice
WLTP	World Light-duty Test Procedure
DE	Německo
PL	Polsko
FR	Francie
NO	Norsko

Úvod

Předmětem bakalářské práce je stanovení ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo s ohledem na energetický mix České republiky a států Evropské Unie a následné porovnání s hodnotami emisí CO₂ konvenčních vozidel. Problematika tématu spočívá ve vyhodnocení, zda jsou elektrovozidla více ekologická, než vozidla se spalovacím motorem.

Práce bude obsahovat teoretickou část, kde se stanoví metodika, pomocí které se v praktické části budou analyzovat energetické mixy zemí, a podle které se poté vypočítá CO₂ ekvivalent pro elektrovozidlo.

Téma je vybráno pro jeho aktuálnost, kdy společností rezonuje hrozba globálního oteplování, kvůli narůstající produkci skleníkových plynů, přičemž automobilový průmysl je považován za jeden z hlavních spouštěčů klimatické změny a k nárůstu skleníkových plynů významně přispívá.

Cílem bakalářské práce je porovnání hodnot CO₂ ekvivalentu elektrovozidel s hodnotami CO₂ vozidel se spalovacími motory. Na základě tohoto porovnání následně odpovědět, zda by mohla současná a plánovaná legislativa v oblasti automobilového průmyslu vést k citelnému snižování emisí CO₂ vozidel.

1 Teoretická východiska pro výpočet energetického mixu

Obsahem první kapitoly je historický vývoj emisních standardů v automobilovém průmyslu, popis současného stavu emisní legislativy a prognózy ohledně budoucí legislativy, k níž Evropská unie aktivně směřuje. Dále pak definování problematiky emisí skleníkových plynů elektrovozidel a teoretická východiska pro výpočet energetických mixů zemí Evropské unie, pro následné stanovení CO₂ ekvivalentu elektrovozidla.

Tlak na snižování produkce emisí skleníkových plynů ze strany mezinárodních společenství, i veřejnosti, stále roste a očekává se, že tento trend bude nadále pokračovat (Centrum pro výzkum veřejného mínění, 2018). Političtí aktéři se tématem zabývají jak na národní úrovni, když tvoří energetickou koncepci země, tak i na mezinárodní, při níž se země zavazuje k plnění požadavků pro celosvětové snižování emisí.

Tento tlak podmínil vznik mnohostranné úmluvy, zvané „Rámcová úmluva OSN o změně klimatu“, která byla podepsána v roce 1992 v Riu de Janeiru. V roce 2015 byla ratifikována již 197 stranami. Strany se zavázaly k přijetí národních strategií, které mají udržitelně snížit emise skleníkových plynů napříč všemi hospodářskými sektory. Jedná se tak o nejrozsáhlejší kooperaci při odvrácení globálního oteplování na mezinárodní úrovni.

Evropská unie má však ambice na to, aby se stala lídrem a určovala vzor ve snižování emisí skleníkových plynů, proto do své legislativy implementuje řadu přísnějších nařízeních a směrnic. Jedna z nejnovějších iniciativ z roku 2019, nazývaná se „Zelená dohoda pro Evropu“, která vznikla pod vedením Ursuly von der Leyenové, je zatím nejvíce ambiciózní platný dokument v oblasti snižování emisí.

Ústřední myšlenkou této dohody je stanovení konkrétních kroků s cílem dosažení uhlíkové neutrality¹ do roku 2050. Dalším ze záměrů je snížení emisí skleníkových plynů o 55 % ve srovnání s rokem 1990 (Evropská komise, 2019). K dosažení uhlíkové neutrality je potřeba jednat napříč všemi hospodářskými sektory, avšak

¹ Snížení skleníkových plynů o 100 % oproti roku 1990.

na automobilový průmysl je však obzvlášť kladen důraz. Zcela nutný je odklon od fosilních paliv k obnovitelným zdrojům energie a podpora elektromobility.

Součástí Zelené dohody pro Evropu je balíček „Fit for 55“, který byl představen v červenci roku 2021, a který obsahuje revizi evropské emisní legislativy v oblasti klimatu, dopravy a energetiky. Pro oblast automobilového průmyslu je obsah tohoto balíčku alarmující a je podrobněji rozepsán v podkapitole „Stav legislativy v automobilovém průmyslu“.

1.1 Stav legislativy v automobilovém průmyslu

Je všeobecně známo, že vozidla se spalovacími motory do ovzduší vypouští nebezpečné, pro člověka toxické, látky. V zájmu ochrany zdraví člověka se proto množství vypuštěných látek legislativně reguluje.

1.1.1 Vozidla se spalovacími motory

Historie emisních norem sahá do roku 1970, kdy byly zavedeny směrnici 70/220/EEC první emisní standardy, na který pak v roce 1992 navázala emisní norma zvaná „Euro“. Emisní norma Euro se během let několikrát aktualizovala (dnes platná Euro 6) a limity pro vypuštěné toxické látky se neustále zpřísňují. Příští aktualizace se očekává v roce 2025 (Euro 7). Kvůli aféře Dieselgate, v níž docházelo k úmyslným podvodům a manipulaci s množstvím vypuštěných toxických látek ze strany výrobců vozidel, Evropská komise usiluje o nastavení striktnějších pravidel, která mají předcházet dalším možným manipulacím a porušováním norem (Pardi, 2021).

Toxické látky se měří v nezávislých akreditovaných laboratořích dle předpisu 2017/1553, známým jako „World Light-duty Test Procedure“ (WLTP). WLTP je celosvětově harmonizovaný zkušební postup pro lehká vozidla a určuje podmínky, při kterých budou látky měřeny. Dle WLTP se měří také elektrická spotřeba a dojezd elektrovozidla.

Současná norma Euro 6 stanovuje limitní hodnoty toxických látek pocházejících z výfukových plynů v závislosti hmotnosti toxické látky na ujeté vzdálenosti. Mezi sledované látky patří množství vypuštěného oxidu uhelnatého (CO), oxidu dusíku (NO_x), uhlovodíků (HC) a pevných částic (PM).

Tabulka č. 1 obsahuje maximální možné hodnoty toxických látek pro vznětové motory osobních vozidel.

Tab. 1 Limity toxických látek pro vznětové motory osobních vozidel

Emisní norma	Platnost normy	Limit CO [g/km]	Limit NOx [g/km]	Limit HC [g/km]	Limit PM [g/km]	Limit HC + NOx [g/km]
Euro 1	1992	2,72	-	-	0,14	0,97
Euro 2	1996	1	-	-	0,08	0,7
Euro 3	2000	0,64	0,50	-	0,05	0,56
Euro 4	2005	0,50	0,25	-	0,025	0,30
Euro 5	2009	0,50	0,18	-	0,005	0,23
Euro 6	2014	0,50	0,08	-	0,005	0,17

Upraveno dle DieselNet, 2021

Tabulka č. 2 obsahuje maximální možné hodnoty toxických látek pro zážehové motory osobních vozidel. Vývoj zpřísnování limitů každé sledované látky v tabulce č. 1 a v tabulce č. 2 je zcela zřejmý. Od doby uvedení Euro 1 se limity měřených látek snížily vždy více než o polovinu u každé toxické látky.

Tab. 2 Limity toxických látek pro zážehové motory osobních vozidel

Emisní norma	Platnost normy	Limit CO [g/km]	Limit NOx [g/km]	Limit HC [g/km]	Limit PM [g/km]	Limit HC + NOx [g/km]
Euro 1	1992	2,72	-	-	-	0,97
Euro 2	1996	2,20	-	-	-	0,50
Euro 3	2000	2,30	0,15	0,20	-	-
Euro 4	2005	1,0	0,08	0,10	-	-
Euro 5	2009	1,0	0,06	0,10	0,05	-
Euro 6	2014	1,0	0,06	0,10	0,05	-

Upraveno dle DieselNet, 2021

Kombinace NOx, uhlovodíků HC a CO je zdrojem reakcí, při němž vzniká fotochemický smog. Oxidy dusíku NO a NO₂, souhrně značené NOx, vedou ke kyselým dešťům a dráždí rostlinné i živočišné tkáně (Ibler a kol. 2002). Vůbec nejproblematictější látka je PM, konkrétně její koncentrace nad $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Například v okresech Teplice a Prachatice bylo pozorováno, že těhotným ženám v prvním

měsíci vlivem vdechování PM, výrazně stoupá pravděpodobnost narození dítěte s nitroděložní růstovou retardací (Drábová a kol., 2014). Dále pak vdechování PM pronikají hluboko do plic, a to zapříčiňuje zvýšený výskyt chronických respiračních onemocnění.

Vedle emisní normy Euro stojí „Nařízení Evropského parlamentu a Rady EU 2019/631“, které nově stanovuje univerzální limit pro emise CO₂ vozidla se spalovacím motorem v maximální výši 95 gramů na ujetý kilometr. Výrobce celkové emise CO₂ spočítá jako průměr emisí CO₂ ze všech prodaných vozidel v daném roce. Pokuta za každé překročení limitu o 1 g dosahuje výše 95 euro za každé vyrobené vozidlo (Evropský parlament a Rada EU, 2019). Nařízení vstoupí v úplnou platnost v roce 2021.

S rostoucí poptávkou po SUV vozidlech, které mají obecně vyšší spotřebu paliva, z čehož vyplývají i vyšší emise, se požadavek na splnění tohoto limitu komplikuje. Například nově vzniklé vozidla značky ŠKODA AUTO mají emise CO₂ ve výši od 114 g/km CO₂ v třídě malých vozidel, konkrétně Fabie 1.0 TSI 81 kW do 179 g/km CO₂ v třídě SUV vozidel, konkrétně Kodiaq 2.0 TSI 140 kW (ŠKODA AUTO Česká republika, 2021).

1.1.2 Elektrovozidla

Evropská unie považuje elektrovozidla za bezemisní, tedy že hodnota emisí CO₂ na ujetý kilometr činí 0 g. Výrobci tak každé prodané elektrovozidlo výrazně snižuje průměr hodnoty celkových emisí.

Vozidla s elektrickým pohonem tak nejsou zatíženy žádnou emisní legislativou. V laboratořích se měří pouze jejich kombinovaná elektrická spotřeba a dojezd dle WLTP.

Jak již bylo zmíněno, pro výrobce automobilů schválení balíčku „Fit for 55“, v němž je uložena povinnost snížit hodnoty emisí CO₂ o 55 % do roku 2030 oproti roku 1990, představuje riziko v jejich podnikatelských záměrech. V roce 2020 bylo povinné snížení stanovené pouze na 40 %, je tedy nezbytná nutnost pohotovosti a včasné reakce. Dále je v diskuzi i snížení hodnoty emisí CO₂ o 100 % do roku 2035, oproti roku 1990 (Evropská komise, 2021).

Díky zavedení trojcestných katalyzátorů, filtrů pevných částic, které umožňují snížit emise PM o více než 95 % a použitím selektivní katalytické redukce SCR pro snížení NO_x, kde se jako redukční činidlo využívá roztok močoviny, se hodnoty emisí v průběhu let výrazně snížily, ale pro dosažení cílů Evropské unie nedostatečné (Hromádka a kol., 2011). Jako východisko se výrobcům nabízí citelně zdražit veškeré vyrobené automobily a služby, což by umožnilo zaplacení pokut nebo přejít k výrobě elektrovozidel, která je v Evropské unii doposud považována za CO₂ neutrální. Otázkou je, zda je tato teze pravdivá, a jestli jsou elektrovozidla momentálně doopravdy více ekologická, než vozidla se spalovacím motorem.

1.2 Energetické mixy a výpočet CO₂ ekvivalentu pro elektrovozidlo

Výpočet energetických mixů zemí bude prováděn podle metodiky vyvinuté Mezivládním panelem pro změnu klimatu (IPCC). IPCC je celosvětově uznávaný vědecký orgán, který vytváří podklady, metodiky, databáze a reporty pro OSN ve věci klimatických změn. V bakalářské práci je použita metodika zvaná „2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“, a to její nejaktuálnější verze z roku 2019. Metodika se zabývá 5 oblastmi, definuje mnoho výpočtů a způsobů inventarizace v jednotlivých sektorech.

1.2.1 Metodika stanovení energetického mixu

Protože jsou při stanovení celkových výsledných emisí CO₂ vozidel se spalovacími motory uvažovány pouze lokální emise, měřené v laboratorních podmínkách, bude přístup počítání pouze lokálních emisí CO₂ zvolen i při stanovení ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo².

Tímto přístupem se ve výpočtu vyloučí emise spojené s transportem, rafinérií paliv, výrobou vozidel a emisí vzniklých při těžbě chemických prvků do vozidel, z důvodu skrovných a hůře dohledatelných informací ohledně těchto hodnot a nemožnosti následného ověření pravosti informací. Jako příklad vzniklých emisí, jenž nebudou brány v potaz, je energetická náročnost tankerové přepravy. Podle Smila „přesun ropy na vzdálenosti 3800 km tankerem vyžaduje energetický

² Za lokální emise pro CO₂ ekvivalent elektrovozidla se považují emise vzniklé při výrobě elektřiny. Za lokální emise CO₂ vozidel se spalovacími motory se považují emise měřené v laboratoři.

ekvivalent pouhého zhruba půl procenta přepravovaného paliva“ (Smil, 2008, str. 202).

V používané metodice 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories se za elektřinu s uhlíkovou stopou považuje pouze elektřina vzniklá v tepelné elektrárně. Ostatní zdroje nesou uhlíkově neutrální stopu. Mezi uhlíkově neutrální zdroje energie tak patří jaderná energie a energie vzniklá pomocí obnovitelných zdrojů.³

Pokud se má dodržet Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, obnovitelné zdroje elektřiny by v budoucnu měly mít velmi důležitou roli. Jsou to zdroje decentralizované, díky těmto zdrojům dochází ke snižování závislosti na dovozu energie a ve většině případů jsou šetrné k životnímu prostředí. Avšak ne vždy automaticky znamená, že jsou ekologické (Drábová a kol., 2014). Například velké vodní elektrárny narušují ekosystémy toků a ohrožují živočišné druhy znemožněním přirozené migrace.

1.2.2 Výpočet CO₂ ekvivalentu pro elektrovozidlo

V bakalářské práci bude demonstrován výpočet Tier 1 (Mezivládní panel pro změnu klimatu, 2006), který umožňuje spočítat celkové vyprodukované emise skleníkových plynů jednotlivých států vzniklých při výrobě elektřiny v tepelných elektrárnách a umožňuje tak stanovit CO₂ ekvivalent pro elektrovozidlo.

Výpočet CO₂ ekvivalentu v gCO₂/kWh dle Tier 1 se určí jako

$$CO_2 \text{ ekvivalent } \left(\frac{gCO_2}{kWh} \right) = \frac{\text{Celková produkce CO}_2 \text{ při výrobě elektrické energie}}{\text{Celková produkce elektrické energie}} \quad (1)$$

Celková produkce CO₂ při výrobě elektřiny se určí jako

$$\text{Celková produkce CO}_2 \text{ při výrobě elektřiny} = \sum_{\text{palivo}} \text{emise CO}_2 \text{ dle typu paliva} \quad (2)$$

Výpočet emisí CO₂ dle typu paliva se určí jako

$$\text{Emise CO}_2 \text{ dle typu paliva} = \text{spotřeba paliva} \times EF_{GHG, \text{palivo}} \quad (3)$$

Spotřeba paliva – velikost spotřeby paliva,

³ Mezi obnovitelné zdroje tak patří sluneční, vodní, větrná a geotermální energie, biopalivo, biomasa, bioplyn, energie skládkového plynu a energie přílivu.

$EF_{GHG,palivo}$ – výchozí emisní faktor daného skleníkového plynu dle typu paliva.

Tabulka č. 3 obsahuje výchozí emisní faktory skleníkových plynů dle typu paliva.

Tab. 3 Výchozí emisní faktory skleníkových plynů dle typu paliva

Typ paliva	Výchozí emisní faktory [kg/TJ]
Antracit	98 300
Koksovatelné černé uhlí	94 600
Ostatní bituminozní uhlí	94 600
Sub-bituminozní uhlí	96 100
Hnědé uhlí	101 000
Koksárenský koks	107 000
Černouhelný dehet	80 700
Hnědouhelné brikety	97 500
Energoplyn	44 400
Koksárenský plyn	44 400
Vysokopecní kychtový plyn	260 000
Plyn z ocelářských pecí	182 000
Rašelina	106 000
Ropné břidlice	107 000
Rafinérní plyn	57 600
Tekutý ropný plyn	63 100
Motorová nafta	69 300
Ostatní ropa	71 900
Topný olej	77 400
Ropný koks	73 300
Ostatní ropné produkty	73 300
Zemní plyn	56 100
Primárně pevné odpady	100 000
Bioplyny	54 600
Obnovitelný komunální odpad	100 000
Čistá bionafta	70 800
Směsná bionafta	70 800
Ostatní tekuté biopaliva	79 600
Průmyslový odpad	143 000
Neobnovitelný komunální odpad	91 700

Zdroj: IPCC, 2006

Výpočet CO₂ ekvivalentu v gCO₂/km se určí jako

$$CO_2 \text{ ekvivalent } \left(\frac{gCO_2}{km} \right) = \text{spotřeba el. energie vozidla} \times CO_2 \text{ ekvivalent } \left(\frac{gCO_2}{kWh} \right) \quad (4)$$

Pro vzorec č. 1 je nutná znalost celkové produkce elektřiny v jednotlivých státech. Pro vzorec č. 3 je nutné znát množství paliva, které se spotřebovává v tepelných elektrárnách k výrobě elektřiny. Tyto údaje pravidelně reportuje statistický úřad Evropské unie Eurostat a Mezinárodní agentura pro energii (IEA). Dále je pak potřeba znalosti výchozího emisního faktoru daného skleníkového plynu dle typu paliva viz tabulka č. 3. Pro vzorec č. 4 je potřeba zjistit spotřebu elektrické energie elektrovozidla.

2 Analýza energetických mixů zemí EU a stanovení ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo

V bakalářské práci bude výpočet ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo demonstrován na vybraných zemích EU. Země byly vybrány na základě rozdílů ve složení energetických mixů tak, aby byl vzorek co nejméně homogenní a výsledek tudíž co nejvíce reprezentativní. Výpočet bude demonstrován na vybraném vzorku:

- Česká republika,
- Německo,
- Polsko,
- Norsko,
- Francie,
- EU-28.

Česká republika byla vybrána jako zástupce střední Evropy, s bohatou historií uhelné těžby a zároveň s velkým podílem jádra v energetickém mixu. Německo, které odmítlo využívat energii vyrobenou z jádra a jaderné reaktory postupně odstavuje, opouští také energii z uhlí a masivně investuje do obnovitelných zdrojů, konkrétně do větrných farem v Severním moři. Dále pak Polsko, které vede konzervativnější přístup a spoléhá se hlavně na energii z uhlí. Oproti tomu Norsko, které je známo svým vysokým podílem obnovitelných zdrojů na celkové výrobě energie. Francie byla vybrána jako zástupce velkého podporovatele energie pocházející z jádra. Na závěr je uvedeno, jak si vede Evropská unie jako celek ve složení energetických mixů.

2.1 Analýza energetických mixů zemí EU

Data o složení energetických mixů byla převzata z oficiálního evropského statistického úřadu Eurostat a z Mezinárodní agentury pro energii IEA. Při psaní této práce nejnověji publikovaná data pocházela z roku 2019. Spojené království Velká Británie v roce 2019 byla ještě součástí Evropské unie, proto bude také zařazena do výpočtu.

2.1.1 Celková produkce elektrické energie

Data o celkové produkci elektrické energie dle typu generátoru, která jsou potřebná pro dosazení do vzorce č. 1, byly brány z IEA z výkazů o energetických bilancích.

V tabulce č. 4 se nacházejí energetické mixy České republiky, Německa a Polska dle dat z IEA. Z tabulky je možné pozorovat, že se země výrazně liší množstvím výsledné vyprodukované elektřiny. Německo, silně průmyslová země západní Evropy, vyrobila 626,2 TWh elektrické energie a pyšní se tak statusem největšího producenta elektrické energie v Evropské unii. Česká republika vyrobila 87,3 TWh elektrické energie a Polsko vyrobilo 164,7 TWh elektrické energie.

Tab. 4 Energetické mixy České republiky, Německa a Polska

Celková produkce elektrické energie						
2019	Česká republika		Německo		Polsko	
	[TWh]	Podíl [%]	[TWh]	Podíl [%]	[TWh]	Podíl [%]
Uhlí	39,4	45,2	181,8	29,0	120,5	73,1
Ropa	0,1	0,1	4,8	0,8	1,8	1,1
Zemní plyn	5,8	6,6	90,8	14,5	14,8	9,0
Odpady (neobnovitelné)	0,2	0,2	12,6	2,0	0,7	0,4
Jádro	30,2	34,6	75,1	12,0	0,0	0,0
Vodní energie	3,2	3,6	25,7	4,1	2,7	1,6
Biopaliva	4,9	5,6	44,4	7,1	7,6	4,6
Větrná energie	0,7	0,8	125,9	20,1	15,1	9,2
Geotermální energie	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
Solární energie	2,3	2,6	46,4	7,4	0,7	0,4
Odpady (obnovitelné)	0,3	0,3	12,6	2,7	0,7	0,4
Ostatní	0,1	0,1	1,5	0,2	0,2	0,1
Celkem	87,3		626,2		164,7	

Zdroj: IEA, 2021

V tabulce č. 5 se nacházejí energetické mixy Norska, Francie a Evropské unie jako celku dle dat z IEA a tabulka č. 5 je pokračování tabulky č. 4. Z tabulky je zřejmé, že Francie je také velkým producentem elektrické energie, hodnota

vyprodukované energie činí 576,9 TWh. Norsko vyrobilo 135,9 TWh elektrické energie. Evropská unie vyrobila dohromady 3 299,5 TWh elektrické energie.

Tab. 5 Energetické mixy Norska, Francie a EU-28

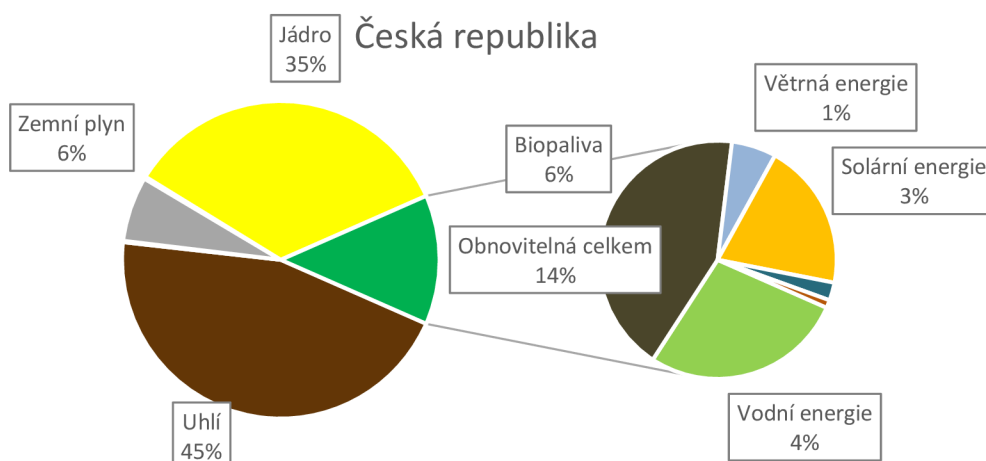
Celková produkce elektrické energie						
2019	Norsko		Francie		EU-28	
	[TWh]	Podíl [%]	[TWh]	Podíl [%]	[TWh]	Podíl [%]
Uhlí	0,2	0,1	5,9	1,0	498,3	15,1
Ropa	0,3	0,3	5,9	0,9	53,4	1,6
Zemní plyn	2,1	1,5	39,3	6,3	699,9	21,2
Odpady (neobnovitelné)	0,4	0,3	4,6	0,7	49,0	1,5
Jádro	0,0	0,0	399,0	63,7	821,5	24,9
Vodní energie	126,4	93,0	61,6	9,8	353,0	10,7
Biopaliva	0,0	0,0	6,5	1,0	174,4	5,3
Větrná energie	5,5	4,1	34,7	5,5	431,5	13,1
Geotermální energie	0,0	0,0	0,1	0,0	6,7	0,2
Solární energie	0,0	0,0	12,2	2,0	138,6	4,2
Odpady (obnovitelné)	0,6	0,5	6,5	1,0	68,2	2,1
Ostatní	0,3	0,2	0,6	0,1	4,9	0,1
Celkem	135,9		576,9		3 299,5	

Zdroj: IEA, 2021

Pro lepší přehlednost podílů různých generátorů energie byly vytvořeny koláčové grafy, dle tabulky č. 4 (sloupec podíl v %) a tabulky č. 5 (sloupec podíl v %), obsahující hlavní graf, který odráží stav celkové produkce elektrické energie dle typu generátoru, a poté obsahují menší koláčový graf, který rozebírá jednotlivé obnovitelné zdroje energie podílející se na celkové produkci.

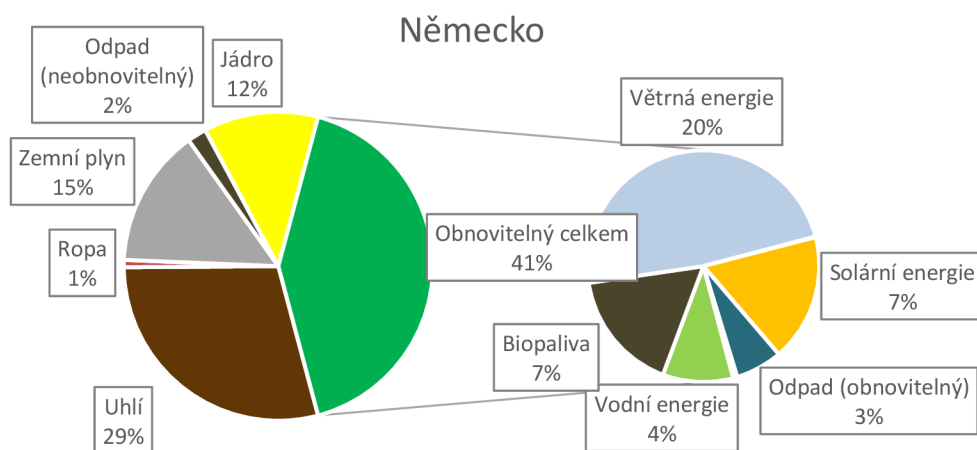
Na obrázku č. 1 jsou znázorněny koláčové grafy energetického mixu České republiky. V hlavním grafu lze pozorovat závislost České republiky na energii pocházející z uhlí (45 %) a z jádra (35 %). Uhelná komise České republiky doporučila rok 2038 jako vyvážený kompromis, v němž by mělo dojít ke konci těžby hnědého uhlí a přeorientování na nový energetický systém. Do vývoje a přechodu k šetrnějším zdrojům energie bylo vyčleněno 355 miliard korun do roku 2050 (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2021). Výzva pro českou energetiku

spočívá v geografii České republiky, jenž je nevhodná pro využití některých zdrojů energie. Vodní energie již naplnila svůj potenciál a je zde jen malý prostor k navýšení výkonu. Vhodné podmínky pro větrné farmy jsou většinou jen v chráněných krajínách, kde se elektrárny nesmí stavět. Slunečního svitu přes rok je relativně málo (Drábová a kol., 2014). Pro Českou republiku je klíčová energie pocházející z jádra, pokud chce zůstat energeticky soběstačné.



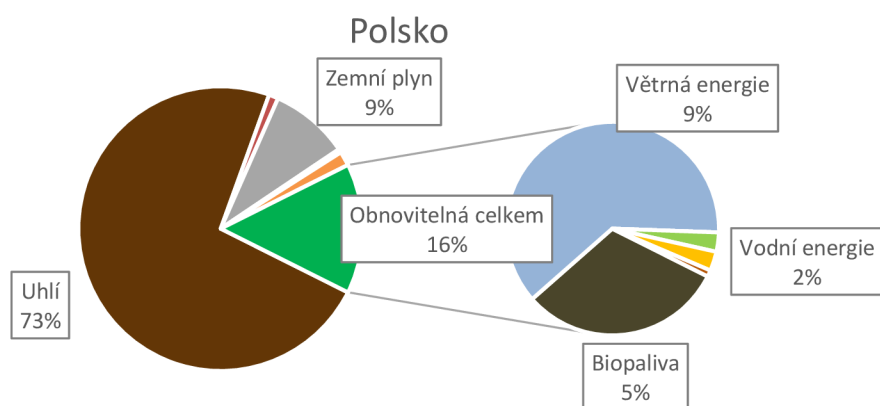
Obr. 1 Koláčové grafy energetického mixu České republiky

Na obrázku č. 2 lze vidět koláčové grafy energetického mixu Německa. Hlavním zdrojem elektrické energie je energie pocházející z obnovitelných zdrojů (41 %), konkrétně z větrných elektráren. Německo využívá své geografické polohy a instaluje obrovské větrné elektrárny v Severním moři. V roce 2022 plánuje odstavit všechny jaderné reaktory. Je zde ale vidět, že uhlí stále představuje poměrně velkou část v energetickém mixu.



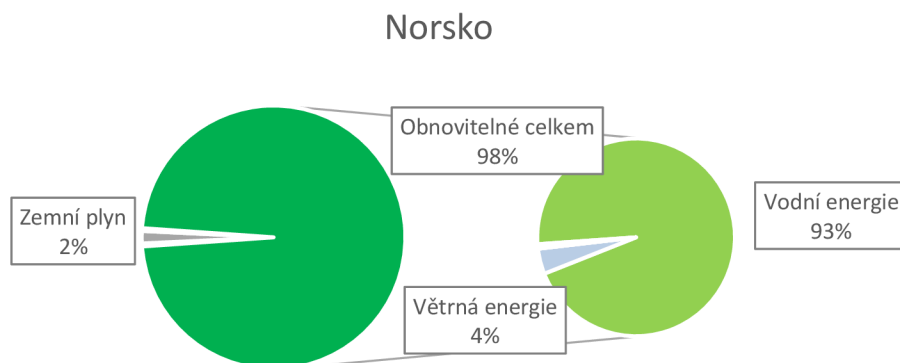
Obr. 2 Koláčové grafy energetického mixu Německa

Na obrázku č. 3 lze pozorovat koláčové grafy energetického mixu Polska. Jak již bylo zmíněno, Polsko je silně závislé na energii vyrobené z uhlí (73 % z celkové produkce) a velmi pomalu přechází k energii pocházející z obnovitelných zdrojů, i když geografie Polska nabízí potenciál pro rozšíření využití obnovitelných zdrojů. Polsko se navíc pohybuje na hraně unijního zákona, když rozšiřuje těžbu v dole Turów, aniž by posoudil vliv těžby na životní prostředí. Důl by přitom mohl silně poškodit zdroje pitné vody v Libereckém kraji (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2020).



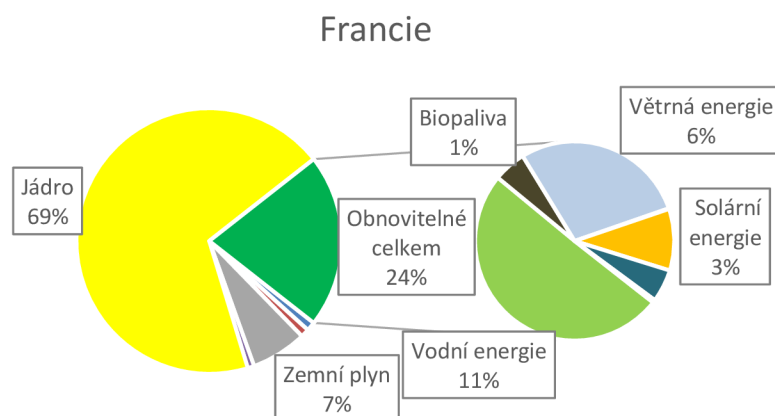
Obr. 3 Koláčové grafy energetického mixu Polska

Na obrázku č. 4 se nachází koláčové grafy energetického mixu Norska. Produkovaná energie pochází z 98 % z obnovitelných zdrojů a Norsko se tak stává premiantem a příkladem, který by země Evropské unie mohly následovat. Norsko má však výhodu, že se rozléhá na obrovském území plném vodních toků, proto je schopno 93 % elektrické energie vyrobit pomocí vodní energie.



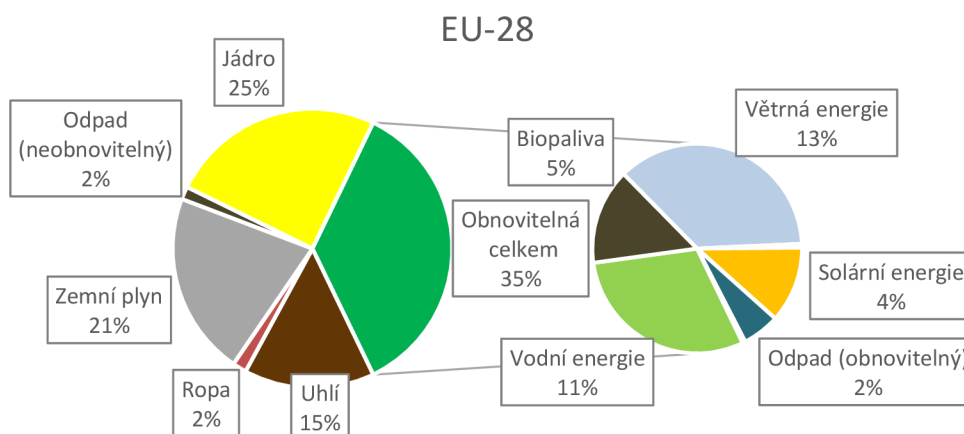
Obr. 4 Koláčové grafy energetického mixu Norska

Na obrázku č. 5 lze vidět koláčové grafy energetického mixu Francie. Je zřejmé, že Francie volí cestu využití jaderných reaktorů. Jaderná energie tvoří 69% podíl na celkové produkci elektrické energie. Francie je lídrem ve využití této energie a v Evropské unii vyvíjí nátlak, aby energie pocházející z jádra byla považována za „energii čistou“. Energetický mix Francie je celkově velmi příznivý pro životní prostředí.



Obr. 5 Koláčové grafy energetického mixu Francie

Na obrázku č. 6 se nachází koláčové grafy energetického mixu Evropské unie (včetně Spojeného království Velké Británie). Mix je velmi pestrý. To se potvrdilo i na výše zkoumaném vzorku, kde země volí naprosto odlišné strategie v energetických koncepcích. Jasným vítězem je energie z obnovitelných zdrojů (35 %), následuje jádro (25 %) a poté zemní plyn (21 %). Od energie vyprodukované z uhlí se povětšinou odstupuje, ale stále se zde nachází významný podíl (15 %) na celkové vyrobené elektrické energii.



Obr. 6 Koláčové grafy energetického mixu EU-28

2.1.2 Celková produkce CO₂ při výrobě elektřiny

Pro výpočet č. 1 již známe celkovou produkci elektřiny, nyní je potřeba vypočítat celkovou produkci CO₂ při výrobě elektřiny dle vzorce č. 2 a vzorce č. 3. K výpočtu je potřeba znát spotřeby jednotlivých paliv v zemích, ty se nachází v tabulce č. 6 a tabulce č. 7. Dále pak výchozí emisní faktory, které jsou zobrazeny v tabulce č. 3 v teoretické části bakalářské práce. V tabulce č. 6 lze nalézt hodnoty spotřeb jednotlivých paliv v České republice, Německu a Polsku.

Tab. 6 Spotřeba dle typu paliva Česká republika, Německo a Polsko

	Česká republika	Německo	Polsko
Typ paliva	Spotřeba [TJ]	Spotřeba [TJ]	Spotřeba [TJ]
Antracit	0	5107	0
Koksovatelné černé uhlí	0	29 262	1495
Ostatní bituminozní uhlí	37 731	529 362	889 377
Hnědé uhlí	387 786	1 048 517	395 024
Koksárenský koks	0	0	29
Černouhelný dehet	163	0	0
Hnědouhelné brikety	8	17 057	8
Energoplyn	11 120	0	0
Koksárenský plyn	5 070	22 722	20 767
Vysokopecní kychtový plyn	6 343	63 736	13 934
Plyn z ocelářských pecí	1 210	11 949	1591
Rafinérní plyn	1059	6958	485
Tekutý ropný plyn	440	1 248	13
Motorová nafta	171	9 399	2 202
Topný olej	435	8 353	12 837
Ropný koks	0	1 025	0
Ostatní ropné produkty	0	18 208	0
Zemní plyn	70 706	777 803	114 019
Primárně pevné odpady	30 919	134 895	71 201
Bioplyny	18 074	237 086	8 642
Obnovitelný komunální odpad	2 881	106 537	2 056
Ostatní tekuté biopaliva	0	3 835	38
Průmyslový odpad	712	17 839	1 139
Neobnovitelný komunální odpad	1918	106 537	9 102

Zdroj: Eurostat, 2021

V tabulce č. 7 lze nalézt spotřeby jednotlivých paliv v Norsku, Francii a v Evropské unii.

Tab. 7 Spotřeba dle typu paliva Norsko, Francie a EU-28

	Norsko	Francie	EU-28
Typ paliva	Spotřeba [TJ]	Spotřeba [TJ]	Spotřeba [TJ]
Antracit	0	0	7 779
Koksovateľné černé uhlí	0	0	30 756
Ostatní bituminozní uhlí	854	44 028	2 144 307
Sub-bituminozní uhlí	0	0	21 239
Hnědé uhlí	0	0	2 394 259
Koksárenský koks	0	0	29
Černouhelný dehet	0	0	163
Hnědouhelné brikety	0	0	23 367
Energoplyn	0	0	14 043
Koksárenský plyn	0	0	78 582
Vysokopecní kychtový plyn	1 269	25 062	206 221
Plyn z ocelářských pecí	0	0	21 076
Rašelina	0	0	72 674
Ropné břidlice a roponosné písky	0	0	44 908
Rařinérní plyn	3 613	2 876	94 680
Tekutý ropný plyn	536	134	2 909
Ostatní ropa	0	0	79
Motorová nařta	251	17 810	104 205
Topný olej	0	29 496	225 811
Ropný koks	0	0	5 652
Ostatní ropné produkty	0	1 176	128 145
Zemní plyn	13 108	301 190	4 382 579
Primárně pevné odpady	9 035	94 739	1 190 094
Bioplyny	310	28 068	437 558
Obnovitelný komunální odpad	7 423	50 091	35 349
Čistá bionařta	0	0	209
Směsná bionařta	0	0	42
Ostatní tekuté biopaliva	0	0	46 377
Průmyslový odpad	0	3 747	43 991
Neobnovitelný komunální odpad	6 854	50 090	346 307

Zdroj: Eurostat, 2021

Po získání spotřeb jednotlivých typů paliv se následně tyto hodnoty vynásobí s výchozím emisním faktorem jednotlivých paliv. Tak budou získány hodnoty emisí CO₂ při výrobě elektrické energie, vzniklé při spalování jednotlivých paliv. Suma těchto emisí je celková produkce CO₂ při výrobě elektrické energie v dané zemi, která je potřeba pro dosažení do vzorce č. 1, pro stanovení CO₂ ekvivalentu pro elektrovozidlo. V tabulce č. 8 lze pozorovat hodnoty CO₂ produkce dle typu paliv v České republice, Německu a Polsku.

Tab. 8 CO₂ produkce dle typu paliva v České republice, Německu a Polsku

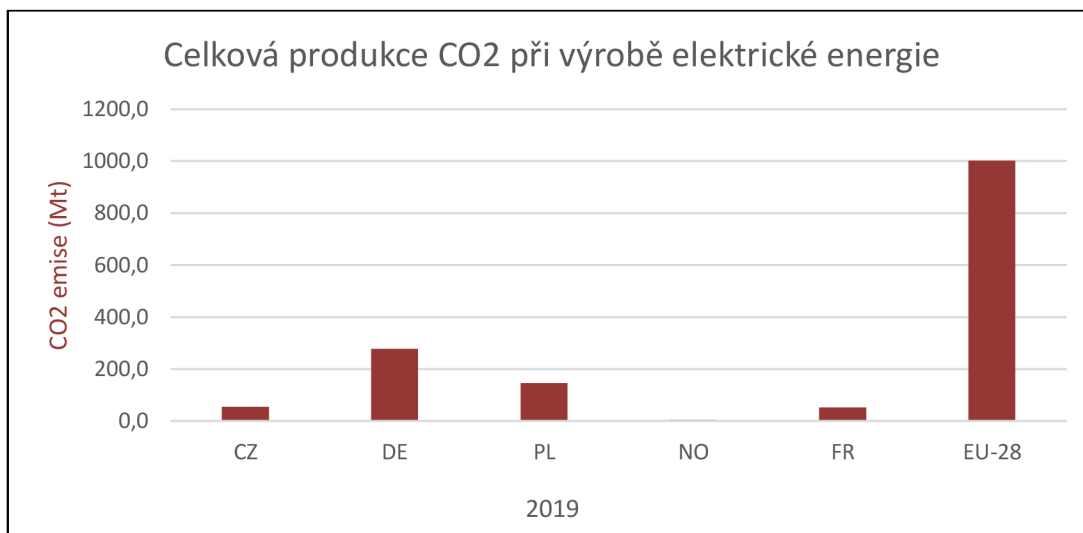
	Česká republika	Německo	Polsko
Typ paliva	CO ₂ produkce [t]	CO ₂ produkce [t]	CO ₂ produkce [t]
Antracit	0	502 106	0
Koksovateľné černé uhlí	0	2 768 142	141 397
Ostatní bituminózní uhlí	3 569 394	50 077 668	84 135 046
Hnědé uhlí	39 166 346	105 900	39 897 483
Koksárenský koks	0	0	3 136
Černouhelny dehet	13 177	0	0
Hnědouhelny brikety	816	1 663 060	816
Energoplyn	493 734	0	0
Koksárenský plyn	225 118	1 008 846	922 034
Vysokopecní kychtový plyn	1 649 181	16 571 271	3 622 754
Plyn z ocelářských pecí	220 217	2 174 741	289 559
Rafinérny plyn	61 013	400 807	27 975
Tekutý ropný plyn	27 740	78 728	793
Motorová nafta	12 720	696 493	163 187
Topný olej	33 702	646 496	993 562
Ropný koks	0	100 012	0
Ostatní ropné produkty	0	1 334 675	0
Zemní plyn	3 966 645	43 298 153	63 996 473
Primárně pevné odpady	3 081 903	13 489 451	7 120 072
Bioplyny	986 863	12 944 891	471 829
Obnovitelný komunální odpad	288 052	10 653 731	205 572
Ostatní tekuté biopaliva	0	305 275	2 999
Průmyslový odpad	101 781	2 551 114	162 850
Neobnovitelný komunální odpad	175 840	9 769 472	834 663
Suma	54 074 242	276 935 357	145 392 200

V tabulce č. 8 lze nalézt hodnoty CO₂ produkce dle typu paliv v Norsku, Francii a EU-28.

Tab. 9 CO₂ produkce dle typu paliva v Norsku, Francii a EU-28

	Norsko	Francie	EU-28
Typ paliva	CO ₂ produkce [t]	CO ₂ produkce [t]	CO ₂ produkce [t]
Antracit	0	0	76 683
Koksovatelné černé uhlí	0	0	2 909 540
Ostatní bituminozní uhlí	80 799	4 165 086	202 851 471
Sub-bituminozní uhlí	0	0	2 041 129
Hnědé uhlí	0	0	241 820 185
Koksárenský koks	0	0	3 136
Černouhelný dehet	0	0	13 177
Hnědouhelné brikety	0	0	2 278 236
Energoplyn	0	0	623 488
Koksárenský plyn	0	0	3 489 043
Vysokopecní kychtový plyn	329 836	6 516 168	53 617 417
Plyn z ocelářských pecí	0	0	3 835 896
Rašelina	0	0	7 703 494
Ropné břidlice a roponosné písky	0	0	4 805 114
Rašelinový plyn	208 121	165 677	5 453 585
Tekutý ropný plyn	33 816	8 454	183 610
Ostatní ropa	0	0	5 720
Motorová nafta	18 615	1 319 769	7 721 610
Topný olej	0	2 282 991	17 477 761
Ropný koks	0	0	551 088
Ostatní ropné produkty	0	86 237	9 393 057
Zemní plyn	735 408	16 896 760	246 862 679
Primárně pevné odpady	903 511	9 473 891	119 009 371
Bioplyny	16 916	1 532 530	23 890 682
Obnovitelný komunální odpad	742 320	5 009 088	3 534 915
Čistá bionafta	0	0	14 821
Směsná bionafta	0	0	2 964
Ostatní tekuté biopaliva	0	0	3 691 624
Průmyslový odpad	0	535 848	6 290 672
Neobnovitelný komunální odpad	628 493	4 593 333	31 756 350
Suma	3 717 497	52 585 830	1 001 596 520

Výsledné sumy hodnot emisí CO₂ se velmi liší. Nejnižší hodnota náleží Norsku a činí pouze 3,7 milionů tun vyprodukovaných CO₂ emisí. Na území Evropské unie se v roce vypustila do ovzduší zhruba 1 miliarda tun emisí CO₂ pouze při výrobě elektrické energie! Pro lepší přehled byl vytvořen sloupcový graf, jenž je možné pozorovat na obrázku č. 7.



Obr. 7 Sloupcový graf celkové produkce CO₂ při výrobě elektrické energie

2.2 Stanovení ekvivalentu CO₂ pro elektrovozidlo v g/kWh

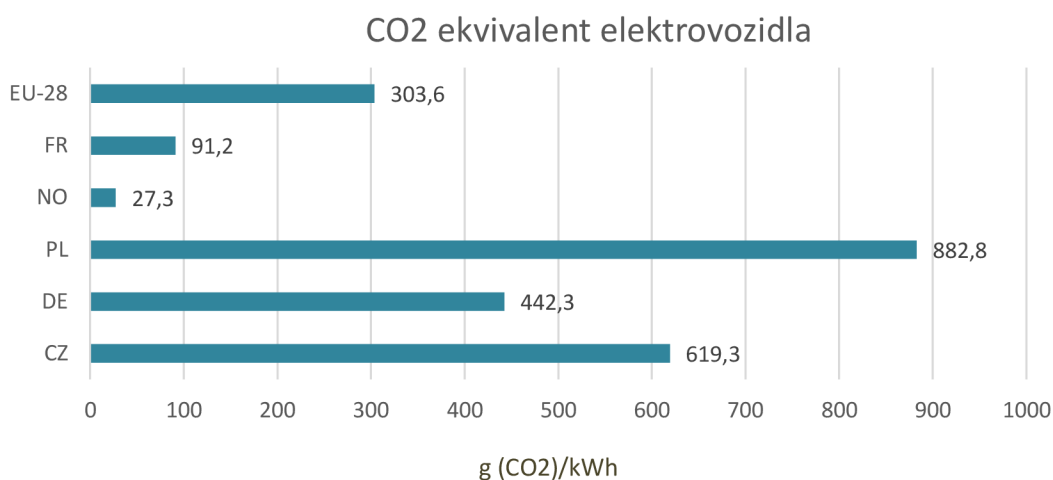
Pro výpočet CO₂ ekvivalentu elektrovozidla jsou známy již všechny potřebné hodnoty, proto stačí jen dosadit do vzorce č. 1. Dosazením se stanoví CO₂ ekvivalent elektrovozidla v g/kWh pro danou zemi. Přehled veškerých výsledných hodnot je v tabulce č. 10.

Tab. 10 CO₂ ekvivalent pro elektrovozidlo v gCO₂/kWh

Země	Celková produkce elektrické energie [MWh]	Celková CO ₂ produkce [t]	CO ₂ ekvivalent pro elektrovozidlo [gCO ₂ /kWh]
Česká republika	87 312	54 074 242	619,3
Německo	626 185	276 935 357	442,3
Polsko	164 703	145 392 200	882,8
Norsko	135 926	3 717 497	27,3
Francie	576 883	52 585 830	91,2
EU-28	3 299 504	1 001 596 520	303,6

Výsledné hodnoty CO₂ ekvivalentu pro elektrovozidlo v daných zemích lze také pozorovat na obrázku č. 7, kde se nachází sloupcový graf, který hodnoty porovnává. Z grafu lze jasně vyčíst, že nejhůře si vede Polsko. Při spotřebě 1kWh elektrické energie elektrovozidla se do ovzduší vypustí ekvivalent 882,8 gCO₂. Česká republika si také nevede nejlépe s hodnotou 619 gCO₂/kWh, je dvakrát větší než unijní průměr. Nabízí se vážná otázka, zda prosazování elektromobility v zemích, jenž mají vysoký podíl uhlí v energetických mixech, nemůže naopak způsobit „tichý“ nárůst emisí skleníkových plynů v dopravě.

Oproti tomu stojí Norsko s hodnotou 27,3 gCO₂/kWh, nejnižší hodnotou v Evropské unii. Elektromobilita zde může zásadně snížit produkci skleníkových plynů v dopravě. Dobře si také vede Francie, její CO₂ ekvivalent pro elektrovozidlo je více než třikrát nižší, než průměr ekvivalentu v Evropské unii.



Obr. 8 CO₂ ekvivalent elektrovozidla v gCO₂/kWh

Ze stanovení CO₂ ekvivalentu jasně vyplývá, že elektromobilita bude ekologická, jestliže energetické mixy zemí budou ekologické, tzn. budou-li tvořeny výhradně energií pocházející z jádra, či obnovitelných zdrojů. Zatím se tomu tak neděje.

3 Porovnání hodnot CO2 pro elektrovozidlo a konvenční vozidlo

V bakalářské práci se provedla analýza energetických mixů daných zemí a zjistilo se, jakou produkci CO2 mají jednotlivé státy. Nyní je možné zodpovědět otázku, která je předmětem této práce. Otázka zní: „Co je více ekologické? Vozidla se spalovacími motory, či elektrovozidla?“.

3.1 Porovnání hodnot CO2 pro elektrovozidlo a konvenční vozidlo

Porovnání hodnot CO2 ekvivalentu elektrovozidla a hodnot CO2 vozidel se spalovacím motorem bude prezentováno na vybraných modelech vozidel. Modely byly vybrány na základě velikosti prodejů v Evropské unii v roce 2020. Pro každou kategorii bylo vybráno 5 nejprodávanějších vozidel.

Vybraná elektrovozidla:

- Renault Zoe (99 432 prodaných vozidel),
- Tesla model 3 (85 979 prodaných vozidel),
- Volkswagen ID.3 (54 495 prodaných vozidel),
- Hyundai Kona EV (54 495 prodaných vozidel),
- Volkswagen e-Golf (33 650 prodaných vozidel).

(Carsalesbase, 2021)

Vybraná vozidla se spalovacím motorem:

- Volkswagen Golf (285 013 prodaných vozidel),
- Renault Clio (248 602 prodaných vozidel),
- Peugeot 208 (199 316 prodaných vozidel),
- Opel Corsa (198 893 prodaných vozidel),
- Škoda Octavia (180 902 prodaných vozidel).

(Statista, 2021)

K závěrečnému porovnání je potřeba pro vybraná elektrovozidla nalézt jejich elektrickou spotřebu danou výrobcem dle WLTP. Pro vybraná vozidla se spalovacím motorem je potřeba zjistit jejich uhlíkovou stopu dle WLTP, tedy zjistit velikost hodnoty gCO2/km. Jelikož výrobci vybraných modelů nabízí širokou škálu

verzí vozidla⁴, verze vozidla byla vybrána tak, aby byl v práci obsažen co nejreprezentativnější vzorek. Jednotlivé verze se od sebe liší v řádu jednotek, maximálně desítek gCO₂/km, a to podle stupně výbavy, velikosti výkonu motoru, objemu motoru atd.

V tabulce č. 11 lze pozorovat elektrickou spotřebu a uhlíkovou stopu dle WLTP vybraných verzí vybraných vozidel. Vozidlo s nejvyššími emisemi je Volkswagen Golf GTI (2.0 TSI 180 kW), který je zároveň znatelně nejvýkonnější z vybraných vozidel se spalovacím motorem. Volkswagen e-Golf, který disponuje nejmenší kapacitou baterie má nejnižší spotřebu elektrické energie.

Tab. 11 Elektrická spotřeba a uhlíková stopa vybraných vozidel dle WLTP

Vozidla	Uhlíková stopa [gCO ₂ /km]	Spotřeba elektrické energie [kWh/km]
Renault Zoe ZE50 R110 (54,7 kWh)	-	0,174
Tesla model 3 Performance (82 kWh)	-	0,165
Volkswagen ID.3 Pro (62 kWh)	-	0,157
Hyundai Kona EV (64 kWh)	-	0,147
Volkswagen e-Golf (24,2 kWh)	-	0,127
Volkswagen Golf GTI (2.0 TSI 180 kW)	168	-
Renaul Clio (Zen SCE 49 kW)	116	-
Peugeot 208 (1.2 55 kW)	119	-
Opel Corsa (1.2 Turbo, 74 kW)	116	-
Škoda Octavia (2.0 TDI 85 kW)	107	-

Zdroj: (Electric vehicle database, 2021), (Opel, 2021), (Volkswagen, 2021), (Škoda Auto, 2021), (Peugeot, 2021), (Renault, 2021)

Posledním krokem před závěrečným porovnáním je přepočítání CO₂ ekvivalentu, který byl počítán v gCO₂/kWh na CO₂ ekvivalent elektrovozidla v gCO₂/km dle vzorce 4. K přepočtu je potřeba znát spotřeby elektrické energie elektrovozidel v kWh/km a právě již vypočítaný CO₂ ekvivalent elektrovozidla v gCO₂/kWh v daných zemích. Hodnoty mezi sebou vynásobíme. V tabulce č. 12 lze nalézt

⁴ U spalovacích vozidel je na výběr ze vznětových a spalovacích motorů, s různými výkony atd. U elektrovozidel je na výběr z různých kapacit baterií.

všechny zmíněné hodnoty. Z tabulky 12 lze jasně vidět, že emise vyprodukované při jízdě elektrovozdlem v Norsku a Polsku vychází naprosto odlišně.

Tab. 12 CO2 ekvivalent elektrovozidla v gCO2/km

		CO2 ekvivalent elektrovozidla [gCO2/kWh]					
		CZ	DE	PL	NO	FR	EU
		=	=	=	=	=	=
		619,3	442,3	882,8	27,3	91,2	303,6
Vozidla	Spotřeba el. energie [kWh/km]	CO2 ekvivalent elektrovozidla [gCO2/km]					
		CZ	DE	PL	NO	FR	EU
Renault Zoe	0,174	107,8	77,0	153,6	4,8	15,9	52,8
Tesla model 3	0,165	102,2	73,0	145,7	4,5	15,0	50,1
Volkswagen ID.3	0,157	97,2	69,4	138,6	4,3	14,3	47,7
Hyundai Kona EV	0,147	91,0	65,0	129,8	4,0	13,4	44,6
Volkswagen e-Golf	0,127	78,7	56,2	112,1	3,5	11,6	38,6

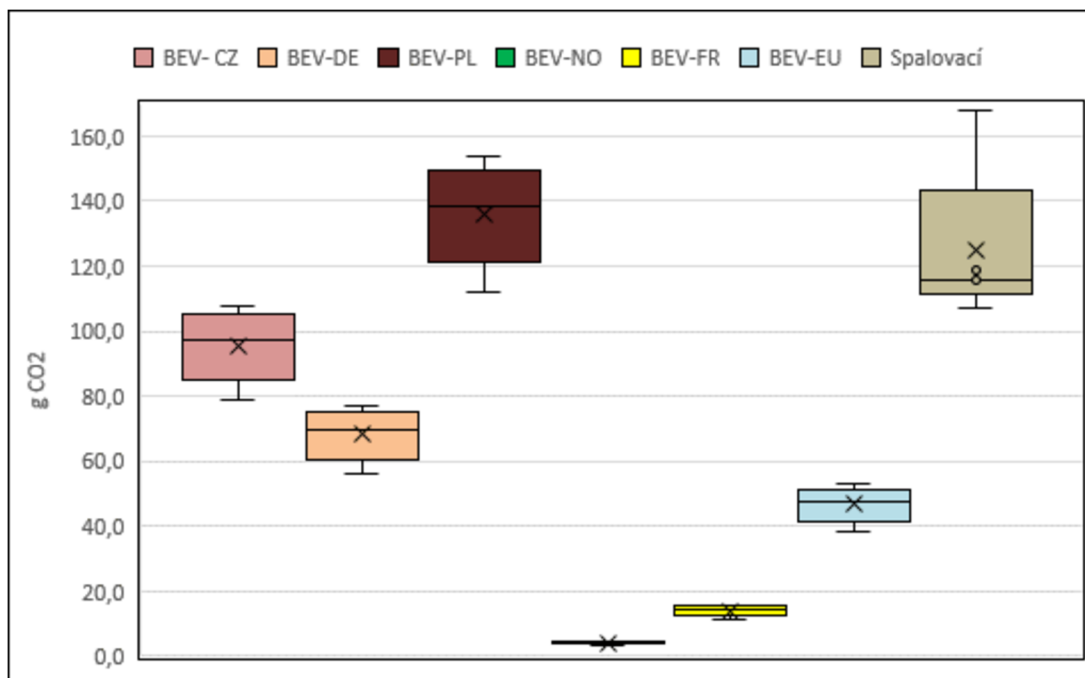
3.2 Vyhodnocení

Na obrázku č. 9 lze nalézt graf, který byl vytvořen pro porovnání CO2 ekvivalentu elektrovozidla s velikostí CO2 vozidel se spalovacími motory. Elektrovozidla jsou zde označována jako BEV (Bateriové elektrické vozidlo). Elektromobilita, dle mého názoru, má opravdu velký smysl v zemích s podobným energetickým mixem jako má Norsko a Francie a už menší smysl v zemích jako je Polsko, či Česká republika⁵. Z obrázku je patrné, že elektrovozidlo, které je nabíjeno v Norsku a Francii, produkuje výrazně méně gCO2/km, než vozidlo se spalovacím motorem. EU jako celek si vede také dobře, průměrné emise elektrovozidla jsou nižší, než průměrné emise ze spalovacích vozidel.

Ve výpočtu CO2 ekvivalentu elektrovozidla se objevily hodnoty spotřeb elektrické energie jednotlivých vozidel, které byly měřené dle WLTP v laboratořích. Reálné spotřeby elektrovozidel v provozu jsou však často vyšší, než naměřené hodnoty v laboratorních podmínkách (Electric vehicle database, 2021). Hodnoty gCO2/km

⁵ Elektromobilita v Polsku a České republice má smysl tehdy, pokud se elektrovozidlo nabíjí čistě z obnovitelných zdrojů, např. domácí dobíjení, kde elektrická energie pochází ze solárních panelů.

pro BEV v daných zemích by poté byly vyšší čísla a elektrovozidla by vycházely hůře, než lze vidět na obrázku č. 9.



Obr. 9 Porovnání CO2 emisí elektrovozidel dle energetických mixů v daných zemích se spalovacími vozidly

Na obrázku č. 9 lze vidět, krabicový graf, který vychází z tabulky č. 12. Křížkem v jednotlivých „krabicích“ jsou označené střední hodnoty hodnot gCO₂/km elektrovozidel a vozidel se spalovacími motory. Jednotlivé „krabice“ označují kvartily a jsou vypočítány pomocí exkluzivního mediánu. Rozptýl dat je označen svislou úsečkou.

Jízdou vozidlem se spalovacím motorem se do ovzduší vypustí od 107 gCO₂/km, v případě jízdy ve Škodě Octavii, do 168 gCO₂/km, v případě jízdy ve Volkswagen Golf GTI. Tyto hodnoty platí pro všechny země na světě.

Jízdou elektrovozidlem v České republice se vyprodukuje od 78,8 gCO₂/km, v případě jízdy Volkswagen e-Golf až po 107,8 gCO₂/km, v případě jízdy Renaultem Zoe. Střední hodnota je 95,4 gCO₂/km. Hodnoty jsou nižší, než hodnoty pro vozidlo se spalovacím motorem. To může být dáno výše zmíněnou nepřesností při měření elektrické energie elektrovozidla při WLTP.

Hodnoty pro jízdu elektrovozidlem v Německu jsou nižší, než v České republice. Hodnoty se pohybují od 56,2 gCO₂/km (Volkswagen e-Golf) do 77 gCO₂/km

(Renault Zoe). Je to dáno tím, že Německo má příznivější energetický mix pro životní prostředí.

Hodnoty pro elektrovozidlo v Polsku dosahují výš, než hodnoty pro vozidla se spalovacími motory. Jízdou Volkswagenem e-Golf se vypustí 112,1 gCO₂/km do ovzduší a jízdou Renaultem Zoe až 153,6 gCO₂/km! Dle mého názoru by se Polsko nejdříve mělo zaměřit na svůj energetický mix, a poté až na elektromobilitu.

Hodnoty pro Norsko a Francii se nachází nejnižší v grafu. Je to dáno jejich energetickými mixy, které jsou tvořeny převážně z obnovitelných zdrojů nebo jádra. Jízdou Volkswagenem e-Golf se ve Francii do ovzduší vypustí 12 gCO₂/km a v Norsku pouze 3,5 gCO₂/km! Při jízdě v Renaultu Zoe ve Francii hodnoty dosahují 15,9 gCO₂/km a v Norsku 4,8 gCO₂/km. I přes to, že Renault Zoe má nejvyšší spotřebu elektrické energie z vybraných elektrovozidel, jsou hodnoty gCO₂/km výrazně nižší, než hodnoty pro vozidla se spalovacími motory.

V Evropské unii jsou hodnoty gCO₂/km při jízdě elektromobilem nižší, než hodnoty gCO₂/km pro vozidla se spalovacími motory. Jízdou Volkswagenem e-Golf se do ovzduší vypustí 38,6 gCO₂/km a jízdou Renaultem Zoe 52,8 gCO₂/km. V Evropské unii jako celku vychází elektrovozidla lépe, co se týče lokálních vyprodukovaných emisí, než vozidla se spalovacími motory.

Závěr

V bakalářské práci byla zodpovězena otázka, zda jsou elektrovozidla více ekologická, než vozidla se spalovacími motory, a zda připravovaná legislativa, jež podporuje elektromobilitu, přispěje ke snížení emisí pocházejících z automobilové dopravy.

Důkladnou analýzou byly zjištěné energetické mixy daných zemí a produkce CO₂ emisí při spalování jednotlivých paliv. Na základě nich byl poté počítán CO₂ ekvivalent pro elektrovozidlo.

Po vypočítání CO₂ ekvivalentu elektrovozidla a porovnání této hodnoty s hodnotami CO₂ vozidel se spalovacími motory, bylo zjištěno, že elektromobilita dává smysl, ale pouze v zemích jako je Norsko a Francie, kde je energetický mix tvořen z větší části z obnovitelných zdrojů. Naopak kvůli Polsku a jeho energetickému mixu může elektromobilita zapříčinit tichý nárůst emisí CO₂ v automobilové dopravě. Česká republika si nevede o moc lépe, než Polsko. Unijní průměr je, dle mého názoru, překvapivě nadějný a dává prostor pro další rozšiřování elektromobility.

Seznam literatury

Best-selling car models in Europe in 2020, based on unit sales. *Statista* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1127929/best-selling-car-models-in-europe-by-units-sold/>.

Compare electric vehicles. *Electric Vehicle Database* [online]. 2021 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://ev-database.org>.

Česká společnost o globálních problémech - květen 2018. *Centrum pro výzkum veřejného mínění* [online]. Praha: Sociologický ústav AV ČR, 2018 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: https://cvvm.soc.cas.cz/media/com_form2content/documents/c2/a4669/f9/oe180713.pdf.

Data and statistics. *IEA* [online]. Paříž: Mezinárodní agentura pro energii, 2021 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/datatables?country=UK&energy=Electricity&year=2019>.

Doporučení Uhelné komise o konci hnědého uhlí v roce 2038 projednala vláda. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, 2021 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/doporuceni-uhelne-komise-o-konci-hnedeho-uhli-v-roce-2038-projednala-vlada--261557/>.

DRÁBOVÁ, D. a kol. *Perspektivy české energetiky: současnost a budoucnost*. Praha: Novela Bohemia, 2014. ISBN 978-80-87683-26-2.

Emission Standards: Europe: Cars and Light Trucks. *DieselNet: Engine & Emission Technology Online* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>.

Energy balances. *Eurostat* [online]. Lucemburk: Evropská komise, 2021 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>.

European sales 2020 EV and PHEV. *CarSalesBase* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://carsalesbase.com/european-sales-2020-ev-phev/>.

Fit for 55. *EUR-Lex* [online]. Brusel: Evropská komise, 2021 [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>.

Golf. *Volkswagen Česká republika* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: https://konfigurator.volkswagen.cz/cc-cz/cs_CZ_VW19V/model-selection/075?variant=GTI.

HROMÁDKO, J a kol. *Spalovací motory*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

Chapter 1: Introduction. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [online]. Ženeva: Mezivládní panel pro změnu klimatu, 2006 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf.

Chapter 2: Stationary combustion. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [online]. Ženeva: Mezivládní panel pro změnu klimatu, 2006 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf.

IBLER, Z a kol. *Energetika 1. díl: Technický průvodce*. Praha: BEN, 2002. ISBN 80-7300-026-1.

NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2019/631. *EUR-Lex* [online]. Brusel: Evropský parlament a Rada EU, 2019 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0631&from=ES>

NOVÁ FABIA. *ŠKODA AUTO Česká republika* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2021 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/nova-fabia/nova-fabia>.

NOVÝ KODIAQ. *ŠKODA AUTO Česká republika* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2021 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/kodiaq/kodiaq>.

Opel Corsa. *Opel Česká republika* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.opel.cz/vozidla/corsa-models/corsa/konfigurator.html#/model>.

PEUGEOT 208. *Peugeot* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.peugeot.cz/modelova-rada/vyber-vozu/nova-208/konfigurator/motory.html>.

Povrchový důl TURÓW [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2020 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.kraj-lbc.cz/getFile/id:1084383/TUROW-shrnutidopadu-VUV-FINAL%20%281%29.pdf>.

Prospects and contradictions of the electrification of the European automotive industry: the role of European Union policy. *ResearchGate* [online]. Cachan: Tommaso Parti, 2021 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/search/publication?q=prospect+and+contradiction+of+the+electrification+of+the+automotive+industry>.

SMIL, V. *Ropa*. Praha: Kniha Zlín, 2018. ISBN 978-80-7473-703-9.

Specifikace Clio. *Renault Česká republika* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.renault.cz/osobni-vozy/cli/specifikace.html>.

ŠKODA OCTAVIA. *ŠKODA AUTO Česká republika* [online]. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO, 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia/octavia-prehled-motoru>.

Zelená dohoda pro Evropu. *EUR-Lex* [online]. Brusel: Evropská komise, 2019 [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Koláčové grafy energetického mixu České republiky	19
Obr. 2 Koláčové grafy energetického mixu Německa.....	19
Obr. 3 Koláčové grafy energetického mixu Polska	20
Obr. 4 Koláčové grafy energetického mixu Norska	20
Obr. 5 Koláčové grafy energetického mixu Francie.....	21
Obr. 6 Koláčové grafy energetického mixu EU-28.....	21
Obr. 7 Sloupcový graf celkové produkce CO ₂ při výrobě elektrické energie.....	26
Obr. 8 CO ₂ ekvivalent elektrovozidla v gCO ₂ /kWh.....	27
Obr. 9 Porovnání CO ₂ emisí elektrovozidel dle energetických mixů v daných zemích se spalovacími vozidly	31

Seznam tabulek

Tab. 1 Limity toxických látek pro vznětové motory osobních vozidel.....	10
Tab. 2 Limity toxických látek pro zážehové motory osobních vozidel.....	10
Tab. 3 Výchozí emisní faktory skleníkových plynů dle typu paliva	14
Tab. 4 Energetické mixy České republiky, Německa a Polska.....	17
Tab. 5 Energetické mixy Norska, Francie a EU-28.....	18
Tab. 6 Spotřeba dle typu paliva Česká republika, Německo a Polsko	22
Tab. 7 Spotřeba dle typu paliva Norsko, Francie a EU-28	23
Tab. 8 CO ₂ produkce dle typu paliva v České republice, Německu a Polsku	24
Tab. 9 CO ₂ produkce dle typu paliva v Norsku, Francii a EU-28	25
Tab. 10 CO ₂ ekvivalent pro elektrovozidlo v gCO ₂ /kWh.....	26
Tab. 11 Elektrická spotřeba a uhlíková stopa vybraných vozidel dle WLTP.....	29
Tab. 12 CO ₂ ekvivalent elektrovozidla v gCO ₂ /km	30

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Kuliková Jana		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Průmyslový management		
NÁZEV PRÁCE	Stanovení ekvivalentu CO2 pro elektrovozidlo s ohledem na energetický mix		
VEDOUCÍ PRÁCE	prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D.		
KATEDRA	KSE - Katedra strojírenství a elektrotechniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2021
POČET STRAN	38		
POČET OBRÁZKŮ	9		
POČET TABULEK	12		
POČET PŘÍLOH	0		
STRUČNÝ POPIS	<p>V bakalářské práci se odpovídá na otázku, zda je elektromobilita ekologická, a zda připravovaná emisní legislativa v rámci Evropské unie umožní snížení emisí z automobilové dopravy. Cílem je porovnat velikosti emisí pocházejících z elektrovozidel a vozidel se spalovacími motory. Pro elektrovozidlo se vypočítal CO2 ekvivalent na základě energetických mixů daných zemí. Bylo zjištěno, že elektromobilita může dávat smysl, ale pouze pokud budou energetické mixy tvořeny z větší části z obnovitelných zdrojů, jako tomu je například v Norsku. Naopak v Polsku vozidla se spalovacími motory produkují méně emisí, než elektrovozidla.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	<p>Emisní legislativa CO2 emise Ekvivalent CO2 pro elektrovozidlo Energetický mix</p>		

ANNOTATION

AUTHOR	Kuliková Jana		
FIELD	Industrial management		
THESIS TITLE	An approach to quantify CO2 emissions from electric vehicles in regard to emission arising from electricity generation		
SUPERVISOR	prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph.D.		
DEPARTMENT	KSE - Department of Mechanical and Electrical Engineering	YEAR	2021
NUMBER OF PAGES	38		
NUMBER OF PICTURES	9		
NUMBER OF TABLES	12		
NUMBER OF APPENDICES	0		
SUMMARY	<p>In this thesis was analyzed the question, if the electric vehicles are more environmental friendly than conventional fuel-combustion vehicles and if the preparing emission legislation in European union is reasonable. The main aim of this thesis was to compare the amount of emissions which comes from electric vehicles and fuel-combustion vehicles. CO2 emissions from electric vehicles were quantified in regard to emission arising from electricity generation. The conclusion is that electric vehicles could be more environmental friendly (for example in Norway), but it depends on share of renewables resources in electricity generation.</p>		
KEY WORDS	<p>Emission standards CO2 emissions Quantify CO2 emissions from electric vehicles Electricity generation</p>		