

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě

Radek Rus

Bakalářská práce

2023

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Radek Rus**  
Osobní číslo: **D20185**  
Studijní program: **B1041A040002 Technologie a management v dopravě**  
Specializace: **Logistika**  
Téma práce: **Analýza vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

## Zásady pro vypracování

Úvod

1. Charakteristika vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě
2. Analýza vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě
3. Návrhy na využití vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **35-45 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucí/ho**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Hruška, Ph.D.**  
Katedra dopravního managementu, marketingu  
a logistiky

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2023**

LS.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Pavla Lejsková, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. dubna 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem „Analýza vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14. 5. 2023

Radek Rus v. r.

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Romanu Hruškovi, Ph.D., za vstřícný přístup a odborné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat za konzultace Ing. Michalu Krůtovi ze společnosti Škoda Auto a. s. a mojí přítelkyni za psychickou podporu.

## **ANOTACE**

Tato práce se zabývá porovnáním druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě se zaměřením zejména na ekologičnost a finanční výhodnost. Analyzuje ekologickou náročnost výroby automobilu, výroby a distribuce pohonných hmot a samotného provozu vozidel s různými koncepcemi pohonu. Výsledkem jsou návrhy na vhodné využití vozidel.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

elektromobilita, emise CO<sub>2</sub>, konvenční pohony, porovnání, Škoda Auto a. s.

## **TITLE**

Analysis of selected types of vehicle drives in passenger road transport

## **ANNOTATION**

This thesis deals with the comparison of types of vehicle drives in passenger road transport, focusing mainly on environmental friendliness and financial advantage. It analyses the environmental performance of car production, fuel production and distribution and the actual operation of vehicles with different engine concepts. The result is suggestions for the appropriate use of the vehicles.

## **KEYWORDS**

electromobility, emissions CO<sub>2</sub>, conventional drives, comparison, Škoda Auto a. s.

# OBSAH

|   |    |
|---|----|
| ÚVOD .....  | 9  |
| 1 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH DRUHŮ POHONŮ VOZIDEL V OSOBNÍ SILNIČNÍ DOPRAVĚ..... | 10 |
| 1.1 Určení porovnávaných druhů pohonů.....                                      | 10 |
| 1.1.1 Spalovací motory .....  | 10 |
| 1.1.2 Alternativní pohony .....   | 11 |
| 1.2 Historický vývoj.....   | 11 |
| 1.2.1 Svět .....  | 11 |
| 1.2.2 ČR .....  | 12 |
| 1.3 Ekologie.....   | 13 |
| 1.3.1 Výroba automobilu .....   | 15 |
| 1.3.2 Výroba a recyklace baterií .....  | 15 |
| 1.3.3 Well-to-Wheel analýza .....   | 16 |
| 1.3.4 Well-to-Tank (pohonné hmoty) .....  | 17 |
| 1.3.5 Well-to-Tank (elektrická energie).....                                    | 18 |
| 1.3.6 Tank-to-Wheel .....   | 19 |
| 1.3.7 Údržba automobilu.....  | 21 |
| 1.3.8 Likvidace automobilu .....  | 21 |
| 1.4 Ekonomické aspekty .....  | 21 |
| 1.4.1 Cena pořízení automobilu .....  | 22 |
| 1.4.2 Provozní náklady.....   | 22 |
| 1.4.3 Podpora státu.....  | 25 |
| 1.5 SWOT analýza.....   | 26 |
| 2 ANALÝZA VYBRANÝCH DRUHŮ POHONŮ VOZIDEL V OSOBNÍ SILNIČNÍ DOPRAVĚ..            | 27 |
| 2.1 Představení modelů.....   | 27 |
| 2.1.1 Škoda Enyaq iV 80.....  | 27 |
| 2.1.2 Škoda Kodiaq TSI/TDI .....  | 28 |
| 2.2 Porovnání ekologie .....  | 28 |
| 2.2.1 Výroba automobilu .....   | 29 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.2.2 | Výroba baterií .....  | 31 |
| 2.2.3 | Well-to-Tank (pohonné hmoty) .....  | 33 |
| 2.2.4 | Well-to-Tank (elektrická energie).....  | 35 |
| 2.2.5 | Tank-to-Wheel .....   | 37 |
| 2.2.6 | Údržba automobilu.....  | 39 |
| 2.2.7 | Likvidace automobilu .....  | 40 |
| 2.2.8 | Porovnání emisí v životním cyklu vozidel.....                                   | 40 |
| 2.3   | Porovnání nákladů .....   | 43 |
| 2.4   | SWOT analýza.....   | 47 |
| 2.4.1 | SWOT analýza spalovacích pohonů .....   | 47 |
| 2.4.2 | SWOT analýza elektrického pohonu .....  | 48 |
| 3     | NÁVRHY NA VYUŽITÍ VYBRANÝCH DRUHŮ POHONŮ VOZIDEL V OSOBNÍ SILNIČNÍ DOPRAVĚ..... | 50 |
| 3.1   | Spalovací automobily.....   | 50 |
| 3.2   | Elektromobily .....   | 52 |
|       | ZÁVĚR .....   | 54 |
|       | POUŽITÁ LITERATURA.....   | 55 |
|       | SEZNAM TABULEK.....   | 62 |
|       | SEZNAM OBRÁZKŮ.....   | 63 |
|       | SEZNAM ZKRATEK.....   | 64 |



# ÚVOD

Téma bakalářské práce se zabývá problematikou pohonů dopravních prostředků v osobní silniční dopravě. Aktuálně je to velmi diskutované téma, vždyť jen v České republice bylo podle ročenky ministerstva dopravy ČR k roku 2021 registrovaných přes 6 milionů osobních vozidel.

Ve společnosti nyní rezonuje zejména téma elektromobility, které je obecně bráno spíše skepticky. Jisté je, že do budoucna se nejde spoléhat pouze na dosavadní neudržitelné řešení pohonů, které spoléhá na vyčerpatelné zdroje a přispívá ke vzniku skleníkových plynů, které mají za důsledek globální oteplování. Hojně využívané spalovací motory se můžou zdát oproti inovativním pohonům jako daleko lepší, ve skutečnosti jsou však už za dobu svého využívání téměř na konci vývoje a nemají tudíž potenciál převratných vylepšení, a proto se bude práce zabývat porovnáním aktuální situace konvenčních automobilů a elektromobilů.

Bakalářská práce je členěna do tří kapitol. Obsahem první kapitoly je teoretické vymezení problematiky pohonů v osobní silniční dopravě. V úvodní části kapitoly jsou popsány porovnávané pohony, jejich historický vývoj a rozšíření. Dále jsou zde popsány vlivy na životní prostředí z pohledu celého životního cyklu automobilu. Ve zbytku kapitoly jsou uvedeny ekonomické aspekty lišící se u jednotlivých druhů pohonů a charakteristika SWOT analýzy.

Obsahem druhé kapitoly je analýza ekologie a ekonomičnosti u vybraných skutečných modelech automobilů. V kapitole jsou vhodně použita grafická znázornění pro lepší přehlednost tématu. V závěru kapitoly je vypracována SWOT analýza.

V poslední kapitole je zhodnocení pohonů a návrh na jejich využití na základě dat, která vyplynula z analýzy.

Cílem bakalářské práce je na základě analýzy vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě přispět k většímu porozumění výhod a nevýhod jednotlivých druhů pohonů vozidel a navrhnout doporučení v závislosti na konkrétních situacích.

# 1 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH DRUHŮ POHONŮ VOZIDEL V OSOBNÍ SILNIČNÍ DOPRAVĚ

V této kapitole jsou vymezeny základní teoretické pojmy týkající se dané problematiky. Kapitola je rozdělena na tři části. První se vztahuje k ekologii, druhá k ekonomice a třetí ke SWOT analýze.

## 1.1 Určení porovnávaných druhů pohonů

V dnešní době existuje velký počet pohonů. Od konvenčních spalovacích motorů přes nyní využívané alternativní (LPG/CNG motory a elektromotory) po pohony, které jsou zatím jen ve formě ne příliš rozšířených konceptů (Vodíkové a metanolové motory). V práci se kvůli obšírnosti tématu zaměřím pouze na ty, které jsou uvedeny níže.

### 1.1.1 Spalovací motory

Jak je z názvu patrné, tyto motory fungují na principu energie získané spalováním paliva. Spalovací motory jsou na vysokém stupni svého vývoje. Podle autorů Jílka a Pokorného (2013) při spalování dochází k uvolnění tepelné energie, která je přeměněna na energii kinetickou. Tato přeměna není dokonalá, to znamená, že dochází ke ztrátám potenciální energie. Účinnost spalovacích motorů se podle Hromádka et al. (2011) pohybuje kolem 5–46 % v závislosti na použitém palivu. Z toho vyplývá, že jen velmi malá část paliva je využita na pohon a zbytek potenciální energie je v podobě úniku tepla odváděno pryč z vozidla.

Zážehové motory (rovněž nazývané benzinové, podle typu paliva, které spalují) jsou používány zejména k pohonu osobních automobilů a motocyklů. Hromádka et al. (2011) vysvětluje, že zážehové se nazývají proto, že palivo je ve válci zažehnuto jiskrou ze zapalovací svíčky. Jedná se o nejrozšířenější a nejužívanější motor na světě, využívaný nejen v dopravě. Jeho celková účinnost může podle Matějovského (2005) dosahovat až 36 %.

Hromádka et al. (2011) uvádí, že název vznětového motoru je odvozen od toho, že se směs paliva ve válci samovolně vznítí vlivem zahřátí vzduchu způsobeného jeho stlačením. Jako palivo využívá motorovou naftu. Vznětový motor musí odolávat vyšším tlakům než zážehový. Je proto těžší, má vyšší účinnost spalování a má vyšší tzv. krouticí moment (sílu). Kvůli plynulejšímu spalování paliva ve válci má i větší účinnost oproti zážehovému motoru. Ta může podle Matějovského (2005) dosahovat až 46 %.

### 1.1.2 Alternativní pohony

S rostoucím počtem vozidel je vyvíjen tlak na vývoj pohonů, které svojí koncepcí významně sníží nevýhody spalovacích motorů, které už jsou téměř na vrcholu svého vývoje, a tudíž už nemůže dojít k jejich významnějšímu zlepšení. Těmito nevýhodami je myšlena zejména spotřeba neobnovitelných fosilních zdrojů, nadměrná zátěž životního prostředí emisí skleníkových plynů a relativně nízká účinnost.

Vlk (2004) ve své knize popisuje elektromobily jako automobily s elektrickým pohonem používající k pohonu elektromotor. Ten je napájen z akumulátorů, případně kombinací akumulátorů a palivových článků. Úspory energie je možné dosáhnout tzv. rekuperací, kdy se při brzdění pohání generátor elektřiny dobíjející akumulátor. Výhodou elektromobilů je zcela čistý provoz a velká účinnost, přesahující 70 %.

V tabulce 1 je přehled vlastností využívaných koncepcí elektromotorů na bodové škále od 1 do 10, kde 10 je nejlepší možná hodnota.

**Tabulka 1** Využívané koncepce elektromotorů

| motor                     | cena | účinnost | hmotnost | přetížitelnost | spolehlivost | stav vývoje |
|---------------------------|------|----------|----------|----------------|--------------|-------------|
| stejnoseměrný             | 10   | 7        | 6        | 10             | 7            | 10          |
| asynchronní               | 8    | 8        | 6        | 10             | 9            | 9           |
| synchronní                | 8    | 10       | 7        | 10             | 9            | 8           |
| transversální             | 7    | 10       | 8        | 10             | 10           | 7           |
| řízený reluktanční        | 9    | 6        | 7        | 10             | 9            | 5           |
| stejnoseměrný bez kartáčů | 8    | 10       | 10       | 9              | 10           | 6           |

Zdroj: Hromádko (2012)

## 1.2 Historický vývoj

Za vznikem osobních automobilů stojí snaha lidstva překonávat velké vzdálenosti jinak než pouze pomocí vlastních nohou. Přelomovým vynálezem se stalo kolo. K pohonu kola byla nejdříve použita lidská či zvířecí síla, to však nebylo dostačující, a proto vznikly technické pohony.

### 1.2.1 Svět

První technický pohon, který byl v silniční dopravě použit, byl parní stroj. První elektromobil byl navržen holandským vynálezcem Sibrandusem Stratinghem a zkonstruován jeho asistentem Christopherem Beckerem v roce 1835, shrnuje Hromádko (2012). Dále ve své jiné knize Hromádko et al. (2011) uvádí, že v roce 1886 získal Karl Benz patent na první vozidlo se zážehovým motor využívajícím benzin jako svoje palivo. Ve vozidle byl využit čtyřdobý motor o výkonu 0,552 kW. Roku 1897 vynalézá Rudolf Diesel vznětový motor, který

však ještě není vhodný pro použití v automobilech zejména kvůli hmotnosti a rozměrům vysokotlakého kompresoru. První sériově vyráběný diesellový automobil s výkonem 33 kW přichází podle oficiálních stránek Mercedes Benz (2023) v roce 1936 a je jím Mercedes-Benz 260D.

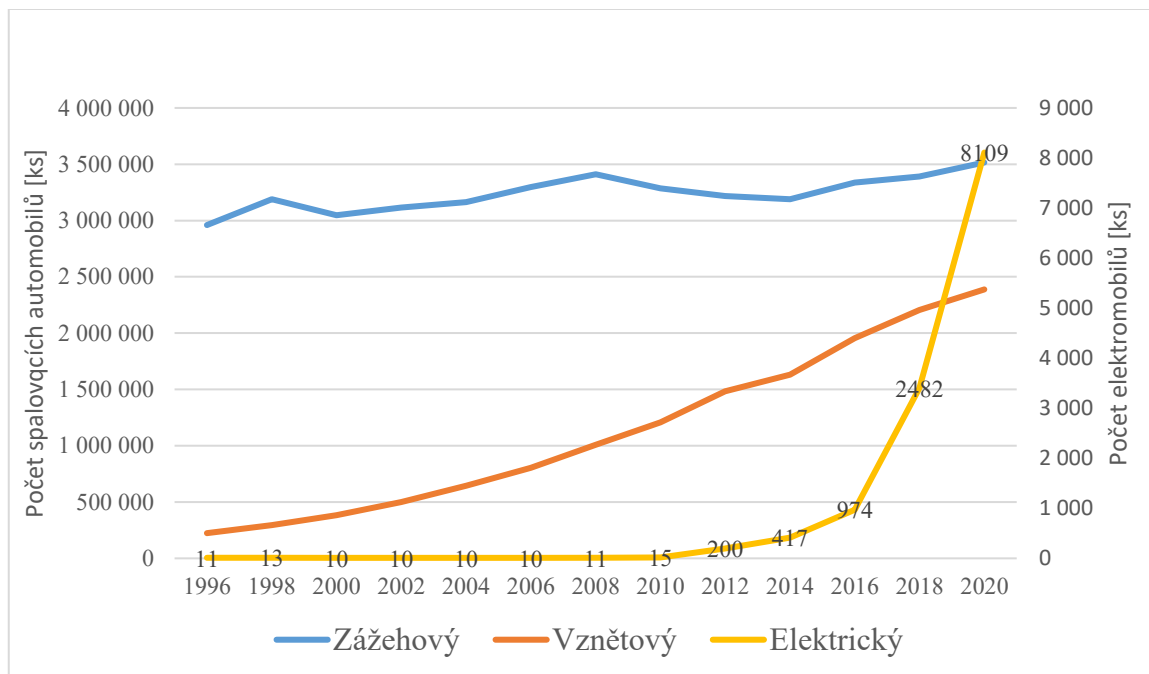
Ze světové historie vyplývá, že elektrický pohon není žádná novinka. V roce 1900 bylo podle Hromádka (2012) v USA dokonce víc elektromobilů než aut se spalovacími motory. Ve stejném roce se zde vyrobilo o třetinu víc elektromobilů než aut se spalovacími motory dohromady. Pro elektromobily mluvila hlavně jejich jednoduchá obsluha, bezpečnost a odpadnutí nutnosti startovat elektromobil přes kliku, což byla fyzicky náročná operace. Naopak nevýhodou byla nevyspělost technologie akumulátorů energie (dojezd prvních elektromobilů zřídka kdy překonal 60 km). Navíc se bavíme o období, kdy se lidé nezabývali ekologií, mnohem důležitější byl pokrok a užitek. Proto, když Henry Ford přišel s automobilem pro masy v podobě Modelu T (1908) od výroby elektromobilů se odklonilo (Ford cz, 2022). Pokusy o vzkříšení proběhly v době ropné krize v roce 1973, kdy raketově vzrostla cena pohonných hmot. Veškeré snahy ztroskotaly na zvyku lidí pořizovat si konvenční automobily a chybějící infrastrukturu. Téma elektromobility se začíná znovu otevírat až v posledních letech zejména v souvislosti s uvědoměním vlád, že zásoby ropy nejsou nekonečné a zároveň, že individuální automobilová doprava je významným producentem znečištění.

### 1.2.2 ČR

V roce 1895 byl zkonstruován první elektromobil u nás Františkem Křížíkem. Automobil disponoval stejnosměrným motorem o výkonu 3,6 kW Hromádka (2012). Tatra Präsident z roku 1897 byla podle Hromádka et al. (2011) prvním automobilem u nás, který využíval zážehový motor. Poháněn byl dvouválcovým ležatým motorem Benz s výkonem 3,7 kW. Se vznětovým motorem Češi experimentovali od 50 let (Tatra 760D, Škoda 105 Turbo Diesel). V sériové výrobě se však uchytil až po vstupu Volkswagenu do Automobilových závodů, národního podniku (AZNP). Bureš (2019) a (2020)

Nejpoužívanějším typem pohonu v ČR je podle ročenky Ministerstva dopravy (2022) pořád zážehový (benzinový) s celkovým počtem 3 515 604 registrovaných vozidel v roce 2020, když se však podíváme na rok 1996, zjistíme, že nárůst tvoří necelých 19 %. Druhým nejpočetněji zastoupeným pohonem je vznětový (diesellový), který k roku 2020 čítá 2 388 353 registrovaných vozidel. Diesellový pohon se může zároveň pochlubit nejvyšším nárůstem a to průměrně 31 % ročně za posledních 20 let. Poslední je elektrický s propastně nejmenším počtem registrovaných vozidel. Z důvodu nízkých hodnot jsou elektrická vozidla přenesena na

vedlejší osu. Podle dat z registru vozidel bylo v roce 2020 registrováno pouze 8 109 elektromobilů. Pokud budeme brát nárůst elektromobilů mezi léty 2018 až 2020, dostaneme se na slibných 238 %. Pro bližší porovnání připojuji obrázek, na kterém lze sledovat vývoj mezi roky 1996 a 2020.



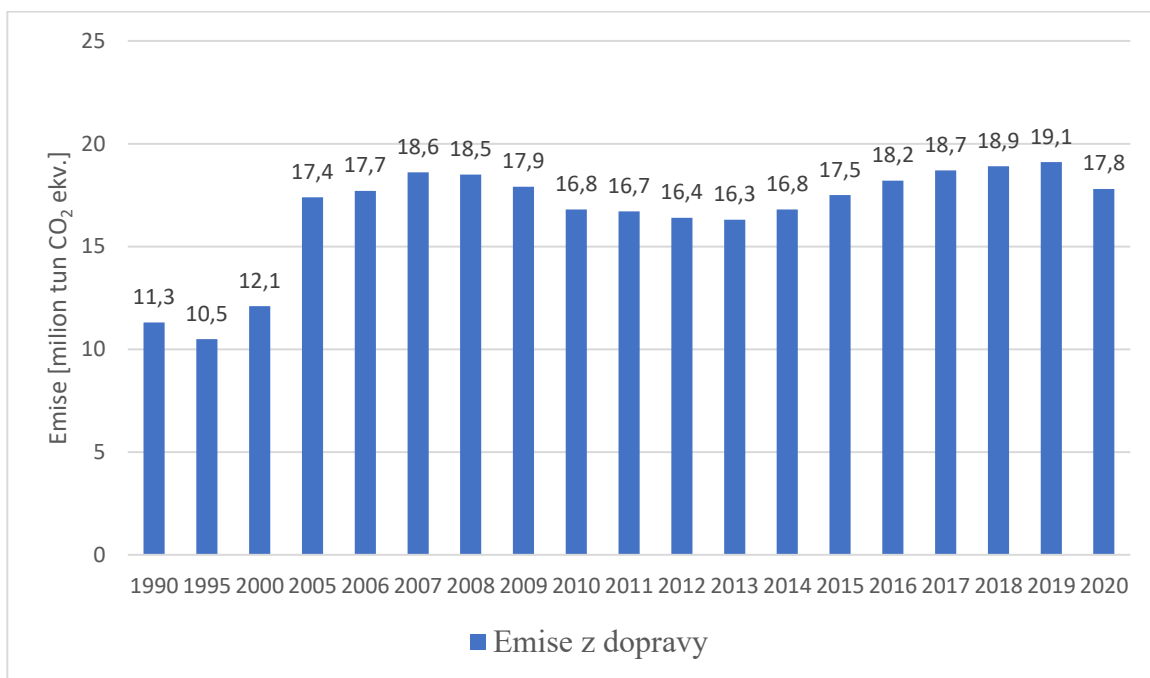
**Obrázek 1** Počet registrovaných vozidel v ČR dle typu pohonu (Ministerstvo dopravy, 2022)

### 1.3 Ekologie

S nárůstem individuální automobilové dopravy roste potřeba hledat co nejekologičtější řešení v oblasti pohonů. Světové automobilky se snaží, ať už z vlastní iniciativy nebo kvůli nátlaku ze strany vlád a mezinárodních sdružení, přicházet s co možná nejšetrnějšími řešeními, i přesto, že je vývoj stojí nemalé částky.

Z ročenky Ministerstvo životního prostředí (2022) vyplývá, že individuální automobilová doprava stála v ČR v roce 2021 za 58 % z celkové produkce CO<sub>2</sub> způsobené dopravou. Zároveň je podle stejného zdroje patrné, že emise CO<sub>2</sub> připadající na dopravu mají rostoucí tendenci. Od roku 1990 do roku 2020 se hodnota celkových emisí CO<sub>2</sub> připadající na

dopravu zvětšila o 56,7 %. Pokles v roce 2020 je nejspíše způsoben protipandemickými opatřeními. Vývoj emisí lze sledovat na obrázku 2.



**Obrázek 2** Vývoj emisí CO<sub>2</sub> ekv. z dopravy (Ministerstvo životního prostředí, 2022)

CO<sub>2</sub> řadíme k plynům tvořícím skleníkový efekt, jenž má na svědomí globální oteplování. Škapa (2003) řadí mezi další skleníkové plyny například Metan nebo Oxid dusný. Protože každý ze skleníkových plynů má jiný potenciál globálního oteplování GWP, používá International Panel on Climate Change (2001) ve své třetí hodnotící zprávě k porovnání potenciálu globálního oteplování metrickou míru CO<sub>2</sub> ekvivalent [CO<sub>2</sub> ekv.]. Ta přepočítává všechny emise emitované skleníkovými plyny na emise ekvivalentní těm vyprodukovaných z CO<sub>2</sub>.

Podle Jungmeiera, Canella a Schwarzingera (2023) je pro zjištění skutečného ekologického dopadu a udržitelnosti automobilu důležité analyzovat jej v kontextu celého jeho životního cyklu. To znamená, že je potřeba vzít v úvahu všechny procesy a toky materiálů a energií spojené s výrobou, používáním a recyklací automobilu. Posuzování životního cyklu, neboli LCA, je metoda, která odhaduje tyto jednotlivé příspěvky k předpovědi dopadu vozu na životní prostředí po celou dobu jeho životnosti tzv. “od kolébky do hrobu“. Podle Jungmeiera, Canella a Schwarzingera (2023) se LCA u automobilů dělí na tři podstatné části:

- Výroba (automobilu, baterie),
- Provoz (jízda, údržba),
- Likvidace (recyklace).

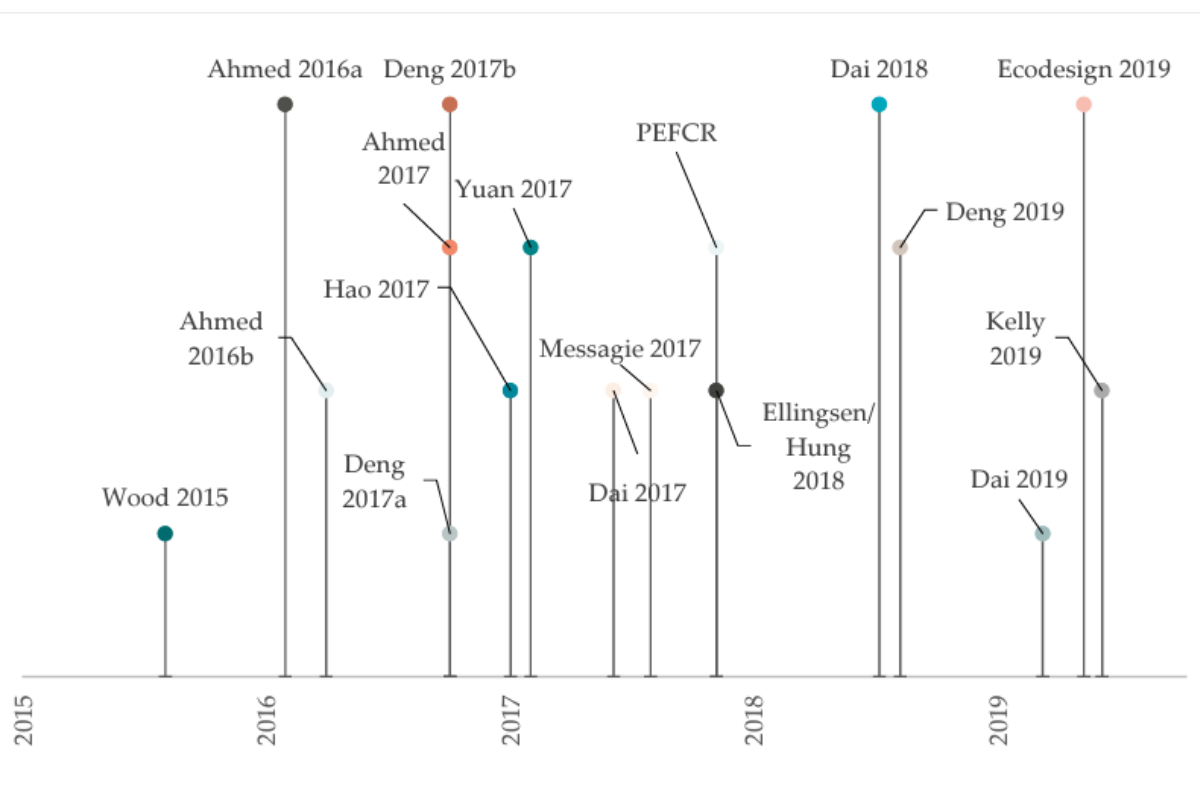
### 1.3.1 Výroba automobilu

Emise z výroby jsou závislé na spoustě faktorů, jako jsou použité materiály, výrobní procesy, použitá energie, doprava materiálů, místo výroby, atd. Při porovnávání jednotlivých pohonů, lze pro zjednodušení předpokládat, že faktory jako místo výroby, výrobní procesy a použitá energie budou stejné. U jednotlivých modelů budou tedy emise záviset hlavně na použitých materiálech a na velikosti karoserie, respektive na hmotnosti. Obecně platí, že větší karoserie vyžadují více materiálů, což způsobuje vyšší emise skleníkových plynů. Při sledování emisí z výroby elektromobilu je potřeba od jeho pohotovostní hmotnosti odečíst váhu baterie, která je počítána samostatně. Hmotnost baterie uvádí často sami výrobci ve specifikacích automobilu. Pohotovostní hmotnost uváděna jako pohotovostní hmotnost EU je navýšena o hmotnosti řidiče ve výši 75 kg podle Nařízení komise EU (2022) č. 1230/2012 ze dne 12. prosince 2012, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 661/2009, pokud jde o požadavky pro schvalování typu motorových vozidel a jejich přípojných vozidel týkající se jejich hmotností a rozměrů, a mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES. Před výpočtem je tedy důležité tuto hmotnost odečíst.

### 1.3.2 Výroba a recyklace baterií

Výroba bateriových článků je u elektromobilů odpovědná za významnou část emisí. Emise vznikají nejen při samotné výrobě, ale také při těžbě potřebných surovin a výrobě potřebné el. energie na výrobu baterie. Důležité je říct, že takto vyprodukované emise nevznikají v místě jízdy elektromobilu, ale v místě výroby baterie. Podle Vomáčky (2022) je celosvětově největším producentem bateriových článků Čína.

Existuje několik na sobě nezávislých výzkumů, které zkoumají ekologickou náročnost výroby Lithium-iontových baterií. Tyhle výzkumy porovnává Švédský institut pro výzkum životního prostředí (IVL) ve svých reportech Romare a Dahllöf (2017) a Emilsson a Dahllöf (2019). Emise CO<sub>2</sub> jsou ve studiích dopočítávány zejména na základě celkové spotřebované energie pro výrobu. Hodnota CO<sub>2</sub> se tedy dramaticky mění s energetickými mixy dané oblasti výroby. Starší ze zpráv dosahuje téměř dvojnásobných hodnot emisí oproti zprávě z roku 2019. To je dáno zejména posunem technologie výroby a využitím ekologičtějších mixů, k nimž se postupně státy produkující baterie přibližují. Ve zprávě je rovněž zohledněna následná recyklace baterie, která navyšuje emise na konci jejího životního cyklu. Na obrázku 3 je znázorněna časová osa studií porovnávaná v reportu IVL 2019.

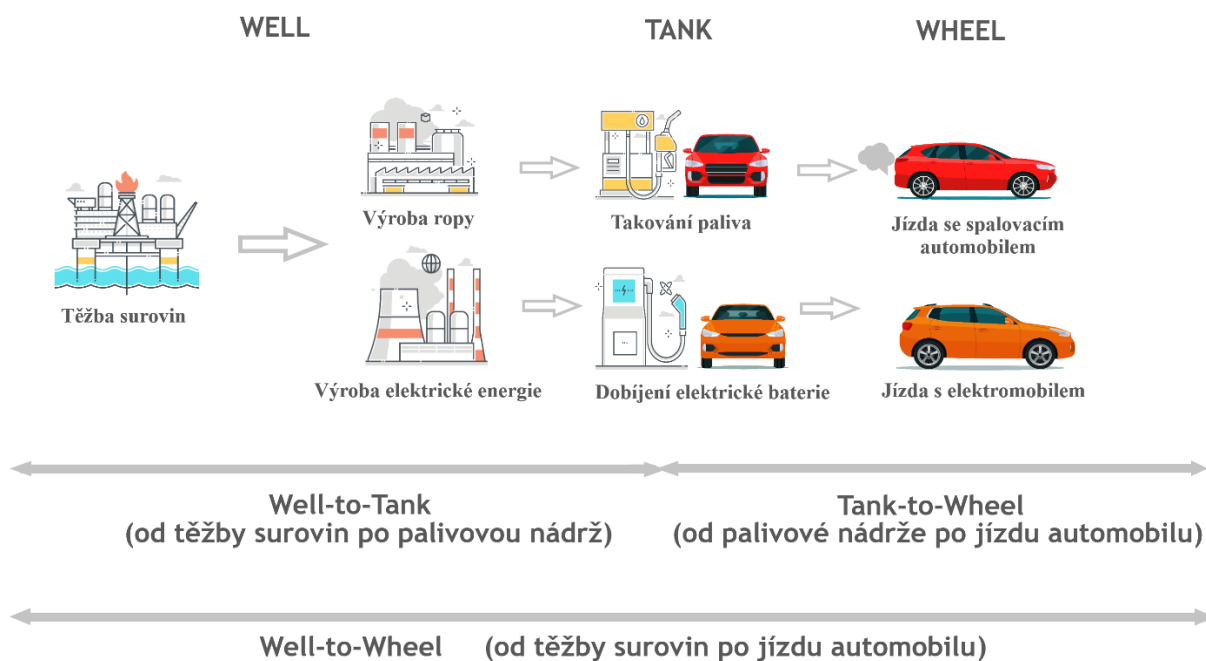


**Obrázek 3** Studie použité pro IVL 2019 (Emilsson a Dahllöf, 2019)

### 1.3.3 Well-to-Wheel analýza

Podle Hromádka (2012) je v současnosti Well-to-Wheel analýza nejrozšířenějším nástrojem k porovnání různých druhů pohonů a paliv při provozu. Analýza sleduje emise CO<sub>2</sub> v celém životním cyklu paliva. To znamená, že nezvažuje pouze samotnou jízdu vozidla, ale i těžbu surovin, výrobu pohonných hmot a elektřiny a následnou distribuci do vozidla. Souhrn všech emisí CO<sub>2</sub> je vyjádřen v gramech na ujetý kilometr nebo spotřebu jednoho litru paliva (kWh energie). Analýza se skládá ze dvou částí, a to Well to Tank (od zdroje do nádrže) a Tank to Wheel (z nádrže ke kolům). Na obrázku 4 je znázorněno schéma postupu Well-to-Wheel analýzy.





**Obrázek 4** Schéma Well-to-Wheel analýzy (autor; Istockphoto LP, © 2023)

#### 1.3.4 Well-to-Tank (pohonné hmoty)

Emise z výroby paliva začínají už od těžby ropy. Mezi zeměmi těžícími ropu jsou propastné rozdíly. Podle výsledných dat vědecké práce Masnadiho et al. (2018) je nejvíce ekologická země s 120,71 g CO<sub>2</sub> ekv./l uvolněných emisí při těžbě je Dánsko. Naopak nejhůře si vede Sýrie s 1 097,04 g CO<sub>2</sub> ekv./l. Podle svěrenského fondu The World Bank Group (2023) jsou velké rozdíly způsobené zejména spalováním zemního plynu, který se při těžbě ropy uvolňuje. Ekonomicky vyspělejší státy jsou schopny vybudovat infrastrukturu, která tento plyn zachytává pro další použití.

Jelikož ČR nemá žádná významná ložiska ropy, musí ji dovážet ze zahraničí. Emise tedy pokračují převozem ropy z místa těžby do tuzemských rafinérií. Podle provozovatele ropovodů na našem území Mero ČR (2023) je ropa dopravována do ČR buď přímo z Ruska ropovodem Družba nebo nejprve tankery do italského Terstu a následně ropovodem TAL/IKL. Při distribuci ropy ropovody vznikají zanedbatelné emise. Horší statistiky tvoří emise vzniklé při distribuci tankery. Tankery totiž používají pro pohon těžké oleje.

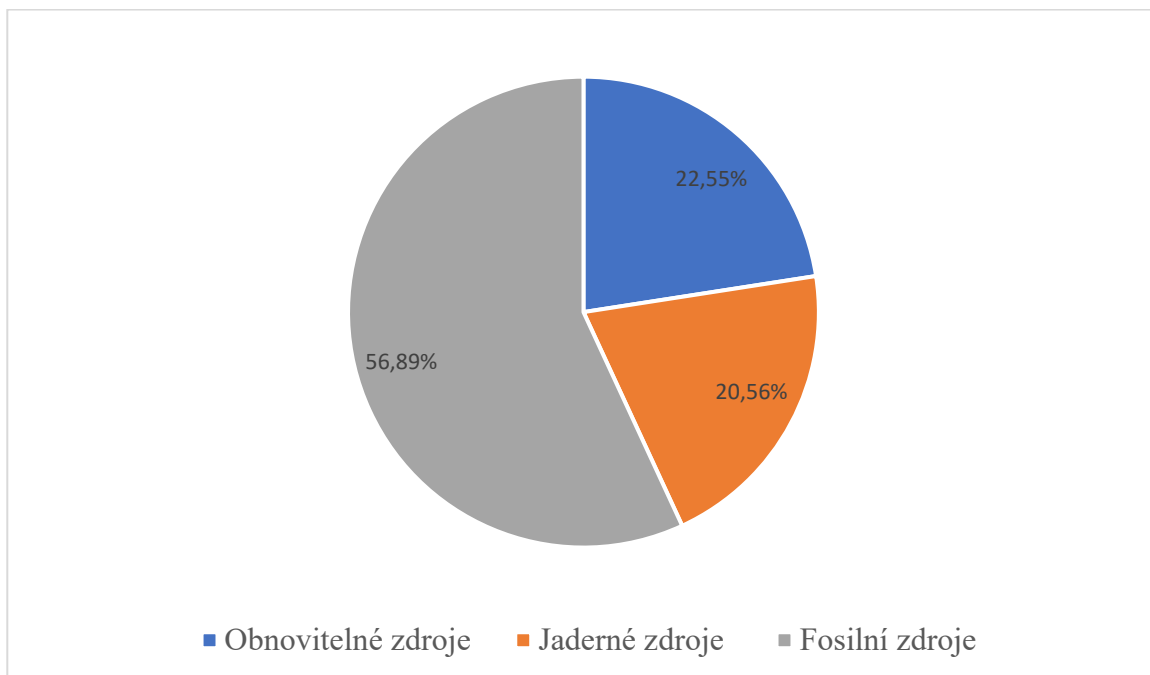
Další nedílnou součástí Well-to-Tank analýzy je rafinace surové ropy. V rafinériích se z ropy vyrábí nafta a benzin pro použití v automobilech. Dle Well-to-Tank reportu konsorcia JEC, které sdružuje společné výzkumné středisko Evropské komise (JRC), Evropskou radu pro automobilový výzkum a vývoj (EUROCAR) a vědecký orgán Evropské asociace rafinérií pro životní prostředí, zdraví a bezpečnost při rafinaci a distribuci (Concawe), Prusse et al. (2020)

se rafinerie tradičně budují v blízkosti místních trhů. Existují i rafinerie umístěné přímo v místě těžby, které poté hotové palivo exportují na jednotlivé trhy. Tento systém však není příliš rozšířen a v globálním měřítku neposkytuje měřitelný vliv, a proto jsou hodnoty počítány pouze z rafinérií nacházejících se v Evropě.

Po vyrobení pohonných hmot v rafineriích nastává jejich distribuce směrem ke spotřebitelům. Pohonné hmoty jsou převáženy buď přímo do čerpacích stanic speciálními cisternovými automobily, nebo ještě častěji potrubím, vlakem nebo člunem do zásobníku. Hodnoty použité v této práci odrážejí skutečný podíl těchto režimů v Evropě.

### 1.3.5 Well-to-Tank (elektrická energie)

Emise z výroby elektřiny se dopočítávají podle energetického mixu daného státu. Energetický mix odráží poměr obnovitelných a neobnovitelných zdrojů a jejich ekologičnost. Podle Energetického regulačního úřadu (2022) se v roce 2021 podílelo na instalovaném výkonu v elektrické síti více jak 50 % spalovacích elektráren. Na obrázku 5 je graf energetického mixu v roce 2021.



**Obrázek 5** Energetický mix ČR 2021 (Energetický regulační úřad, 2022)

V samotné elektrárně dochází dle Energetického regulačního úřadu (2022) ke ztrátám, protože k udržení chodu elektrárny je za potřeby využívat část vyrobené elektrické energie. Distribuční a přenosová soustava není schopna doručit veškerou elektrickou energii bez ztrát kvůli fyzikálním a technickým limitům sítě. Při distribuci tedy dochází k drobným ztrátám.

Dle redaktorky ADAC Erbe (2020) dochází při nabíjení elektromobilu k dalším ztrátám v závislosti na rychlosti nabíjení a venkovní teplotě. Čím rychleji dobíjíme k tím větším ztrátám dochází. Při zkoumání ztrát způsobených nabíjením 15-ti současných modelů elektromobilů na nabíjecích stanicích o výkonu 22 kW a teplotě 23 °C Rudschies (2020) naměřil ztráty od 10 do 25 %.

Jako protipól ztrátám slouží podle Armenta-Déua a Cortése (2023) rekuperace, tj. proces, při kterém se využívá kinetická energie vozidla, která by se běžně ztratila při brždění, k nabíjení baterie. Účinnost rekuperace u elektromobilů závisí na mnoha aspektech, jako je rychlost, tíha vozidla, sklon a povrch vozovky a další faktory. Obecně platí, že v městském provozu a při nižších rychlostech je rekuperace účinnější, protože je větší možnost pro časté brždění a zpomalování vozidla. Naopak, při vyšších rychlostech a na dálnicích se rekuperace stává méně účinnou, protože vozidlo potřebuje více energie k udržení rychlosti a rekuperace kinetické energie se snižuje. Průměrný poměr rekuperované energie ve studii Armenta-Déua a Cortése (2023) tvořil 60,1 %. Při výpočtech nesmí být rekuperace započítána, protože už je zohledněna ve spotřebě elektromobilu.

### 1.3.6 Tank-to-Wheel

Elektromobily při samotné jízdě nevydávají žádné emise CO<sub>2</sub>, protože u nich nedochází ke spalování.

Podle Matějovského (2005) dochází u aut se spalovacím motorem k tvorbě emisí v momentě spálení směsi. Při dokonalém spalování se uhlovodíky v palivech přeměňují pouze na CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O v podobě páry. V praxi však k dokonalému spalování nedochází vlivem různého poměru paliva a vzduchu. Při nedokonalém spalování dochází ke vzniku nežádoucích spalin.

Škodlivé emise Matějovský (2005) rozděluje do těchto tříd:

- přímo limitované složky (Oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky (HC), nemetanové uhlovodíky (NMHC), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), amoniak (NH<sub>3</sub>) a pevné částice (PM)),
- nepřímo limitované složky (CO<sub>2</sub>, oxidy síry),
- těkavé organické složky (benzen, formaldehyd, 1,3 butadien, akrolein),
- netěkavé organické složky (polyaromatické uhlovodíky, vyšší aldehydy).

První skupina obsahuje látky, které jsou limitovány emisními normami euro. Tyto normy vycházejí z konsolidovaného znění nařízení EU (2020) (ES) č. 715/2007 ze dne 20. června 2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla. Nařízení stanovuje limitní hmotnost vypuštěných látek vozidlem vztaženou

na jednotku vzdálenosti (km). Dále nařízení určuje, jakým způsobem se tyto hodnoty měří. Normy euro se u osobních automobilů číslují arabskými číslicemi, přičemž aktuálně platná euro norma je Euro 6. S každou novou emisní normou přichází snížení maximálních přípustných hodnot, viz tabulky 2 a 3. Tím vzniká tlak na výrobce automobilů, kteří musí zavádět opatření, která tyto emise významně snižují (katalyzátor, filtr pevných částic). Nejnovější iniciativa EU podle webu Consilium.europa.eu (2023) navrhuje nařízení “*Evropské emisní normy pro vozidla – Euro 7 pro osobní automobily, dodávky, nákladní automobily a autobusy*“. Nařízení je nyní ve fázi schvalování Evropskou komisí po ukončení zpětné vazby. Aktuální podoba nejenže stanovuje limity na emise produkované spalovacími automobily, ale rozšiřuje limity i na emise z vypařování benzínu, emise z brzdění a tření pneumatik. Norma Euro 7 zároveň udává minimální požadavky na životnost baterie elektromobilu.

**Tabulka 2** Vývoj mezních hodnot emisí látek u zážehových motorů dle norem Euro

| euro norma | CO [mg/km] | HC [mg/km] | NMHC [mg/km] | NO <sub>x</sub> [mg/km] | HC + NO <sub>x</sub> [mg/km] | PM [mg/km] | Počet částic [# /km] | NH <sub>3</sub> [mg/km] |
|------------|------------|------------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------|----------------------|-------------------------|
| Euro 1     | 3160       |            |              |                         | 1130                         |            |                      |                         |
| Euro 2     | 2200       |            |              |                         | 500                          |            |                      |                         |
| Euro 3     | 2300       | 200        |              | 150                     |                              |            |                      |                         |
| Euro 4     | 1000       | 100        |              | 80                      |                              |            |                      |                         |
| Euro 5     | 1000       | 100        | 68           | 60                      |                              | 5/4,5      |                      |                         |
| Euro 6     | 1000       | 100        | 68           | 60                      |                              | 4,5        | 6*10 <sup>11</sup>   |                         |
| Euro 7     | 500        | 100        | 68           | 60                      |                              | 4,5        | 6*10 <sup>11</sup>   | 20                      |

Zdroj: EU (1991;1994;1998;2020); Consilium.europa.eu (2023),

**Tabulka 3** Vývoj mezních hodnot emisí látek u vznětových motorů dle norem Euro

| euro norma | CO [mg/km] | HC [mg/km] | NMHC [mg/km] | NO <sub>x</sub> [mg/km] | HC + NO <sub>x</sub> [mg/km] | PM [mg/km] | Počet částic [# /km] | NH <sub>3</sub> [mg/km] |
|------------|------------|------------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------|----------------------|-------------------------|
| Euro 1     | 3160       |            |              |                         | 1130                         | 180        |                      |                         |
| Euro 2     | 1000       |            |              |                         | 700                          | 80         |                      |                         |
| Euro 3     | 640        |            |              | 500                     | 560                          | 50         |                      |                         |
| Euro 4     | 500        |            |              | 250                     | 300                          | 25         |                      |                         |
| Euro 5     | 500        |            |              | 180                     | 230                          | 5/4,5      | 6*10 <sup>11</sup>   |                         |
| Euro 6     | 500        |            |              | 80                      | 170                          | 4,5        | 6*10 <sup>11</sup>   |                         |
| Euro 7     | 500        | 100        | 68           | 60                      |                              | 4,5        | 6*10 <sup>11</sup>   | 20                      |

Zdroj: EU (1991;1994;1998;2020); Consilium.europa.eu (2023),

CO<sub>2</sub> není v současnosti limitováno přímo euro normou, protože lze snižovat pouze snížením spotřeby uhlovodíkových paliv. Na výrobce automobilů je vyvíjen tlak prostřednictvím konsolidovaného znění nařízení EU (2021b): Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/631 ze dne 17. dubna 2019, kterým se stanoví výkonnostní normy pro emise

*CO<sub>2</sub> pro nové osobní automobily a pro nová lehká užitková vozidla a kterým se zrušují nařízení (ES) č. 443/2009 a (EU) č. 510/2011. Z tohoto nařízení vychází snižující se maximální hranice hmotnosti CO<sub>2</sub>, kterou nesmí překročit průměrné emise ze všech nově vyrobených automobilů. Toho lze dosáhnout pouze postupným snižováním spotřeby nebo vyráběním automobilů nevyužívajících uhlovodíková paliva. Snaha o snižování emisí CO<sub>2</sub> je podle webu Consilium.europa.eu (2022) součástí balíčku Fit for 55, který reviduje a aktualizuje právní předpisy EU, aby byly v souladu s klimatickými cíli evropské rady a parlamentu. Dle nejnovějšího znění týkajícího se pravidel pro emise CO<sub>2</sub> pro osobní automobily a dodávky, dojde k 100% snížení emisí do roku 2035. To v praxi znamená, že automobilky po tomto roce nebudou moci vyrábět žádné automobily se spalovacími motory.*

### 1.3.7 Údržba automobilu

Automobily je podle Stodoly (2009) potřeba správně udržovat podle pokynů výrobce. Správná údržba může prodloužit životnost vozu, uchování jízdních vlastností a předejít možné opravě poškozených dílů. U všech automobilů se běžně mění pneumatiky a 12V olověný akumulátor. U spalovacích automobilů musí pravidelně docházet k výměně provozních kapalin, zejména pak motorového oleje a chladicí kapaliny. Během životnosti elektromobilu dochází ke snižování kapacity baterie, což vede také k výměně. Při výrobě všech výše jmenovaných spotřebních dílů/kapalin se uvolňují emise CO<sub>2</sub>, proto je dobré je zahrnout do výpočtů.

### 1.3.8 Likvidace automobilu

Obdobně jako při výrobě i při likvidaci vznikají měřitelné emise. Podle ustanovení Česka (2022a) § 3 odst. 3 písm. a) zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu na pozemních komunikacích ve znění pozdějších předpisů, a dalších souvisejících zákonů (novela 432/2022 Sb.) musí být vozidlo na konci svého životního cyklu ekologicky zlikvidováno. Likvidace probíhá podle webu Autovrakoviště Morava [2023] tak, že se nejprve odsají provozní kapaliny (pohonné hmoty, brzdové a chladicí kapaliny, oleje a jejich filtry), které ve vozidle zůstaly. Poté je provedena demontáž, při které jsou odstraněny postupně všechny části, dokud nezůstane pouze kostra karoserie. Karoserie je následně rozřezána na menší kusy. Všechny materiály jsou roztříděny a zlikvidovány podle Česka (2021) vyhlášky č. 345/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s vozidly s ukončenou životností.

## 1.4 Ekonomické aspekty

Ekonomické hledisko je pro rozšíření jednotlivých druhů velmi důležité. Hlavní úlohu zde hraje cena pořízení. Z průzkumu Centra dopravního výzkumu (2020) vyplývá, že ze vzorku

1 007 řidičů označilo 80,1 % řidičů jako argument proti pořízení elektromobilu právě vysokou cenou pořízení. Tu jde totiž lehce porovnat. Cena pořízení by neměla být u jednoho pohonu výrazně vyšší než u jiného, jinak ho znevýhodní. S vyrovnáním cen můžou částečně pomoci státní dotace. Dalším parametrem jsou provozní náklady, ty se odvíjí od ceny pohonných hmot a spotřeby automobilu.

#### 1.4.1 Cena pořízení automobilu

Podle průzkumu prováděného Generali českou pojišťovnou (2021), který se zabýval názory českých řidičů, 38 % z 884 odpovědí uvádí, že cena pořízení elektromobilu by neměla přesáhnout 300 000 Kč. Toto kritérium nesplňuje žádný momentálně nabízený elektromobil na českém trhu. Elektromobily jsou obecně dražší než jejich konvenční ekvivalenty. Společnost Škoda Auto Česká republika (2023a) to dává za vinu nákladnému vývoji a vysoké ceně baterií. Ceny pořízení jsou zpravidla uváděny včetně DPH. Podle (Česka, 2022b) *zákona č. 235/2004 Sb., o dani z přidané hodnoty ve znění pozdějších předpisů, a dalších souvisejících zákonů (novela 366/2022 Sb.)* je na automobily uplatňována základní sazba daně ve výši 21 %. Na Slovensku (2023) se uplatňuje dle *zákona č. 222/2004 Z. z.: o dani z pridanej hodnoty v znení neskorších predpisov (zákon 9/2023 Z. z.)* sazba ve výši 20 %.

#### 1.4.2 Provozní náklady

Náklady na jízdu automobilu se vypočítají jako součin spotřeby automobilu a ceny pohonných hmot nebo elektrické energie.

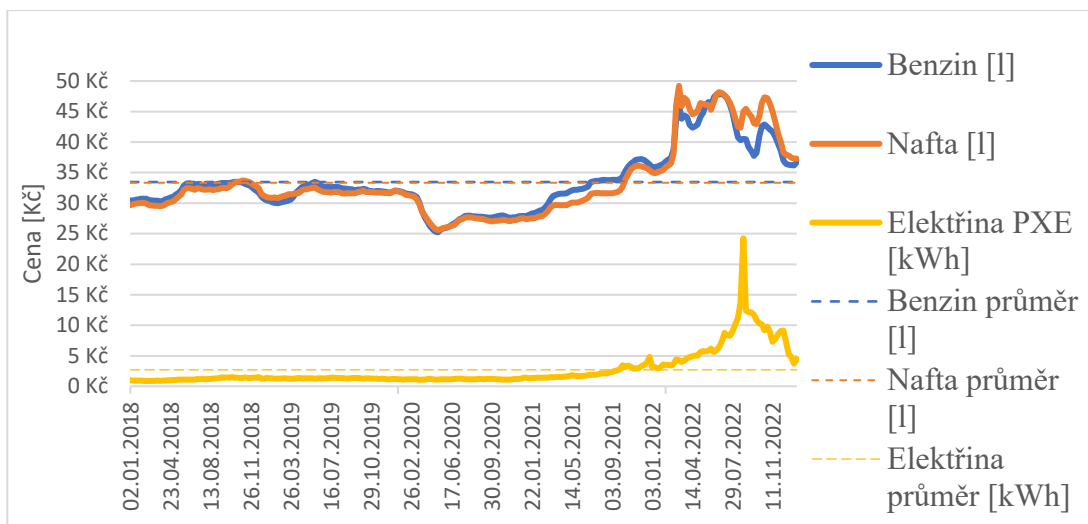
Cena paliv a elektrické energie je počítána z pěti letého týdenního průměru z důvodu kolísání globálních cen v posledním roce. Podle Dvořáka (2022) ceny paliv skokově vzrostly zejména z důvodu ruské agrese na Ukrajině. Cena elektrické energie pomalu stoupala od roku 2021 v závislosti na zvýšené spotřebě způsobené celosvětovou pandemií Covidu-19. Navyšování ceny rovněž způsobilo zvyšování cen emisních povolenek pro spalovací elektrárny, které je viditelné v ročních zprávách Energetického regulačního úřadu (2023). Začátkem roku 2022 pak zaznamenala skokový růst v souvislosti s rostoucí cenou plynu. Cena plynu se zvýšila kvůli nespolehlivým dodávkám z Ruska.

(Matějovský, 2005) definuje automobilový benzin jako uhlovodíkové kapalné palivo získávané z ropy. Ropa se destilací při teplotě 30–210 °C mění na benzin bohatý na uhlovodíky. Takto vydestilovaný benzin je potřeba odsířit a technologickými procesy vyrobit složky s velkým oktanovým číslem. Norma ČSN EN 228+A1 (2018) stanovuje technické požadavky na bezolovnaté benziny E5 a E10. E10 je benzin jehož maximální množství ethanolu nepřekročí 10 % objemu a množství kyslíku nepřekročí 3,7 % hmotnosti. E5 je benzin určený pro starší

motory, které nesnesou vysoký podíl biopaliva. Benzin může obsahovat maximálně 5 % ethanolu v objemu a maximálně 2,7 % kyslíku v celkové hmotnosti. Běžný obchodní název Natural 95 E5 značí, že se jedná o bezolovnatý 95 oktanový (OČVM) benzin vhodný pro starší motory. Ministerstvo průmyslu a obchodu ve zprávě Štěpána a Duška (2022) ke 2. 5. 2022 eviduje 2 847 veřejných čerpacích stanic, kde můžeme tankovat benzin. Český statistický úřad (2023) eviduje spotřebitelské ceny benzínu. Týdenní průměr těchto cen v období od 2. 1. 2018 do 23. 1. 2023 vychází na 33,46 Kč. Vývoj cen benzínu je zachycen na obrázku 6.

(Matějovský, 2005) definuje motorovou naftu rovněž jako uhlovodíkové kapalné palivo získávané z ropy. Rozdíl oproti benzínu je v teplotě destilování ropy. Nafta se skládá z odsířené směsi petroleje (160–260 °C) a plynového oleje (250–360 °C). Poměr směsi je dán ročním obdobím. Norma ČSN EN 590 (2022) definuje čtyři třídy nafty pro mírné klima. Letní druh motorové nafty se skládá z převážné části z plynového oleje, naopak zimní druh musí obsahovat velké množství petroleje. Ministerstvo průmyslu a obchodu ve zprávě Štěpána a Duška (2022) ke 2. 5. 2022 eviduje 3 219 veřejných čerpacích stanic, kde můžeme tankovat naftu. Český statistický úřad (2023) eviduje spotřebitelské ceny nafty. Týdenní průměr těchto cen v období od 2. 1. 2018 do 23. 1. 2023 vychází na 33,34 Kč. Vývoj cen nafty je zachycen na obrázku 6.

Podle Kolářové a Bohuňka (2021) je elektrická energie definována jako energie práce vykonané na elektrickém poli. Elektrická energie vzniká v elektrárnách přeměnou jiných energií. Jednotkou elektrické energie je kWh (kilowatthodina). Elektrickou energii můžeme distribuovat do baterie elektromobilu buď na dobíjecích stanicích, nebo přímo ze zásuvky. Rozdíl je jak v rychlosti, tak v ceně dobíjení. Podle Hory (2022) se výkon, kterého dosahuje 230 V zásuvka, pohybuje kolem 2,3–11 kW. Naproti tomu nejrychlejší dobíjecí stanice dosahují výkonu až 22 kW (AC) a 350 kW (DC). Nabíjení ze zásuvky, je závislé na cenách, sjednaných s konkrétním distributorem elektrické energie. Ty se podle webu Kurzy.cz (© 2000–2023) odvíjí od vývoje ceny na komoditní burze “Power exchange central Europe“. Z databáze poskytnuté stejným webem vyplývá, že průměrná týdenní cena 1 kWh se na burze od 2. 1. 2018 do 23. 1. 2023 pohybovala okolo 2,7 Kč. Vývoj cen elektrické energie je zachycen na obrázku 6.



**Obrázek 6** Vývoj cen paliv a elektrické energie v období od 2. 1. 2018 do 23. 1. 2023 (Český statistický úřad, 2023; Kurzy.cz, © 2000–2023)

Veřejných dobíjecích stanic eviduje Ministerstvo průmyslu a obchodu (2023) k 31. 12. 2022 celkově 1 364. Některé jsou zcela zdarma a část z nich funguje na systému měsíčních paušálních poplatků. Ceník nejrozšířenějších poskytovatelů dobíjecích stanic je uveden v tabulce 4. Uvedené ceny jsou platné pro registrované zákazníky.

**Tabulka 4** Srovnání cen dobíjení u vybraných poskytovatelů

|      | AC [Kč/kWh] | DC [Kč/kWh] | ultra rychlé dobíjení [Kč/kWh] |
|------|-------------|-------------|--------------------------------|
| ČEZ  | 8           | 13          | 18                             |
| E.ON | 10          | 12,5        | 17                             |
| PRE  | 8           | 11          | 13                             |

Zdroj: Futurego skupina ČEZ (© 2023); E.ON Drive (© 2023); PREmobilita (© 2022).

Teoretickou spotřebu vozidla ovlivňuje podle Vlka (2003) více činitelů. Patří sem technika jízdy, stav a druh pozemní komunikace, povětrnostní podmínky a fyzikální vlivy vyplývající z konstrukce vozidla. Pro porovnání spotřeby u různých druhů pohonů je nejdůležitější právě poslední vliv. Elektromobily jsou v porovnání s konvenčními automobily obecně těžší kvůli váze baterií, a proto mají i vyšší valivý odpor. To se částečně snaží kompenzovat aerodynamičtější tvarem, kterého můžou dosáhnout absencí rozměrných čelních masek, které nejsou u elektromobilu potřeba. U vozidel se spalovacími motory tvoří součást chlazení motoru. Zároveň mají elektrické motory vyšší účinnost, což jim ve výsledku snižuje spotřebu. V práci bude nahrazena skutečná spotřeba kombinovanou a městskou spotřebou zjištěnou výrobcem. Ta udává spotřebu v kombinovaném provozu (městský a mimoměstský provoz) a městském provozu. Aby bylo zajištěno konzistentní porovnání



hodnot spotřeby mezi různými automobilkami, existuje harmonizovaný zkušební postup pro lehká užitková vozidla WLTP EU (2021a). WLTP byl přijat evropskou hospodářskou komisí OSN a slouží jako globálně závazná norma, která udává přesný postup laboratorních testů při měření spotřeby a vyprodukovaných emisí u nově schvalovaných vozidel. Aby byla zaručena srovnatelnost pro všechna vozidla, je laboratorní test prováděn za jasných a opakovatelných podmínek:

- hodnota rychlosti a doba, po kterou má být udržena,
- parametry laboratorních přístrojů (kalibrace dynamometrů, analyzátorů plynů, rychloměrů nebo valivého odporu zkušební stolice),
- podmínky prostředí (pokojová teplota, hustota vzduchu, vítr),
- druh paliva (benzin, nafta, LPG, zemní plyn, elektrina atd.),
- kvalita paliva a jeho chemické vlastnosti,
- tolerance, pod kterými jsou opatření platná,
- proces nastavení otáček motoru vozidla před testem.

### 1.4.3 Podpora státu

Stát se snaží stimulovat veřejnost ke kupování elektromobilů formou různých dotací a výhod.

Aktuálně dostupný dotační program vypsal Ministerstvo životního prostředí prostřednictvím Národního programu Životní prostředí (2022). Dotaci lze uplatnit na pořízení elektromobilů, vozidel na vodíkový pohon a výstavbu neveřejných dobíjecích stanic. Dotaci jde použít i na pronájem vozidla formou finančního leasingu. Žádosti mohou podávat obce, kraje, státní podniky, veřejné organizace, neziskové organizace a školy, a to až do ukončení příjmu žádostí 15. 12. 2023, případně do vyčerpání alokovaných 600 mil. Kč. Výše dotace pro elektrická vozidla kategorie M1 činí 300 000 Kč.

Od 6. 1. 2020 do 31. 7. 2020 byl dostupný program pro firmy se sídlem mimo hlavní město Prahu. Program vyhlásilo Ministerstvo průmyslu a obchodu (2019) v rámci Operačního programu podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014–2020, za účelem podpory konkurenceschopnosti podniků a udržitelnosti české ekonomiky prostřednictvím zaváděním inovativních technologií v oblasti elektromobility. Dotace byly rozdělovány u kategorie M1 podle velikosti podniku následovně:

- malý podnik = podpora poskytována až do výše 30 % způsobilých výdajů.
- střední podnik = podpora poskytována až do výše 25 % způsobilých výdajů.
- velký podnik = podpora poskytována až do výše 20 % způsobilých výdajů.

Na tento program navazují výzvy Ministerstva pro místní rozvoj ČR (2023) financované v rámci Integrovaného regionálního operačního programu (2021–2027) „Nízkoemisní a bezemisní vozidla pro veřejnou dopravu“. Výzvy se zaměřují na podporu integrovaných projektů realizovaných na území měst. Dotace z evropských fondů jsou poskytovány na nákup bezemisních vozidel pro veřejnou dopravu, která využívají alternativní energie elektřiny a vodíku. Výzvy se momentálně vztahují pouze na vozidla kategorie M2, M3 a městská drážní vozidla.

S dotacemi na elektromobily pro jednotlivce stát zatím bohužel nepočítá.

K výhodám podle Svazu průmyslu a dopravy České republiky (2021) patří osvobození od platby silniční daně pro podnikatele provozující elektromobil. Podle ustanovení Česka (2022a) § 7b zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu na pozemních komunikacích ve znění pozdějších předpisů, a dalších souvisejících zákonů (novela. 432/2022 Sb.), mohou automobily na elektrický nebo vodíkový pohon, a to buď výlučně, nebo v kombinaci s jiným palivem, pokud hodnota emisí v kombinovaném provozu nepřesáhne 50 g/km, využívat speciální registrační značku začínající velkými písmeny „EL“. Na základě této registrační značky jsou pak elektromobily od 1. 1. 2020 osvobozeny od poplatku za používání dálnic a některých úseků silnic pro motorová vozidla. Dále mohou tyto elektromobily parkovat zdarma nebo za zvýhodněných cenových podmínek na speciálních zónách ve vybraných krajských městech.

## 1.5 SWOT analýza

SWOT analýza je podle Grasseové, Dubce a Řeháka (2010) jedna z nejčastěji používaných analytických metod. Metoda slouží k objevení silných a slabých stránek a k identifikaci potencionálních příležitostí a rizik. Přičemž silné a slabé stránky vycházejí z vnitřního prostředí. Příležitost a hrozby jsou spojeny s vnějším prostředím. Výstupem metody je určení vhodné strategie pro analyzovanou společnost (oddělení, produkt). Mezi čtyři typy strategií se řadí:

- strategie hledání – strategie zaměřená na odstranění slabých stránek a využití příležitostí,
- strategie využití – strategie zaměřená na zhodnocení silných stránek při využití příležitostí,
- strategie vyhýbaní – strategie zaměřená na překonání slabých stránek a vyhnutí se hrozbám,
- strategie konfrontace – strategie využití silných stránek ke konfrontaci hrozeb.

## 2 ANALÝZA VYBRANÝCH DRUHŮ POHONŮ VOZIDEL V OSOBNÍ SILNIČNÍ DOPRAVĚ

V této kapitole jsou analyzovány ekologické a finanční vlastnosti vybraných modelů skutečných automobilů. Výpočty jsou prováděny se všemi pohony popsanými v teoretické části. Na konci jednotlivých částí je vždy interpretace a grafická vizualizace dosažených výsledků.

### 2.1 Představení modelů

Za účelem zajištění co největší objektivnosti autor záměrně zvolil všechny porovnávané modely od jednoho výrobce automobilů. Tímto výrobcem je tuzemská automobilka Škoda Auto, a. s.

Zároveň jsou všechny modely z jedné obchodní třídy. V Evropě podle Červenky (2014) na rozdíl od USA neexistuje jednoznačná právní klasifikace, která by třídila jednotlivá vozidla kategorie M1 do parametricky vymezených obchodních tříd. V současné praxi si obchodní třídu volí sám výrobce už ve fázi vývoje automobilu. Tu musí zvolit tak, aby byla přijata Svazem dovozců automobilů (2023a). Jako reprezentativní třída je zvolena třída SUV (sportovní užitková vozidla). Tato třída se dle Jana a Ždánského (2011) vyznačuje zejména možností provozu v lehkém terénu, z tohoto důvodu bývají i často osazeny pohonem všech kol. Tím, že jsou auta třídy SUV uzpůsobena pro lehký terén, bývají často robustnější a těžší konstrukce. To se projevuje ve vyšších výrobních i provozních nákladech a ekologii. Tato třída je v poslední době u českých řidičů nejspíše pro její univerzálnost velmi oblíbená. Dle statistik Svaz dovozců automobilů (2023b) tvořila třída SUV a terénních vozů v roce 2022 dominujících 44,61 % všech registrovaných osobních automobilů v ČR. Tuzemská automobilka v této kategorii nabízí elektrifikovaný Enyaq iV, a spalovací Kodiaq, Karoq a nejmenší Kamiq. Ze tří zmíněných konvenčních modelů se parametricky Enyaqu nejvíce přibližuje Kodiaq.

#### 2.1.1 Škoda Enyaq iV 80

Enyaq iV měl dle Škody Auto Česká republika (2023b) premiéru v září 2020, čímž se stal prvním mladoboleslavským elektromobilem postaveným na platformě MEB vyvinuté v rámci koncernu Volkswagen. V roce 2022 činily dodávky tohoto modelu zákazníkům 53 678 kusů. Pro porovnávání je zvolena varianta Enyaq iV 80 s pohonem zadních kol. Podle Škody Auto Česká republika (2023c) se jedná o pětidveřovou, pětimístnou karoserii typu SUV. Tato verze disponuje větší 82 kWh baterií a synchronním motorem o výkonu až 150 kW. Podle Struby (2020) nabije pomalé 7,2 kW (AC) nabíjení 100 % baterie za 13 hodin, rychlejší 11 kW

(AC) nabíjení nabije celou kapacitu baterie za 7,5 hodiny. Váha baterie Enyaqu je 493 kg. Více parametrů se nachází v tabulce 5.

### 2.1.2 Škoda Kodiaq TSI/TDI

Škoda Kodiaq je dle Škody Auto Česká republika (2023b) největším modelem SUV automobilky Škoda. První verze byla představena v roce 2016 a stala se velmi oblíbenou. Do porovnání jsou zařazeny modely modelové řady 2021. V roce 2022 činily dodávky tohoto modelu zákazníkům 94 519 kusů. Záměrně jsou zvoleny varianty se zážehovým i vznětovým motorem. Podle Škody Auto Česká republika (2023c) disponují obě varianty pohonem předních kol. Jedná se o pětidveřovou, pětimístnou karoserii typu SUV. Zážehový motor 1.5 TSI i vznětový motor 2.0 TDI s totožným výkonem 110 kW jsou osazeny sedmistupňovou automatickou převodovkou DSG. Obě provedení splňují nejnovější verzi emisní normy Euro 6. Více parametrů se nachází v tabulce 5.

**Tabulka 5** Parametry porovnávaných modelů

| model   | Enyaq iV 80       | Kodiaq Active<br>1.5 TSI 110 kW | Kodiaq Active<br>2.0 TDI 110 kW |
|---|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| palivo  | elektřina         | benzin                          | nafta                           |
| rok   | 2021              | 2021                            | 2021                            |
| cena [Kč]   | 1 297 822,5       | 796 076,1                       | 857 197,08                      |
| pohotovostní hmotnost bez<br>hmotnosti řidiče (75) [kg] | 2 057             | 1 523                           | 1 633                           |
| kapacita baterie [kWh]                                  | 82                |                                 |                                 |
| využitelná kapacita baterie [kWh]                       | 77                |                                 |                                 |
| hmotnost baterie [kg]                                   | 493               |                                 |                                 |
| kombinovaná spotřeba                                    | 15,8 [kWh/100 km] | 6,8 [l/100 km]                  | 5,3 [l/100 km]                  |
| městská spotřeba  | 11 [kWh/100 km]   | 8,9 [l/100 km]                  | 7,1 [l/100 km]                  |
| maximální rychlost [km/h]                               | 160               | 204                             | 203                             |
| maximální výkon [kW]                                    | 150               | 110                             | 110                             |
| zrychlení 0-100 km/h [s]                                | 8,5               | 9,7                             | 9,7                             |
| ID konfigurace*   | C8ZGSNLX          | C8ZGSL9N                        | C8ZGSG8U                        |

Zdroj: Škoda Auto Česká republika (2023c)

\*ID konfigurace umožňuje prohlédnutí modelu s konkrétními specifikacemi ve slovenském konfigurátoru.

## 2.2 Porovnání ekologie

Emise CO<sub>2</sub> jsou porovnávány podle principu LCA. Jednotlivé výpočty vycházejí z teoretického podkladu metodologie Jungmeiera, Canella a Schwarzinger (2023), ale jsou upraveny autorem, pro konkrétní vstupní data. LCA se skládá z výroby automobilu, provozu,

údržby a likvidace automobilu. Díky sledování emisí v celém životním cyklu je možno posoudit celkový dopad různých pohonů na životní prostředí. Sledování celého životního cyklu také umožňuje identifikovat oblasti, ve kterých je prostor pro snížení emisí vozidel a optimalizovat životní cyklus vozidel pro snížení dopadu na životní prostředí. Předpokládanou životnost automobilů zvolil autor na 300 000 km. Veškeré hodnoty vztahující se k automobilům jsou dosazovány z tabulky 5.

### 2.2.1 Výroba automobilu

Automobily jsou ve Škodě Auto, a. s. vyráběny v masivních halách za využití automatizace. To má za následek velkou spotřebu energií na výrobu. Podle Volkswagenu AG (2022) bylo v rámci koncernu v roce 2021 spotřebováno 1 223 kWh elektrické energie na vyrobení jednoho vozidla. Pokud využijeme hodnotu WTT na výrobu elektřiny (bez započítání ztrát z nabíjení) 501,66 g CO<sub>2</sub> ekv./kWh, jejíž výpočet je podrobněji popsán v části 2.2.4, dostaneme hodnotu emisí vztahujících se k průměrné spotřebě elektrické energie potřebné na výrobu jednoho automobilu. Tato hodnota činí 613,5 kg CO<sub>2</sub> ekv.

Dále do výroby automobilu vstupuje řada materiálů s rozdílným zastoupením a s různým vlivem na životní prostředí. Podle Jungmeiera, Canella a Schwarzingera (2023) tvoří cca. polovinu použitých materiálů ocel. V tabulce 6 je přehled běžně používaných materiálů, jejich emisní faktor a jejich zastoupení v porovnávaných druzích pohonu.

**Tabulka 6** Výčet materiálů potřebných pro výrobu automobilu a jejich emisní faktor

| materiál      | emisní faktor<br>[kg CO <sub>2</sub> ekv./kg] | elektrický<br>automobil | zážehový<br>automobil | vznětový<br>automobil |
|---------------|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| ocel          | 2,47  | 44,6 %                  | 50,4 %                | 49,4 %                |
| litina        | 0,90  | 5,4 %                   | 8,0 %                 | 9,4 %                 |
| hliník        | 12,05   | 16,1 %                  | 10,6 %                | 11,9 %                |
| sklo          | 1,13  | 2,4 %                   | 2,4 %                 | 2,2 %                 |
| barva a laky  | 5,68  | 0,4 %                   | 0,4 %                 | 0,4 %                 |
| plasty        | 3,61  | 11,6 %                  | 12,1 %                | 11,0 %                |
| gumy          | 3,30  | 4,0 %                   | 3,9 %                 | 3,7 %                 |
| oleje         | 1,42  | 0,4 %                   | 0,8 %                 | 0,9 %                 |
| měď           | 3,61  | 3,7 %                   | 2,3 %                 | 2,3 %                 |
| jiné kovy     | 7,67  | 1,6 %                   | 0,3 %                 | 0,4 %                 |
| elektronika   | 36,63   | 5,7 %                   | 4,9 %                 | 4,7 %                 |
| textilie      | 24,25   | 4,1 %                   | 3,9 %                 | 3,7 %                 |
| <b>celkem</b> |   | <b>100 %</b>            | <b>100 %</b>          | <b>100 %</b>          |

Zdroj: Jungmeier, Canella a Schwarzingera (2023)

Emise z výroby automobilu jsou také závislé na hmotnosti vozidla. Spalovací automobily jsou lehčí než jejich elektrické ekvivalenty. Když však od váhy elektromobilu

odečteme váhu baterie, která je počítána samostatně dostanou se elektromobily na obdobnou nebo i nižší váhu než auta se spalovacími motory. To je dáno těžší pohonnou soustavou u spalovacích automobilů. V následující tabulce 7, jsou získány hmotnosti konkrétních materiálů použitých ve výrobě pomocí alokování pohotovostních hmotností vozidel podle poměrů z tabulky 6.

**Tabulka 7** Hmotnost materiálů použitých v automobilech

| materiál      | Enyaq iV [kg] | Kodiaq TSI [kg] | Kodiaq TDI [kg] |
|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| ocel          | 697,54        | 767,59          | 806,7           |
| litina        | 84,46         | 121,84          | 153,5           |
| hliník        | 251,8         | 161,44          | 194,33          |
| sklo          | 37,54         | 36,55           | 35,93           |
| barva a laky  | 6,26          | 6,09            | 6,53            |
| plasty        | 181,42        | 184,28          | 179,63          |
| gumy          | 62,56         | 59,4            | 60,42           |
| oleje         | 6,26          | 12,18           | 14,7            |
| měď           | 57,87         | 35,03           | 37,56           |
| jiné kovy     | 25,02         | 4,57            | 6,53            |
| elektronika   | 89,15         | 74,63           | 76,75           |
| textilie      | 64,12         | 59,4            | 60,42           |
| <b>celkem</b> | <b>1564</b>   | <b>1523</b>     | <b>1633</b>     |

Zdroj: autor; Škoda Auto Česká republika (2023c); Jungmeier, Canella a Schwarzingger (2023).

Nyní známe všechny údaje pro výpočet emisí z materiálů potřebných k výrobě. Výpočet bude probíhat pomocí skalárního součinu následovně:

$$Ez\ mat = \sum_{i=1}^{12} Ef\ mat_i \times m\ mat_i \quad (1)$$

Kde:

$Ez\ mat$  ... Emise ze zpracování materiálu [kg CO<sub>2</sub> ekv.]

$Ef\ mat_i$  ... Emisní faktor i-tého materiálu [kg CO<sub>2</sub> ekv./kg]

$m\ mat_i$  ... Hmotnost i-tého materiálu [kg]

Po dosazení do vzorce (1):

$$Ez\ mat_{Enyaq\ iV} = 2,47 \times 697,54 + 0,9 \times 84,46 + \dots + 24,25 \times 64,12$$

$$Ez\ mat_{Enyaq\ iV} = 11002,66\ kg\ CO_2\ ekv.$$

$$Ez\ mat_{Kodiaq\ TSI} = 2,47 \times 767,59 + 0,9 \times 121,84 + \dots + 24,25 \times 59,4$$

$$Ez\ mat_{Kodiaq\ TSI} = 9241,07\ kg\ CO_2\ ekv.$$

$$Ez\ mat_{Kodiaq\ TDI} = 2,47 \times 806,7 + 0,9 \times 153,5 + \dots + 24,25 \times 60,42$$

$$Ez\ mat_{Kodiaq\ TDI} = 9881,01\ kg\ CO_2\ ekv.$$

Výsledné emise z výroby jednotlivých pohonů se vypočítají jako součet emisí z výroby elektrické energie a emisí ze zpracování materiálu.

$$Ev = E_{se} + E_{z\ mat} \quad (2)$$

Kde:

$E_v$  ... Emise z výroby automobilu [kg CO<sub>2</sub> ekv.]

$E_{se}$  ... Emise ze spotřebované elektřiny [kg CO<sub>2</sub> ekv.]

$E_{z\ mat}$  ... Emise ze zpracování materiálu [kg CO<sub>2</sub> ekv.]

Po dosazení do vzorce (2):

$$Ev_{Enyaq\ iV} = 613,5 + 11002,66$$

$$Ev_{Enyaq\ iV} = \mathbf{11616,16\ kg\ CO_2\ ekv.}$$

$$Ev_{Kodiaq\ TSI} = 613,5 + 9241,07$$

$$Ev_{Kodiaq\ TSI} = \mathbf{9854,57\ kg\ CO_2\ ekv.}$$

$$Ev_{Kodiaq\ TDI} = 613,5 + 9881,01$$

$$Ev_{Kodiaq\ TDI} = \mathbf{10494,51\ kg\ CO_2\ ekv.}$$

Nejnižší výsledné emise z výroby má benzinová varianta Škody Kodiaq TSI s hodnotou emisí 9 854,57 kg CO<sub>2</sub> ekv. Ta je “těsně“ následována naftovou Škodou Kodiaq TDI s hodnotou emisí 10 494,51 kg CO<sub>2</sub> ekv. Výroba Škody Enyaq bez baterie stojí za emisemi v celkové hodnotě 11 616,16 kg CO<sub>2</sub> ekv.

### 2.2.2 Výroba baterií

Ze švédské studie IVL Emilssona a Dahllöfa (2019) vyplývá, že na výrobu 1 kWh kapacity baterie připadá 61–106 kg CO<sub>2</sub> ekv. Pro výpočty bude použita střední hodnota 83,5 kg CO<sub>2</sub> ekv./kWh. Emise konkrétní baterie se vypočítá, jako součin kapacity baterie a této průměrné hodnoty. U elektromobilů jsou vždy uváděny dvě hodnoty kapacity baterie. První hodnota je využitelná kapacita baterie, což je množství energie, které může být skutečně odebráno z baterie, aniž by došlo k poškození baterie nebo snížení její životnosti. Využitelná kapacita baterie je důležitým faktorem při vypočítávání času nabíjení a určování dojezdu elektromobilu na jedno nabití. Celková kapacita naopak reprezentuje, s jak velkou kapacitou byla baterie vyrobena. Postup výpočtu emisí vztahujících se k výrobě baterie pro Škodu Enyaq iV 80 je následující.

$$Ev_{bat} = Efv_{bat} \times C_{bat} \quad (3)$$

Kde:

$Ev_{bat}$  ... Emise z výroby baterie [kg CO<sub>2</sub> ekv.]

$Efv_{bat}$  ... Emisní faktor výroby baterie [kg CO<sub>2</sub> ekv./kWh]

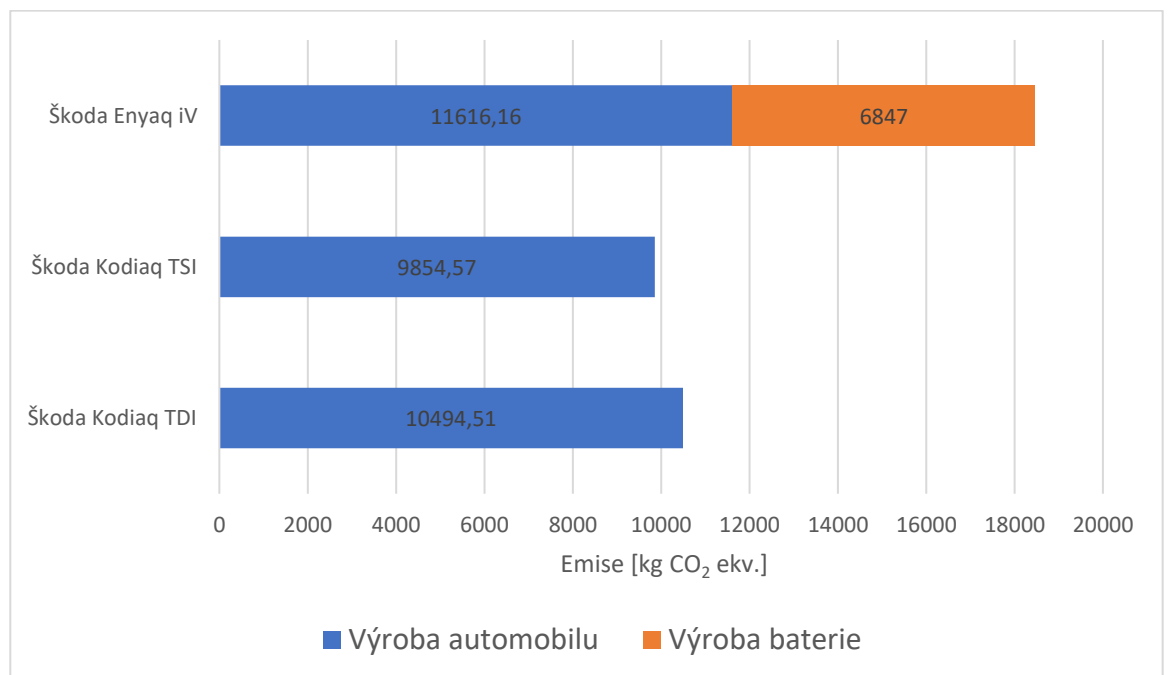
$C_{bat}$  ... Celková kapacita baterie [kWh]

Po dosazení do vzorce (3):

$$Ev_{bat}_{Enyaq\ iV} = 83,5 \times 82$$

$$Ev_{bat}_{Enyaq\ iV} = \mathbf{6847\ kg\ CO_2\ ekv.}$$

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že výroba elektromobilu bez baterie je téměř stejně ekologicky náročná jako výroba spalovacích automobilů. Výroba baterie však přidává dodatečné emise, jejichž hodnota může být zejména u menších aut s velkou baterií větší než hodnota emisí z výroby zbytku elektromobilu. Konkrétně u 82 kWh baterie Škody Enyaq vychází hodnota emisí CO<sub>2</sub> ekv. Spojená s výrobou baterie na 6 847 kg CO<sub>2</sub> ekv., což tvoří 37,08 % všech výrobních emisí tohoto vozidla. Stav emisí na začátku životního cyklu automobilů je viditelný na obrázku 7.



**Obrázek 7** Emise na začátku životního cyklu výroba automobilu + výroba baterie (autor)



### 2.2.3 Well-to-Tank (pohonné hmoty)

Well-to-Tank hodnota emisí se vypočítá jako součet emisí z těžby surovin, distribuce ropy, rafinace ropy a distribuce pohonných hmot. Pro přepočítání na litry jsou použity následující hodnoty výhřevnosti dle Staffella (2011):

- výhřevnost ropy 36,84 MJ/l,
- výhřevnost benzínu 32,7 MJ/l,
- výhřevnost nafty 35,94 MJ/l.

Výpočty emisí připadající na těžbu ropy vycházejí ze znalosti původu ropy a ekologické náročnosti v místě původu. V roce 2021 proudila do ČR dle statistiky Ministerstva průmyslu a obchodu (2022) ropa ze 7 zemí viz tabulka 8. Data o ekologické náročnosti těžby v jednotlivých zemích pochází z vědecké práce Masnadiho et al. (2018). Po procentuálním přepočtu vychází průměrné emise dovezené ropy 333,84 g CO<sub>2</sub> ekv. v jednom litru surové ropy.

**Tabulka 8** Ekologická náročnost těžby ropy

| Země          | dovoz ropy [tis. tun] | poměr [%]  | ek. náročnost těžby v zemi [g CO <sub>2</sub> ekv./l] | ek. náročnost podle poměru těžby [g CO <sub>2</sub> ekv./l] |
|---------------|-----------------------|------------|---|---|
| Ázerbájdžán   | 1095,9                | 16,02      | 232,93  | 37,31   |
| Kazachstán    | 1239,3                | 18,12      | 357,10  | 64,69   |
| Libye         | 158,2                 | 2,31       | 405,40  | 9,37  |
| Nigérie       | 45,2                  | 0,66       | 417,63  | 2,76  |
| Norsko        | 80,9                  | 1,18       | 206,12  | 2,44  |
| Rusko         | 30417,4               | 49,95      | 358,86  | 179,27  |
| USA           | 804,3                 | 11,76      | 415,23  | 48,82   |
| <b>celkem</b> | <b>6841</b>           | <b>100</b> |   | <b>344,66</b>   |

Zdroj: autor; Ministerstvo průmyslu a obchodu (2022); Masnadi et al. (2018).

Podle analýzy vývoje automobilových paliv vypracované evropskou unií Prussi et al. (2020) připadá na distribuci ropy tankery do evropských přístavů cca 25,79 g CO<sub>2</sub> ekv./l. Země, ze kterých se dopravuje ropa tankery, tvoří 50,05 % celkového importu.

$$Ed r = \frac{Ed rt \times P rt}{100} \quad (4)$$

Kde:

*Ed r* ... Emise z distribuce ropy [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

*Ed rt* ... Emise z distribuce ropy tankery [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

*P rt* ... Podíl ropy dovezené tankery [%]

Po dosazení do vzorce (4):

$$Ed r = \frac{25,79 \times 50,05}{100}$$

$$Ed r = 12,9 \text{ g CO}_2 \text{ ekv./l}$$

Podle analýzy Prussiho et al. (2020) je výroba benzínu (179,85 g CO<sub>2</sub> ekv./l) ekologičtější než výroba nafty (258,77 g CO<sub>2</sub> ekv./l).

Dle evropského průměru, který kalkuluje přepravní vzdálenosti, dopravní módy a vozové parky, přidává distribuce ke konečnému zákazníkovi dalších 34,32 g CO<sub>2</sub> ekv./l.

Výsledné Well-to-Tank emise pro jednotlivá paliva se vypočtou podle vzorce 5:

$$WTT_{ph} = Et r + Ed r + Ev p + Ed p \quad (5)$$

Kde:

$WTT_{ph}$  ... Well to Tank emise vztažené na pohonné hmoty [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

$Et r$  ... Emise z těžby ropy [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

$Ed r$  ... Emise z distribuce ropy [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

$Ev p$  ... Emise z výroby pohonných hmot benzin/nafta [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

$Ed p$  ... Emise z distribuce pohonných hmot [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

Po dosazení do vzorce (5):

$$WTT_{Benzin} = 344,66 + 12,9 + 179,85 + 34,32 = 571,73 \text{ g CO}_2 \text{ ekv./l}$$

$$WTT_{Nafta} = 344,66 + 12,9 + 258,77 + 34,32 = 650,65 \text{ g CO}_2 \text{ ekv./l}$$

Se znalostí spotřeby vozidel lze vypočítat kolik emisí CO<sub>2</sub> připadá na výrobu paliva pro provoz konkrétního vozidla na vzdálenosti jednoho kilometru následovně:

$$WTT = \frac{WTT_{ph} \times S}{100} \quad (6)$$

Kde:

$WTT$  ... Well to Tank emise [g CO<sub>2</sub> ekv./km]

$WTT_{ph}$  ... Well to Tank emise vztažené na pohonné hmoty [g CO<sub>2</sub> ekv./l]

$S$  ... Spotřeba vozidla [l/100 km]

Po dosazení kombinovaných spotřeb do vzorce (6):

$$WTT_{Kodiaq TSI} = \frac{571,73 \times 6,8}{100}$$

$$WTT_{Kodiaq TSI} = 38,88 \text{ g CO}_2 \text{ ekv./km}$$

$$WTT_{Kodiaq TDI} = \frac{650,65 \times 5,3}{100}$$

$$WTT_{Kodiaq TDI} = 34,48 \text{ g CO}_2 \text{ ekv./km}$$

Po dosažení městských spotřeb do vzorce (6):

$$WTT_{Kodiaq\ TSI} = \frac{571,73 \times 8,9}{100}$$

$$WTT_{Kodiaq\ TSI} = \mathbf{50,88\ g\ CO_2\ ekv./km}$$

$$WTT_{Kodiaq\ TDI} = \frac{650,65 \times 7,1}{100}$$

$$WTT_{Kodiaq\ TDI} = \mathbf{46,19\ g\ CO_2\ ekv./km}$$

V přepočtu na litr je sice výroba benzínu s hodnotou emisí 571,73 g CO<sub>2</sub> ekv./l ekologičtější než výroba motorové nafty s hodnotou emisí 650,65 g CO<sub>2</sub> ekv./l. Kvůli větší spotřebě Škody Kodiaq TSI je však konečná hodnota emisí vyšší než u Škody Kodiaq TDI.

#### 2.2.4 Well-to-Tank (elektrická energie)

Kolik emisí CO<sub>2</sub> ekv./kWh připadá na výrobu elektrické energie lze spočítat jako sumu násobků procentuálního zastoupení jednotlivých zdrojů elektrické energie a jejich emisních faktorů viz tabulka 9. Zastoupení jednotlivých zdrojů vydává Energetický regulační úřad (2022) v rámci přehledu o celkovém instalovaném výkonu. Hodnoty emisních faktorů platných pro evropskou unii uvádí ve svojí zprávě Schloemer et al. (2014). Tyto emisní faktory pokrývají pouze 93,33 % zdrojů energie, to je dáno zejména absencí hodnot pro přečerpávací elektrárny. Po procentuálním přepočtu známých emisních faktorů vychází průměrné emise z vyrobené elektřiny na 449,48 g CO<sub>2</sub> ekv./kWh.

**Tabulka 9** Ekologická náročnost výroby elektrické energie

| zdroje elektrické energie | poměr [%]    | emisní faktor [g CO <sub>2</sub> ekv./kWh] | emise z výroby elektřiny podle poměru zdroje [g CO <sub>2</sub> ekv./kWh] |
|---------------------------|--------------|--|---|
| jaderné                   | 22,02 %      | 12   | 2,64  |
| uhelné                    | 42,45 %      | 820  | 348,09  |
| biomasa                   | 3,43 %       | 720  | 24,7  |
| plynné                    | 13,95 %      | 490  | 68,36   |
| vodní                     | 5,71 %       | 24   | 1,37  |
| větrné                    | 1,75 %       | 11   | 0,19  |
| fotovoltaické             | 10,69 %      | 38,67                                      | 4,13  |
| <b>celkem</b>             | <b>100 %</b> |  | <b>449,48</b>   |

Zdroj: autor; Energetický regulační úřad (2022); Schloemer et al. (2014).

Počítat s touto hodnotou by bylo ovšem nepřesné, protože dochází k různým ztrátám. Aby bylo možné spočítat co nejpřesnější hodnotu, je důležité znát procentuální hodnoty ztrát.

Z nich se musí vypočítat hodnota součinitele ztrát, která udává o kolik více kWh elektrické energie je potřeba vyrobit, aby následně byla využita 1 kWh elektrické energie pro pohon elektromobilu.

V roce 2019 docházelo podle Energetického regulačního úřadu k těmto ztrátám:

- tech. vlastní spotřeba na výrobu elektřiny 6,71 %,
- v přenosové soustavě 1,4 %,
- v distribučních soustavách 3,5 %.

Podle Rudschiese (2020) dochází při nabíjení průměrně ke ztrátám ve výši 17,5 %.

$$\zeta = \frac{Z_{vs} + Z_p + Z_d + Z_n}{100} \quad (7)$$

Kde:

$\zeta$  ... Součinitel ztrát

$Z_{vs}$  ... Ztráty tech. vlastní spotřeba na výrobu elektřiny [%]

$Z_p$  ... Ztráty v přenosové soustavě [%]

$Z_d$  ... Ztráty v distribučních soustavách [%]

$Z_n$  ... Ztráty při nabíjení [%]

Po dosazení do vzorce (7):

$$\zeta = \frac{6,71 + 1,4 + 3,5 + 17,5}{100}$$

$$\zeta = 0,2911$$

Na jednu čistou (spotřebovanou) kWh energie připadne 1,2911 kWh hrubé (vyrobené) energie. Nyní stačí hrubou energii vynásobit emisním faktorem. Takto vypočtený výsledek se rovná celkové Well-to-Tank hodnotě platné pro elektromobily.

$$WTT_e = (1 + \zeta) \times Ef \quad (8)$$

Kde:

$WTT_e$  ... Well to Tank emise vztažené na elektrickou energii [g CO<sub>2</sub> ekv./kWh]

$\zeta$  ... Součinitel ztrát

$Ef$  ... Emisní faktor z výroby elektrické energie [g CO<sub>2</sub> ekv./kWh]

Po dosazení do vzorce (8):

$$WTT_E = 1,2911 \times 449,48$$

$$WTT_E = 580,32 \text{ g CO}_2 \text{ ekv./kWh}$$

Se znalostí spotřeby Škody Enyaq lze vypočítat kolik emisí CO<sub>2</sub> připadá na vyrobenou elektřinu pro provoz vozidla na vzdálenosti jednoho kilometru následovně:

$$WTT = \frac{WTT_e \times S}{100} \quad (9)$$

Kde:

$WTT$  ... Well to Tank emise [g CO<sub>2</sub> ekv./km]

$WTT_e$  ... Well to Tank emise vztažené na elektrickou energii [g CO<sub>2</sub> ekv./kWh]

$S$  ... Spotřeba vozidla [kWh/100 km]

Po dosazení kombinovaní spotřeby do vzorce (9):

$$WTT_{Enyaq\ iV} = \frac{580,32 \times 15,8}{100}$$

$$WTT_{Enyaq\ iV} = \mathbf{91,69\ g\ CO_2\ ekv./km}$$

Po dosazení městské spotřeby do vzorce (9):

$$WTT_{Enyaq\ iV} = \frac{580,32 \times 11}{100}$$

$$WTT_{Enyaq\ iV} = \mathbf{63,84\ g\ CO_2\ ekv./km}$$

Výsledek Well-to-Tank analýzy u porovnávaných modelů poukázal na fakt, že výroba a distribuce elektřiny pro použití v Enyaqu je při použití energetického mixu ČR méně ekologická než výroba a distribuce paliv pro použití ve spalovacích Škodách Kodiaq. Toto tvrzení je platné pro městskou i kombinovanou spotřebu.

### 2.2.5 Tank-to-Wheel

Postup výpočtu uvolněného CO<sub>2</sub> je dle United states environmental protection agency (2005) následující. Vezmeme počet g CO<sub>2</sub> v jednom litru benzínu a vynásobíme oxidačním faktorem a poměrem molekulových hmotností CO<sub>2</sub>/C. Oxidační faktor udává, kolik uhlíku obsaženého v palivu oxiduje. Tato hodnota je blízká 99 %. Poměr molekulových hmotností má hodnotu 44/12. Pro přepočítání galonu na litry je použit konstanta 3,78541 [l/galon] podle převodníku Staffella (2011).

$$TTW_{ph} = m_c \times Of \times \frac{CO_2}{C} [g\ CO_2/l] \quad (10)$$

Kde:

$TTW_{ph}$  ... Tank-to-Wheel emise [g CO<sub>2</sub>/l]

$m_c$  ... Hmotnost vodíku v jednom litru benzínu/nafty [g/l]

*Of* ... Oxidační faktor uhlíku

$CO_2/C$  ... Poměr molekulových hmotností oxidu uhličitého a uhlíku

Po dosazení do vzorce (10)

$$TTW_{Benzin} = 639,561 \times 0,99 \times \frac{44}{12}$$

$$TTW_{Benzin} = \mathbf{2321,61 \text{ g } CO_2/l}$$

$$TTW_{Nafta} = 733,870 \times 0,99 \times \frac{44}{12}$$

$$TTW_{Nafta} = \mathbf{2663,95 \text{ g } CO_2/l}$$

Se znalostí spotřeby vozidel lze vypočítat kolik emisí  $CO_2$  připadá na jízdu konkrétního vozidla na vzdálenosti jednoho kilometru následovně:

$$TTW = \frac{TTW_{ph} \times S}{100} \quad (11)$$

Kde:

$TTW$  ... Tank-to-Wheel emise [g  $CO_2/l$ ]

$TTW_{ph}$  ... Well to Tank emise vztážené na pohonné hmoty [g  $CO_2$  ekv./l]

$S$  ... Spotřeba vozidla [l/100 km]

Po dosazení kombinovaných spotřeb do vzorce (11):

$$TTW_{Kodiaq \text{ TSI}} = \frac{2321,61 \times 6,8}{100}$$

$$TTW_{Kodiaq \text{ TSI}} = \mathbf{157,87 \text{ g } CO_2 \text{ ekv./km}}$$

$$TTW_{Kodiaq \text{ TDI}} = \frac{2663,95 \times 5,3}{100}$$

$$TTW_{Kodiaq \text{ TDI}} = \mathbf{141,19 \text{ g } CO_2 \text{ ekv./km}}$$

$$TTW_{Enyaq \text{ iV}} = \mathbf{0 \text{ g } CO_2 \text{ ekv./km}}$$

Po dosazení městských spotřeb do vzorce (11):

$$TTW_{Kodiaq \text{ TSI}} = \frac{2321,61 \times 8,9}{100}$$

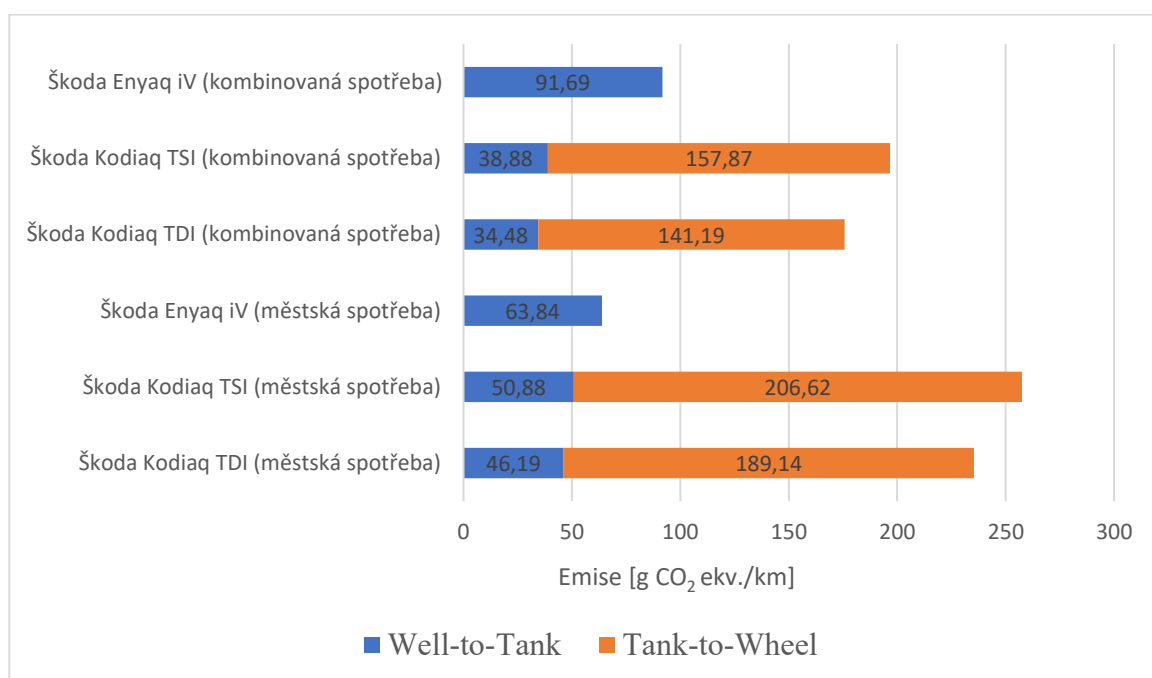
$$TTW_{Kodiaq \text{ TSI}} = \mathbf{206,62 \text{ g } CO_2 \text{ ekv./km}}$$

$$TTW_{Kodiaq \text{ TDI}} = \frac{2663,95 \times 7,1}{100}$$

$$TTW_{Kodiaq \text{ TDI}} = \mathbf{189,14 \text{ g } CO_2 \text{ ekv./km}}$$

$$TTW_{Enyaq\ iV} = 0 \text{ g CO}_2 \text{ ekv./km}$$

Tank-to-Wheel analýza nepřidává Škodě Enyaq žádné dodatečné emise díky tomu, že při samotné jízdě elektromobilu nevznikají emise CO<sub>2</sub>. U spalovacích motorů opět na litr spáleného paliva dosahuje nižších emisí benzin s hodnotou 2 321,61 g CO<sub>2</sub> ekv./l oproti motorové naftě s emisemi 2 663,95 g CO<sub>2</sub> ekv./l. Při kalkulaci se spotřebou jezdí ekologičtěji Škoda Kodiaq TDI. Výsledky obou analýz věnujících se jízdě automobilů jsou znázorněny na obrázku 8.



**Obrázek 8** Emise na 1 km jízdy – Well-to-Wheel (autor)

### 2.2.6 Údržba automobilu

Četnost výměn a ekologická náročnost výměny součástí podle výzkumu Kawamota et al. (2019) je znázorněna v tabulce 10. Interval výměny oleje byl upraven z 10 000 km na 30 000 km z důvodu prodloužení výměny oleje u nově vyrobených modelů Kodiaq Škodou Auto Česká republika (2017). Interval 160 000 je skutečná minimální životnost baterie Enyaqu garantovaná výrobcem.

**Tabulka 10** Přehled vyměňovaných součástí v rámci údržby vozidla

| součást               | interval výměny [km] | emise [kg CO <sub>2</sub> /výměna] |
|-----------------------|----------------------|------------------------------------|
| pneumatiky            | 40 000               | 108                                |
| olověný akumulátor    | 50 000               | 19,5                               |
| motorový olej         | 30 000               | 3,22                               |
| chladicí kapalina     | 24 000               | 7,03                               |
| baterie elektromobilu | 160 000              | 6 847                              |

Zdroj: Kawamoto et al. (2019); Škoda Auto Česká republika (2017).

Během životnosti automobilů budou ve všech vozidlech 7x vyměněny pneumatiky (756 kg CO<sub>2</sub>) a 5x autobaterie (97,5 kg CO<sub>2</sub>). U spalovacích variant proběhne 9x výměna motorového oleje (28,98 kg CO<sub>2</sub>) a 12x chladicí kapaliny (84,36 kg CO<sub>2</sub>). Škoda Enyaq vymění 1x baterii (6 847 kg CO<sub>2</sub>).

### 2.2.7 Likvidace automobilu

Likvidace spalovacích automobilů a elektromobilů bez baterie je obdobně ekologicky náročná. Podle výzkumu Kawamota et al. (2019) se při kompletním procesu likvidace zahrnující rozřezání, třízení, transport, skládkování, uvolní mise o velikosti 66 kg CO<sub>2</sub>. Do hodnoty nejsou zahrnuty emise z demolice, které jsou podle autora studie zanedbatelné.

Ze švédské studie IVL Emilsson a Dahllöf (2019) vyplývá, že na recyklaci 1 kWh kapacity baterie připadá 15 kg CO<sub>2</sub> ekv. Emise připadající na recyklaci se tedy vypočítají jako součin kapacity baterie a této hodnoty.

$$Er_{bat} = Efr_{bat} \times C_{bat} \quad (12)$$

Kde:

$Er_{bat}$  ... Emise z recyklace baterie [kg CO<sub>2</sub> ekv.]

$Efr_{bat}$  ... Emisní faktor recyklace baterie [kg CO<sub>2</sub> ekv./kWh]

$C_{bat}$  ... Celková kapacita baterie [kWh]

Po dosazení do vzorce (12):

$$Er_{bat} \text{ Enyaq iV} = 15 \times 82$$

$$Er_{bat} \text{ Enyaq iV} = \mathbf{1230 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}}$$

Během životnosti Škody Enyaq budou využity celkově dvě baterie

### 2.2.8 Porovnání emisí v životním cyklu vozidel

Nyní jsou k dispozici veškeré údaje pro porovnání životních cyklů vozidel. Škoda Enyaq iV má velmi vysoké počáteční emise i emise spojené s údržbou a likvidací. Při ujetí



předpokládané životnosti 300 000 km, však díky nízkým provozním emisím, končí s nižší ekologickou stopou, než oba spalovací automobily. Benzinová verze Škody Kodiaq naopak vyjíždí z výrobního závodu s nejnižšími emisemi. Po ujetí předpokládané životnosti končí se suverénně nejhorsšími celkovými emisemi, které jsou o více než 5 tun horší než celkové emise naftové varianty. Kompletní přehled emisí připadající na jednotlivé fáze životního cyklu při jízdě v kombinované provozu se nachází v tabulce 11.

**Tabulka 11** Emise v celém životním cyklu vozidel – kombinovaná spotřeba

| část životního cyklu                | Enyaq iV  | Kodiaq TSI | Kodiaq TDI |
|-------------------------------------|-----------|------------|------------|
| výroba [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 18 463,16 | 9 854,57   | 10 494,51  |
| provoz [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 27 507,00 | 59 025,00  | 52 701,00  |
| údržba [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 7 700,50  | 966,84     | 966,84     |
| likvidace [kg CO <sub>2</sub> ekv.] | 2 526,00  | 66,00      | 66,00      |
| celkem [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 56 196,66 | 69 912,41  | 64 228,35  |

Zdroj: autor.

V městském provozu je ještě více patrná výhoda Škody Enyaq, kde se dostává na téměř poloviční hodnoty celkových emisí. Nejhůře ze srovnání opět vychází Škoda Kodiaq TSI s o více jak 6 tun horšími emisemi oproti naftové variantě. Kompletní přehled emisí připadající na jednotlivé fáze životního cyklu při jízdě v městském provozu se nachází v tabulce 12.

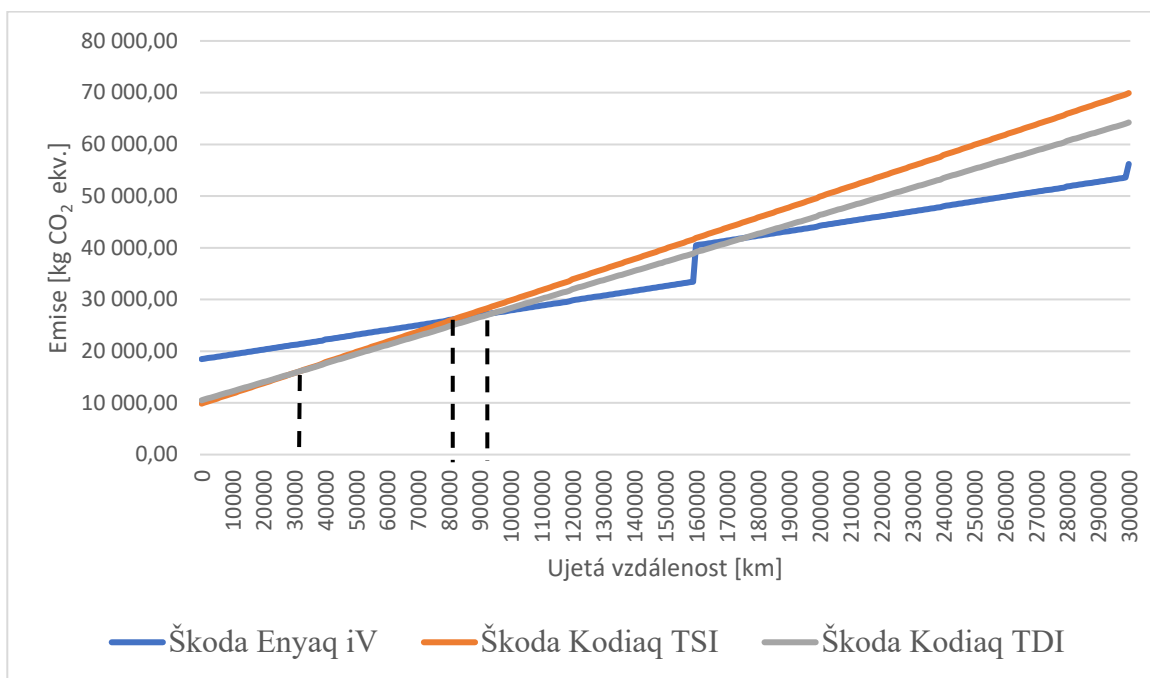
**Tabulka 12** Emise v celém životním cyklu vozidel – městská spotřeba

| část životního cyklu                | Enyaq iV  | Kodiaq TSI | Kodiaq TDI |
|-------------------------------------|-----------|------------|------------|
| výroba [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 18 463,16 | 9 854,57   | 10 494,51  |
| provoz [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 19 152,00 | 77 250,00  | 70 599,00  |
| údržba [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 7 700,50  | 966,84     | 966,84     |
| likvidace [kg CO <sub>2</sub> ekv.] | 2 526,00  | 66,00      | 66,00      |
| celkem [kg CO <sub>2</sub> ekv.]    | 47 841,66 | 88 137,41  | 82 126,35  |

Zdroj: autor.

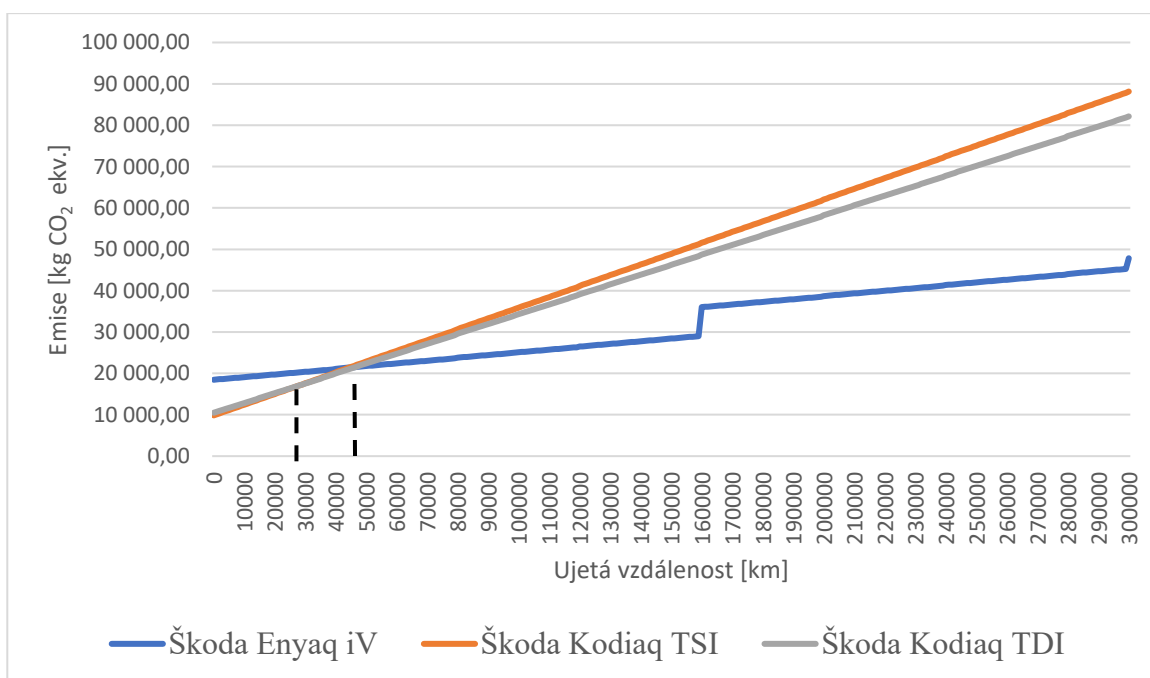
Na následujícím obrázku lze pozorovat průběh emisí v závislosti na ujeté vzdálenosti u tří porovnávaných modelů při jízdě v kombinovaném provozu. Emise u modelů nezačínají na nule z důvodu výroby. Stejně tak jsou na konci přičtené emise z likvidace. Emise z údržby automobilu jsou přidávány do grafu při skutečně ujetých kilometrech. V grafu se to viditelně promítne pouze při vyměnění baterie Enyaqu po 160 000 km. Škoda Enyaq iV je i přes méně ekologický výstup z výroby ekologičtější, než benzinová Škoda Kodiaq TSI po najetí 81 677,71 km. Aby se Enyaq vyrovnal emisím naftové Škody Kodiaq TDI musí naježdít alespoň 94 521,31 km. Při výměně baterie se Škoda Enyaq opět dostane na úroveň Škody Kodiaq TDI, avšak po ujetí necelých 16-ti tisících kilometrů se opět stává ekologičtější. Škoda

Kodiaq TSI začíná být méně ekologická v porovnání se Škodou Kodiaq TDI po ujetí 30 354,69 km.



**Obrázek 9** Emise v průběhu životního cyklu – kombinovaná spotřeba (autor)

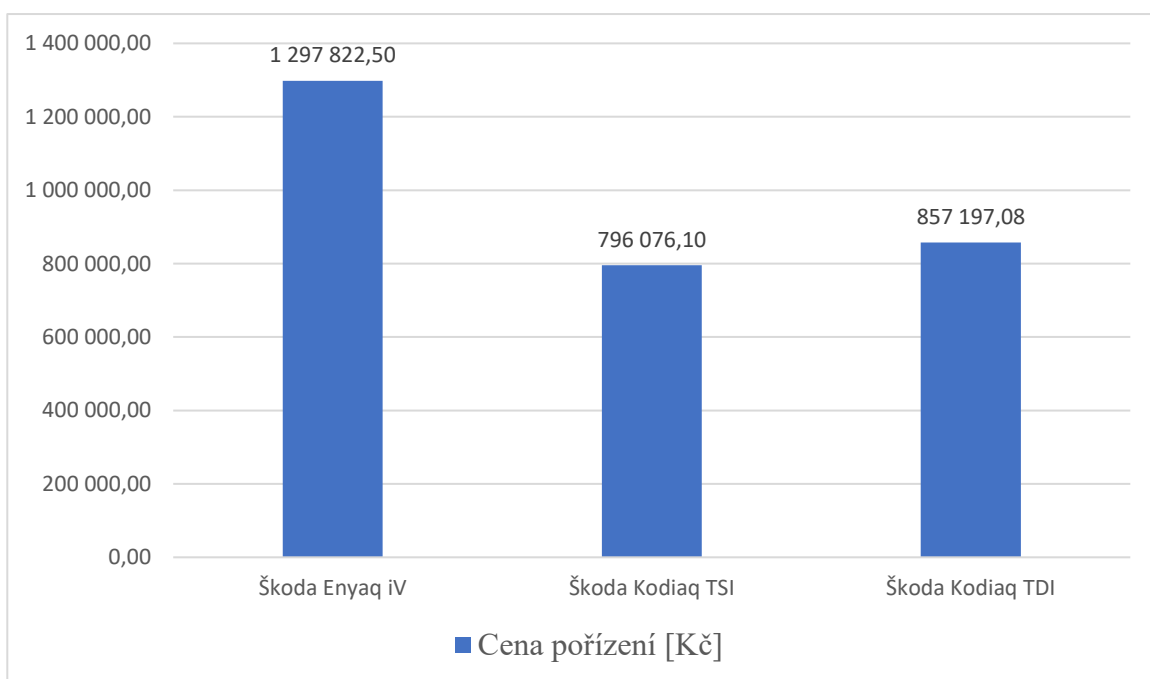
Obrázek 10 ukazuje stejný graf platný pro jízdu v městském provozu. Pokud se Škoda Enyaq ujede v městském provozu alespoň 46 407,37 km, dostane se na nižší emise než oba spalovací konkurenti. Škoda Kodiaq TSI se stává nejméně ekologickým vozidlem po najetí 28 865,13 km.



**Obrázek 10** Emise v průběhu životního cyklu – městská spotřeba (autor)

### 2.3 Porovnání nákladů

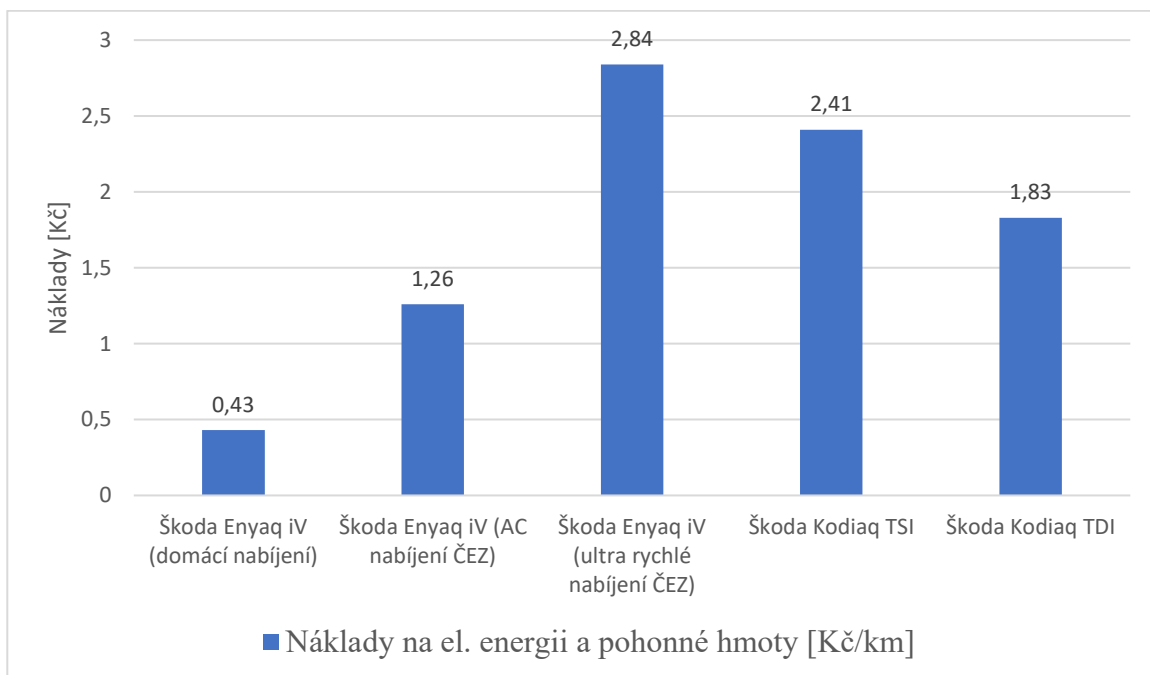
Ceny pořízení jsou aktuální k 31. 3. 2023. Jedná se o slovenské ceny v eurech přečtené na české koruny podle aktuálního kurzu České národní banky (2023). Ten 31. 3. 2023 v 14:30 vycházel na 23,49 Kč za jedno euro. Důvodem použití slovenských ceníků je, že Škoda Auto a. s. v době provádění výpočtů neumožňovala sestavit v českém konfiguratoru použité motorizace. Dle oficiálních ceníků Škody Auto Česká republika (2023c) je nejdražším modelem Enyaq iV 80, který vyjde slovenské zákazníky na v přepočtu 1 297 822,5 Kč včetně DPH. Následován je Škodou Kodiaq TDI ve výbavě Active s cenou 857 197,08 Kč včetně DPH. Nejlevnější je Škoda Kodiaq TSI, která ve výbavě Active stojí 796 076,1 Kč včetně DPH. Srovnání cen pořízení je patrné z obrázku 11.



**Obrázek 11** Ceny pořízení automobilů (Škoda Auto Česká republika, 2023c)

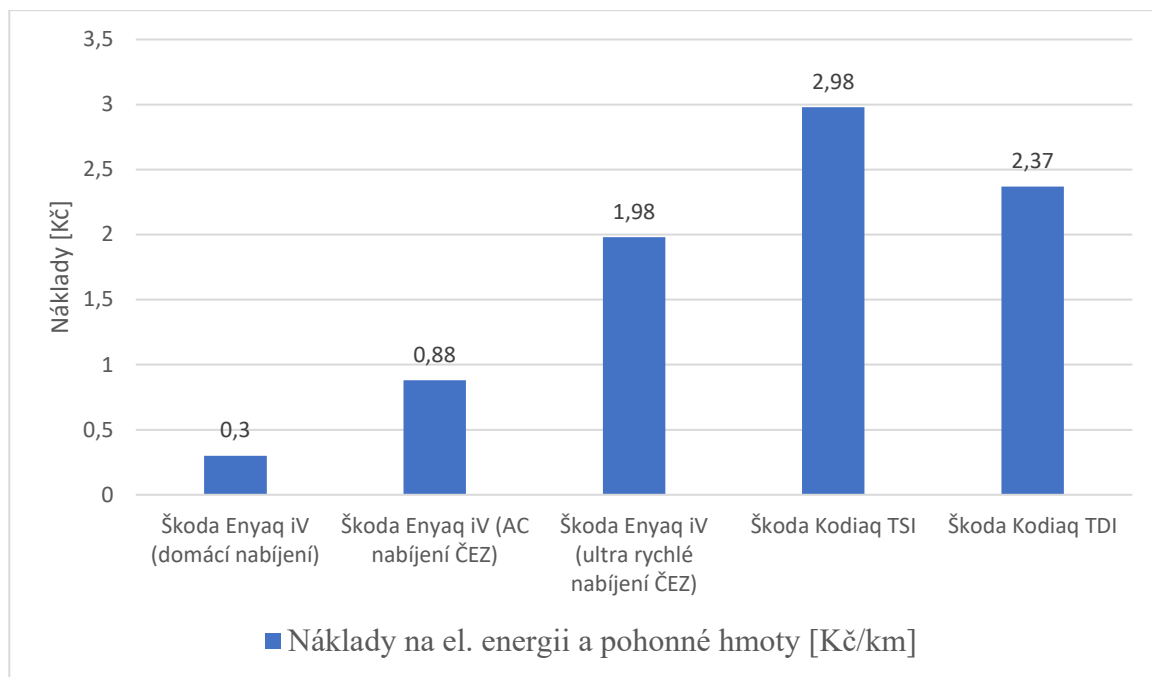
Jízdní náklady jsou závislé na spotřebě konkrétního modelu, a na ceně paliva respektive elektrické energie. Jelikož je více možností, kde nabíjet elektromobil, a tyto možnosti se od sebe významně liší, jsou v kalkulaci zahrnuty tři různé možnosti nabíjení. Nejlevnější z nich je pomalé domácí nabíjení podle sjednaného tarifu. Za 5letý týdenní průměr se cena jedné kWh podle webu Kurzy.cz (© 2000–2023) pohybovala kolem 2,7 Kč. Při této ceně vychází se Škodou Enyaq náklady na 0,43 Kč/km při kombinované spotřebě. Při pomalém AC nabíjení na veřejných nabíjecích stanicích ČEZ za 8 Kč za kWh vychází jízda při kombinované spotřebě na 1,26 Kč/km. Nejdražší ultra rychlé DC nabíjení na veřejných nabíjecích stanic ČEZ při ceně 18 Kč za kWh vychází na 2,84 Kč/km při kombinované spotřebě. Škoda Kodiaq TSI jezdí při

ceně benzínu 33,46 Kč/l za 2,41 Kč/km při kombinované spotřebě. Škoda Kodiaq TDI jezdí při ceně nafty 33,34 Kč/l za 1,83 Kč/km při kombinované spotřebě. Podrobnosti jsou znázorněny na obrázku 12.



**Obrázek 12** Náklady na jeden km jízdy – kombinovaná spotřeba (autor)

Náklady se změny při výpočtech s městskou spotřebou. Domácí nabíjení vychází se Škodou Enyaq na 0,3 Kč/km při městské spotřebě. Při pomalém AC nabíjení na veřejných nabíjecích stanic ČEZ za 8 Kč za kWh vychází jízda na 0,88 Kč/km při městské spotřebě. Nejdražší ultra rychlé DC nabíjení na veřejných nabíjecích stanic ČEZ při ceně 18 Kč za kWh vychází na 1,98 Kč/km při městské spotřebě. Škoda Kodiaq TSI jezdí při ceně benzínu 33,46 Kč/l za 2,98 Kč/km při městské spotřebě. Škoda Kodiaq TDI jezdí při ceně nafty 33,34 Kč/l za 2,37 Kč/km při městské spotřebě. Podrobnosti jsou znázorněny na obrázku 13.



**Obrázek 13** Náklady na jeden km jízdy – městská spotřeba (autor)

Četnost výměn a cena výměny součástí je znázorněna v tabulce 13. Ceny jsou převzaty z e-shopu Autodoc (© 2023), který umožňuje filtrovat autodíly podle vybraného modelu. Pro účely práce jsou použity nejnižší ceny náhradních dílů. Cena baterie Enyaqu není veřejný údaj. Odhadovaná cena podle článku Šidláka (2023) na webu e-flotila je 840 000 Kč včetně práce.

**Tabulka 13** Přehled vyměňovaných položek v rámci údržby vozidla

| položka               | interval výměny [km] | cena [Kč/položka] |
|-----------------------|----------------------|-------------------|
| sada pneumatik        | 40 000               | 10 000            |
| olověný akumulátor    | 50 000               | 2 500             |
| motorový olej         | 30 000               | 1 300             |
| chladicí kapalina     | 24 000               | 150               |
| baterie elektromobilu | 160 000              | *840 000          |

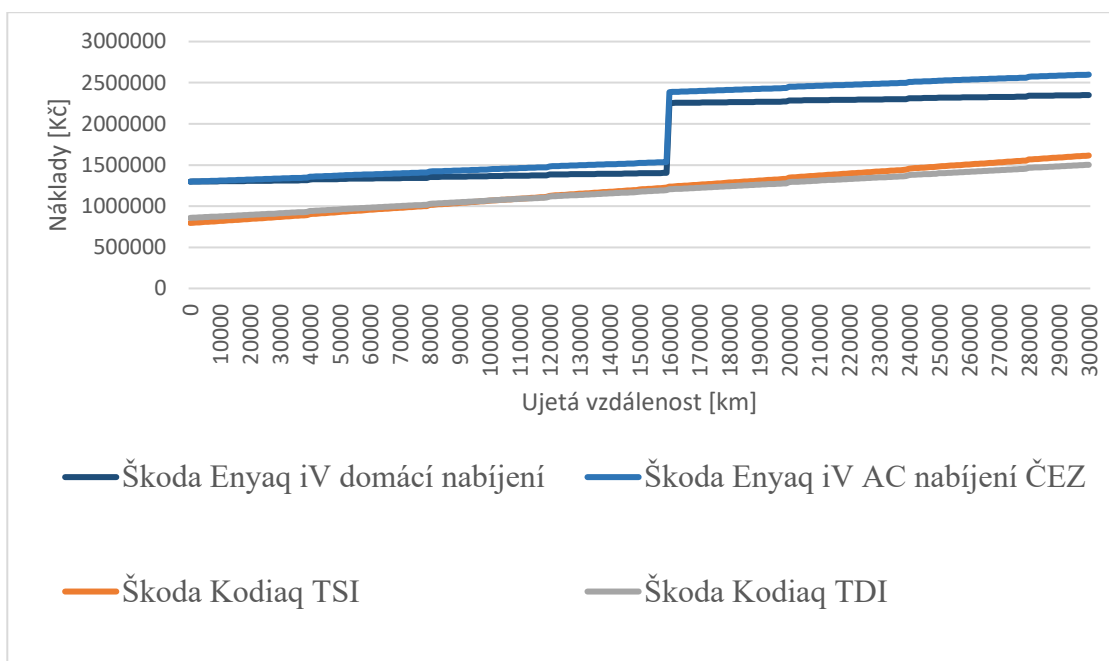
Zdroj: Kawamoto et al. (2019); Autodoc (© 2023); Šidlák (2023).

\*Uvedená cena baterie je odhadovaná cena včetně práce za výměnu.

Během životnosti automobilů budou ve všech vozidlech 7x vyměněny pneumatiky (70 000 Kč) a 5x autobaterie (12 500 Kč). U spalovacích variant proběhne 9x výměna motorového oleje (11 700 Kč) a 12x chladicí kapaliny (1 800 Kč). Nejnákladnější výměnou bude výměna baterie ve Škodě Enyaq (840 000 Kč).

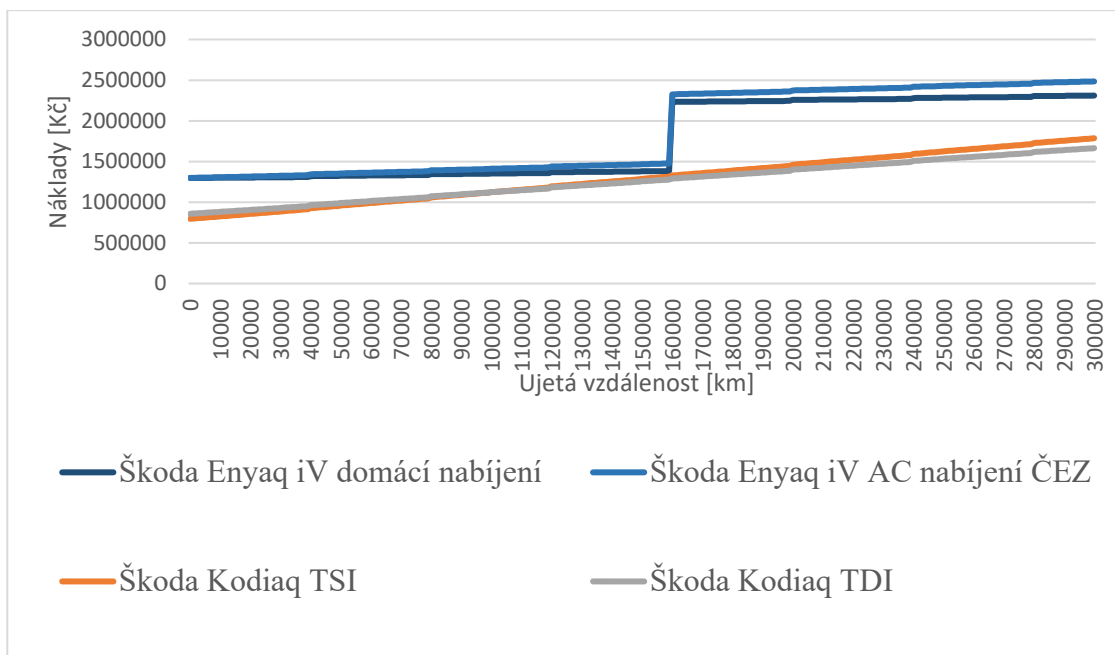
I když je Škoda Kodiaq TSI nejlevnějším vozidlem ve srovnání, tak při delším nájezdu kilometrů přestává být tato výhoda důležitá. Už při ujetí 105 381 km vychází lépe Škoda

Kodiaq TDI. Škoda Enyaq se v životním cyklu nestane ekonomicky výhodnější z důvodu velmi vysoké ceny baterie. Enyaq by byl výhodnější pouze v případě, že by vydržel celý životní cyklus s jedinou baterií. Životnost baterie 160 000 km je pouze minimální životnost, kterou Škoda Auto garantuje, reality může být daleko vyšší. Detailní průběh nákladů při kombinované spotřebě je vyobrazen na obrázku 14.



**Obrázek 14** Náklady v průběhu životního cyklu – kombinovaná spotřeba (autor)

Ani při kalkulaci s městskou spotřebou se nedokáže Škoda Enyaq finančně vyrovnat spalovacím Kodiaqům. Škoda Kodiaq TDI se stává oproti Škodě Kodiaq TSI finančně výhodnější po ujetí 100 198,33 km. Detailní průběh nákladů při jízdě ve městě je vyobrazen na obrázku 15.



**Obrázek 15** Náklady v průběhu životního cyklu – městská spotřeba (autor)

## 2.4 SWOT analýza

Pro komplexní porovnání výhod a nevýhod je použita SWOT analýza. Pro zážehový a vznětový motor se autor rozhodl vypracovat společnou SWOT analýzu z důvodu podobného závěru samostatných analýz.

### 2.4.1 SWOT analýza spalovacích pohonů

Mezi silné stránky patří:

- vysoká technická vyspělost spalovacích motorů,
- rozšíření jednotlivých pohonů,
- hojně rozvinutá infrastruktura čerpacích stanic,
- rychlost natankování plné nádrže,
- vysoký dojezd na plnou nádrž,
- relativně nízké výrobní emise,
- nízká cena pořízení,
- vyšší ekologičnost při nízkém nájezdu.

Mezi slabé stránky patří:

- závislost na neobnovitelných zdrojích,
- vyšší náklady na pohonné hmoty,
- vyšší emise při jízdě v městském provozu,
- nízká účinnost spalovacího motoru.

Mezi příležitosti patří:

- zvýšená poptávka po levné motorizaci v zemích třetího světa,
- nalezení nových ropných ložisek.

Mezi hrozby patří:

- výpadky dodávek ropy,
- zdražení pohonných hmot,
- společenský trend snižování emisí,
- zpřísnující se Euro normy,
- přijetí fit for 55.

#### 2.4.2 SWOT analýza elektrického pohonu

Mezi silné stránky patří:

- žádné jízdní emise,
- nízké náklady na elektrickou energii,
- vysoká účinnost,
- jiné poskytované výhody (osvobození od dálničního poplatku...),
- s rostoucím nájezdem se zvyšuje jejich ekologičnost.

Mezi slabé stránky patří:

- rychlost dobíjení baterie,
- menší síť dobíjecích stanic,
- nutná úprava pro rychlejší domácí nabíjení,
- nízký dojezd,
- ekologická náročnost výroby a likvidace baterie,
- závislost na energetickém mixu,
- vysoká cena zařízení.

Mezi příležitosti patří:

- snižování emisí z výroby baterie,
- vývoj nových baterií s lepšími vlastnostmi,
- využití čistých zdrojů energie,
- změna v preferenci občanů,
- možnost čerpání dotací.

Mezi hrozby patří:

- nalezení lepšího alternativního pohonu,



- přetížitelnost elektrické distribuční sítě,
- zdražení elektrické energie,
- nedostatek surovin pro výrobu baterií.

### 3 NÁVRHY NA VYUŽITÍ VYBRANÝCH DRUHŮ POHONŮ VOZIDEL V OSOBNÍ SILNIČNÍ DOPRAVĚ

Tato kapitola se zabývá navrhováním možného využití jednotlivých pohonů na základě výsledků zjištěných v kapitole 2. Indukční metodou jsou dosažené výsledky zobecněny, z důvodu velmi podobných závěrů platných pro porovnání pohonů obecně.

#### 3.1 Spalovací automobily

Spalovací automobily prokázaly lepší ekonomickou výhodnost než elektromobily a celkově lepší vlastnosti při nízkém nájezdu. Jako nevhodné se ukázaly pro použití v městském provozu, kde nadměrně znečišťují ovzduší exhalacemi CO<sub>2</sub>. Špatné statistiky vykázala zejména zážehová varianta Škody Kodiaq TSI. Více podrobností o zážehovém pohonu se nachází na obrázku 16.



**Obrázek 16** Karta zážehového pohonu (autor; Istockphoto LP, © 2023)

Při porovnávání zážehového a vznětového pohonu mezi sebou při nájezdu 300 000 km, vychází lépe vznětový pohon, jelikož je méně nákladný a zároveň více ekologický. Více informací o vznětovém pohonu se nachází na obrázku 17.



**Obrázek 17** Karta vznětového pohonu (autor; Istockphoto LP, © 2023)

Vzhledem k výsledku SWOT analýzy doporučuje autor pro spalovací automobily volbu strategie “konfrontace“. U Spalovacích automobilů by se mělo využívat jejich silných stránek v podobě dlouhého dojezdu, rozšířenosti a nízké ceny a tím se snažit odvrátit hrozby v podobě plánovaných plošných zakazů spalovacích automobilů.

Ideální využití spalovacích motorů je na občasnou jízdu v mimoměstském provozu. Další možný způsob jízdy se spalovacími automobily je na delší trasy, které by dělaly problém elektromobilům vzhledem k omezenému dojezdu. Výhodnější je také používat spalovací pohon při jízdě do zemí se špatným energetickým mixem, kde by nebylo nabíjení elektromobilu tolik ekologické. Jedna ze zemí se špatným energetickým mixem je Polsko.

Jako logický krok zároveň vidí autor v lokálních zakazech vjezdu spalovacích automobilů do center měst namísto plošného zákazu aut se spalovacími motory. Postupné zvyšování spotřební daně z pohonných hmot by mohlo nenásilnou formou přesvědčit řidiče

o výhodnosti elektromobilů. Zároveň by zvýšení daně alokovalo více peněz na financování elektromobility.

### 3.2 Elektromobily

Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že elektromobily jsou se zvyšujícím se nájedem obecně ekologičtější než automobily se spalovacími motory. K významnému rozdílu v efektivnosti elektromobilu dochází mezi jízdou v kombinovaném a městském provozu. Elektromobily mají nižší městskou spotřebu než kombinovanou, což je opačný jev než u spalovacích automobilů. V neprospěch elektromobilu hovoří analýza porovnávající nákladnost pohonů. Elektromobilita je výrazně dražší zejména kvůli ceně pořízení baterie. Více informací o elektrickém pohonu se nachází na obrázku 18.



**Obrázek 18** Karta elektrického pohonu (autor; Istockphoto LP, © 2023)

Vzhledem k výsledku SWOT analýzy doporučuje autor pro elektromobily volbu strategie “hledání“. Výrobci elektromobilů by se měli zaměřit na minimalizování slabých stránek v podobě vysoké ceny baterie, malého dojezdu a vysoké ekologické zátěže z výroby

a díky tomu využít příležitosti v podobě rozšíření mezi občany a zajištění většího podílu ve vozovém parku ČR.

V nynější situaci je elektromobil nejvhodnější pro použití v městském provozu s vysokým počtem denně najetých kilometrů. Těmto parametrům nejlépe odpovídají vozidla sloužící k obstarávání city logistiky. Jako příklad lze uvést vozidla zajišťující zásobování (rozvozové a kurýrní služby) a vozidla zajišťující taxi služby na území města. Tyto typy vozidel mohou zároveň využít městskou dobíjecí infrastrukturu k dobíjení v období, kdy u nich nedochází k žádným jízdám. Použitím bezemisních vozidel v městských oblastech by se lokálně zlepšilo životní prostředí a úroveň smogu.

Dále analýza odhalila skutečnost, že provozní emise elektromobilu jsou úzce závislé na emisích z výroby elektrické energie, z toho vyplývá, že pokud je elektromobil nabíjen výhradně z obnovitelných zdrojů elektrické energie, stává se jeho provoz bezemisní. Když dokáže společnost nebo občan zajistit odběr elektrické energie z vlastního obnovitelného zdroje, tak elektromobil dokáže vyrovnat celkové emise mnohem rychleji než za použití českého energetického mixu. Z pohledu autora není momentální stav elektromobilů pro občany příliš atraktivní pro přechod ze spalovacích automobilů.

Motivací k nákupu elektromobilů jsou dotační programy, které snižují jejich hlavní slabou stránku v podobě vysoké ceny. Dotace však mohou momentálně čerpat pouze veřejné subjekty. S ohledem na ekologičnost při vyšším nájezdu by byl logický krok poskytovat dotace společností a jednotlivcům na základě doloženého dojezdu. Dále by mohl stát dotovat sazby elektrické energie určené k dobíjení elektromobilu, což by mohlo stimulovat řidiče k nákupu elektromobilů a k vyšším nájezdům s nimi. Stát by se měl také podílet na výstavbě dobíjecí infrastruktury, aby nenastaly problémy při nabíjení většího počtu automobilů. Energetický průmysl v ČR by měl inklinovat k co nejšetrnějším zdrojům elektrické energie k zajištění ekologické výhodnosti elektromobilů. Výrobci automobilů by měli investovat do vývoje souvisejícího s bateriemi elektromobilů. Nenucenému přechodu společnosti na elektromobily by pomohlo zejména snížení ceny baterie a zvýšení její kapacity.

Výsledky bakalářské práce, poukázaly na fakt, že žádný porovnávaný pohon není univerzálně nejlepší. Autor vidí prozatím největší potenciál v hybridních pohonech, které dokáží efektivně kombinovat výhody jednotlivých pohonů.

## ZÁVĚR

Výběr pohonu je důležitým krokem proto, aby se zvýšila ekologičnost osobní silniční dopravy a zároveň udržel pokrok, protože doprava se promítá do spousty jiných odvětví. S ohledem na splnění cíle práce a zachování logické struktury byla práce rozdělena do třech hlavních kapitol.

V rámci první kapitoly byla teoreticky vymezena problematika pohonů osobních vozidel. Byly zde popsány jejich specifika a stručná historie. Byl zde vysvětlen pojem emise CO<sub>2</sub>, který úzce souvisí s automobilovou dopravou.

V rámci druhé kapitoly byla provedena ekologická a ekonomická analýza. Následně byla provedena i SWOT analýza, která pomohla se zorientováním ve výsledcích předchozích analýz. Hlavním poznatkem bylo, že elektromobil je efektivnější v městském provozu. Zároveň bylo zjištěno, že elektromobil je v průběhu určeného životního cyklu dražší než automobily se spalovacími motory.

Proto byla v poslední části navržena taková využití elektromobilů, aby se maximalizoval jejich potenciál, tedy jízda v městském provozu. Zároveň bylo navrženo, jakým způsobem podpořit nákup elektromobilů, aby se staly cenově dostupnější, a mohly tak lépe konkurovat konvenčním automobilům.

Cílem bakalářské práce bylo, na základě analýzy vybraných druhů pohonů vozidel v osobní silniční dopravě, přispět k většímu porozumění výhod a nevýhod jednotlivých druhů pohonů vozidel a navrhnout doporučení v závislosti na konkrétních situacích.

## POUŽITÁ LITERATURA

ARMENTA-DÉU, Carlos a Hernán CORTÉS. *Analysis of Kinetic Energy Recovery Systems in Electric Vehicles* [online]. 29 mars 2023. [cit. 2023-04-28] DOI 10.3390/vehicles5020022. Dostupné na adrese: <http://dx.doi.org/10.3390/vehicles5020022>

AUTODOC, © 2023. *AUTODOC - online obchod s autodily s více než 4 miliony autodílů* [online]. Autodoc [cit. 2023-04-28]. Dostupné na adrese: <https://www.autodoc.cz/>

AUTOVRAKOVIŠTĚ MORAVA, [2023]. Ekologická likvidace vozidel zdarma. *Autovrakoviště Morava* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.autovrakovistemorava.cz/ekologicka-likvidace-vozidel.html>

BUREŠ, David, 2019. Víte, že se Tatra snažila předběhnout dobu? Tatraplanem s naftovým motorem!. In: CZECH NEWS CENTER. *Auto.cz* [online]. Praha: 17. 3. 2019 [cit. 2022-11-09]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/vite-ze-se-tatra-snazila-predbehnout-dobu-tatraplanem-s-naftovym-motorem-128308>

BUREŠ, David, 2020. Škoda 105 Turbo Diesel: V Mladé Boleslavi měli naftu dávno před 1.9 TDI. In: CZECH NEWS CENTER. *Auto.cz* [online]. Praha: 5. 5. 2020 [cit. 2023.04.25]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/skoda-105-turbo-diesel-v-mlade-boleslavi-meli-naftu-davno-pred-1-9-tdi-134315>

CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, 2020. Postoje firem a řidičů k elektromobilitě v ČR. *Centrum dopravního výzkumu*. [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/priloha-postoje-firem-a-ridicu-k-elektromobilite-v-cr/>

CONSILIUM.EUROPA.EU, 2022. Infografika – „Fit for 55“: Proč EU zpřísňuje standardy pro emise CO<sub>2</sub> u osobních automobilů a dodávek?. *Consilium.europa.eu* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/infographics/fit-for-55-emissions-cars-and-vans/>

CONSILIUM.EUROPA.EU, 2023. Infografika – „Fit for 55“: Proč EU zpřísňuje standardy pro emise CO<sub>2</sub> u osobních automobilů a dodávek?. *Consilium.europa.eu* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12313-Evropske-emisni-normy-pro-vozidla-Euro-7-pro-osobni-automobily-dodavky-nakladni-automobily-a-autobusy\\_cs](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12313-Evropske-emisni-normy-pro-vozidla-Euro-7-pro-osobni-automobily-dodavky-nakladni-automobily-a-autobusy_cs)

ČERVENKA, Jiří, 2014. Třídní boj: Jak se dělí auta do tříd. In: *CZECH NEWS CENTER AutoRevue.cz: Auta, testy, novinky, fotografie* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 12. června 2014 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/tridni-boj-jak-se-deli-auta-do-trid>

ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA, 2023. Kurzy devizového trhu. *Česká národní banka* [online]. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/>

ČESKO, 2021. *Vyhláška č. 345/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s vozidly s ukončenou životností* [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-345/zneni-20230101>

ČESKO, 2022a. *Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56#p7b>

- ČESKO, 2022b. *Zákon č. 235/2004 Sb., o dani z přidané hodnoty*. [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-235#f2549354>
- ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, 2023. Šetření průměrných cen vybraných výrobků: pohonné hmoty a topné oleje: časové řady. *Český statistický úřad* [online] [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/setreni-prumernych-cen-vybranych-vyrobků-pohonne-hmoty-a-topne-oleje-casove-rady>
- ČSN EN 228+A1, 2018. *Motorová paliva - Bezolovnaté automobilové benziny - Technické požadavky a metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Třídící znak 65 6505.
- ČSN EN 590, 2022. *Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení*. Třídící znak 656506.
- DVOŘÁK, Tomáš, 2022. Energetická krize a její příčiny, projevy a možnosti řešení. In: *EPRAVO.CZ: Váš průvodce právem – Sbirka zákonů, judikatura, právo* [online]. Praha: EPRAVO.CZ, 12. 10. 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/top/aktualne/energeticka-krize-a-jeji-priciny-projevy-a-moznosti-reseni-115367.html>
- E.ON DRIVE, © 2023. Pro řidiče: E.ON Drive. *E.ON Drive* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.eon-drive.cz/pro-ridice/#pricelist>
- EMILSSON, Erik a Lisbeth DAHLLÖF. Lithium-Ion Vehicle Battery Production: Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling [online]. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute, listopad 2019 [cit. 2023-04-05]. ISBN 978-91-7883-112-8. Dostupné z: <https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3faf9/1591706083170/C444.pdf>
- ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD (ERÚ), 2022. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za rok 2021* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, 21. 6. 2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/rocní-zpráva-o-provozu-elektrizacní-soustavy-cr-pro-rok-2021>
- ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD (ERÚ), 2023. Průměrná tržní cena povolenky na emise skleníkových plynů za rok 2022. *Energetický regulační úřad: eru.cz* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/utvary/oddeleni-regulace-teplarenstvi?page=2>
- ERBE, Carolin. Kosten für E-Autos: Ladeverluste nicht vergessen. In: *ADAC Presse* [online]. München: ADAC Presse, 22. 07. 2020 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/technik/ladeverlust.html>
- EU, 1991. *Směrnice Rady 91/441/EHS ze dne 26. června 1991, kterou se mění směrnice 70/220/EHS o sbližování právních předpisů členských států týkajících se opatření proti znečištění ovzduší emisemi z motorových vozidel* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné také z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31991L0441>
- EU, 1994. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 94/12/ES ze dne 23. března 1994 o opatřeních proti znečištění ovzduší emisemi z motorových vozidel a o změně směrnice 70/220/EHS* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné také z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31994L0012>
- EU, 1998. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/69/ES ze dne 13. října 1998 o opatřeních proti znečištění ovzduší emisemi z motorových vozidel a o změně směrnice 70/220/EHS* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=celex:31998L0069>



EU, 2020. *Nariadení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 ze dne 20. června 2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla.* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2007/715/2020-09-01>

EU, 2021a. *Nariadení Komise (EU) 2018/1832 ze dne 5. listopadu 2018, kterým se mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) 2017/1151 za účelem zlepšení zkoušek a postupů schválení typu z hlediska emisí pro lehká osobní vozidla a užitková vozidla, včetně zkoušek a postupů týkajících se shodnosti v provozu a emisí v reálném provozu, a za účelem zavedení zařízení pro monitorování spotřeby paliva a elektrické energie* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0631-20211202>

EU, 2021b. *Nariadení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/631 ze dne 17. dubna 2019, kterým se stanoví výkonnostní normy pro emise CO<sub>2</sub> pro nové osobní automobily a pro nová lehká užitková vozidla a kterým se zrušují nařízení (ES) č. 443/2009 a (EU) č. 510/2011.* [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0631-20211202>

EU, 2022. *Nariadení Komise (EU) č. 1230/2012 ze dne 12. prosince 2012, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 661/2009, pokud jde o požadavky pro schvalování typu motorových vozidel a jejich přípojných vozidel týkající se jejich hmotností a rozměrů, a mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES Text s významem pro EHP* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32012R1230>

FORD CZ, 2022. Příběh Henryho Forda: Ford CZ. *Ford cz* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.ford.cz/svet-fordu/henry-ford>

FUTUREGO SKUPINA ČEZ, © 2023. Smlouvy, ceník a opse: Futurego.cz. *Futurego skupina ČEZ* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.futurego.cz/cs/smlouvy-cenik-a-opse>

GENERALI ČESKÁ POJIŠŤOVNA, 2021. Průzkum: elektromobil si plánuje pořídit třetina Čechů. Ženy kvůli ekologii, muži oceňují výkon a finanční výhody. *Generali Česká pojišťovna* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.generaliceska.cz/-/pruzkum-elektromobil-si-planuje-poridit-tretina-cechu-zeny-kvuli-ekologii-muzi-ocenuji-vykon-a-financni-vyhody->

GRASSEOVÁ, Monika, Radek DUBEC a David ŘEHÁK, 2010. *Analýza v rukou manažera: 33 nejpoužívanějších metod strategického řízení.* Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-2621-9.

HORA, Michal, © 2022. Vyznejte se v nabíjení elektromobilů. In: *Škoda Storyboard* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto Česká republika [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/vyznejte-se-v-nabijeni-elektromobilu/>

HROMÁDKO, Jan, 2012. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol.* Praha: Grada. ISBN 978-80-2474-455-1.

HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Vladimír HÖNIG a Petr MILER, 2011. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol.* Praha: Grada. ISBN 978-80-2473-475-0.

- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2001: Synthesis Report*. [online] Cambridge: THE PRESS SYNDICATE OF THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, ISBN 0 521 80770 0. Dostupné také z: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf)
- ISTOCKPHOTO LP, © 2023. *ISTOCK* [online]. Alberta: iStockphoto LP [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.istockphoto.com/>
- JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ, 2011. *Výkladový automobilový slovník*. 4., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-3725-3.
- JILEK, Petr a Jan POKORNÝ, 2013. *Úvod do spalovacích motorů*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-743-8.
- JUNGMEIER, Gefried, Lorenza Canella a Stephan Schwarzingler, 2023. *Estimated Greenhouse Gas Emissions and Primary Energy Demand of Passenger Vehicles – 2nd edition: Life Cycle Assessment Methodology and Data*, 2023. [online]. Green NCAP, March 2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: [https://www.greenncap.com/wp-content/uploads/Green-NCAP-Life-Cycle-Assessment-Methodology-and-Data\\_2nd-edition.pdf](https://www.greenncap.com/wp-content/uploads/Green-NCAP-Life-Cycle-Assessment-Methodology-and-Data_2nd-edition.pdf)
- KAWAMOTO, Ryuji, Mochizuki H, Moriguchi Y, Nakano T, Motohashi M, Sakai Y, Inaba A, 2019. *Estimation of CO<sub>2</sub> Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA*. [online]. Tokyo: School of Advanced Engineering, Kogakuin University, 11. 5. 2019 [cit. 2023-04-09] Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2690>
- KOLÁŘOVÁ, Růžena a Jiří BOHUNĚK, 2021. *Fyzika pro 8. ročník základní školy*. 2. vydání. Praha: Prometheus. Učebnice pro základní školy (Prometheus). ISBN 978-80-7196-498-8.
- KURZY.CZ, © 2000–2023. *Elektrina: ceny a grafy elektřiny, vývoj ceny elektřiny 1 kWh*. [online]. [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektřiny-graf-vyvoje-ceny/1kWh-czk-30-let>
- MASNADI, Mohammad S., Hassan M. EL-HOUJEIRI, Dominik SCHUNACK, et al., 2018. Global carbon intensity of crude oil production. *Science* [online]. 361(6405) [cit. 2023-04-09]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aar6859>
- MATĚJOVSKÝ, Vladimír, 2005. *Automobilová paliva*. Praha: Grada. ISBN 80-2470-350-5.
- MERCEDES BENZ, 2023. Legend 3: Mercedes-Benz 260 D Pullman sedan. *Mercedes Benz* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/art-and-culture/museum/mercedes-benz-260-d-pullman-sedan/>
- MERO ČR, © 2023. *Mero.cz: Jediný přepravce ropy do České republiky* [online]. Mero ČR [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://mero.cz/>
- MINISTERSTVO DOPRAVY. *Ročenka dopravy České republiky 2021* [online]. Zlín: Ministerstvo dopravy, 2022, [cit. 2022-10-31]. ISSN 1801-3090. Dostupné z: [https://www.sydos.cz/cs/rocenka\\_pdf/Rocenka\\_dopravy\\_2021.pdf](https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2021.pdf)
- MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR, 2023. IROP: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR: Čistá a aktivní mobilita. *Ministerstvo pro místní rozvoj ČR* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://irop.mmr.cz/cs/irop-2021-2027/temata/cista-a-aktivni-mobilita>

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2019. NÍZKOUHLÍKOVÉ TECHNOLOGIE: Elektromobilita: V. výzva. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online] [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2019/nizkohlukove-technologie---elektromobilita--v--vyzva--251085/>

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2022. Statistika dovozu ropy do ČR. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online] [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/ropa-ropne-produkty/statistika-dovozu-ropy-do-cr--259953/>

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2023. Seznam veřejných dobíjecích stanic: stav k 31. 12. 2022. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online] [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/statistika-a-evidence-cerpacich-a-dobijecich-panic/seznam-verejnych-dobijecich-panic--stav-k-31--12--2022--271957/>

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Statistická ročenka životního prostředí České republiky [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2022 [cit. 2022-10-31]. ISBN 978-80-7674-057-0. Dostupné z: [https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2023/01/Statisticka\\_Rocenka\\_ZP\\_CR\\_2021.pdf](https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2023/01/Statisticka_Rocenka_ZP_CR_2021.pdf)

NÁRODNÍ PROGRAM ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2022. Detail výzvy: NPŽP. *Národní program Životní prostředí* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.narodniprogramzp.cz/nabidka-dotaci/detail-vyzvy/?id=108>

PREMOBILITA, © 2022. Ceník dobíjení na Prepoint: PREmobilita. *PREmobilita* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/dobijeni-na-prepoint/chci-dobijet-na-prepoint/chci-dobijet-pravidelne/cenik-dobijeni/>

PRUSSI, Matteo, Marta YUGO, Monica PADELLA, Robert EDWARDS a Laura LONZA. *JEC Well-to-Tank report v5* [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020-09-23 [cit. 2023-04-03]. ISBN 978-92-76-19926-7. EUR 30269 EN. Dostupné z: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119036>

ROMARE, Mia a Lisbeth DAHLLÖF. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries: a Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles [online]. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute, květen 2017 [cit. 2023-04-05]. ISBN 978-91-88319-60-9. Dostupné z: <https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3fa2f1591705755278/C243.pdf>

RUDSCHIES, Wolfgang. Verbrauch laut Bordcomputer: Exakt bis voll daneben. In: *ADAC: Allgemeiner Deutscher Automobil-Club* [online]. München: ADAC, 21. 07. 2020 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/autotest/bordcomputer-verbrauchswerte/>

SCHLOEMER, S, Bruckner, T, Fulton, L, Hertwich, E, McKinnon, A, Perczyk, D, Roy, J, Schaeffer, R, Sims, R, Smith, P & Wisser, R, 2014, Annex III: Technology-specific cost and performance parameters In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [online] Cambridge University Press [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_annex-iii.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf)

SLOVENSKO, 2023. *Zákon č. 222/2004 Z. z., o dani z pridanej hodnoty*. [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné také z: <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2004-222/znenie-20230401#p27>

- STAFFELL, Lain, 2011. *The Energy and Fuel Data Sheet* [online]. University of Birmingham, March 2011 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://www.claverton-energy.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/08/the\\_energy\\_and\\_fuel\\_data\\_sheet1.pdf](https://www.claverton-energy.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/08/the_energy_and_fuel_data_sheet1.pdf)
- STODOLA, Jiří, 2009. *Provoz, údržba a opravy vozidel I*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-103-0.
- STRUBE, Christian, 2020. Seznamte se s MEB, základem modelu ENYAQ iV. In. *Škoda Storyboard* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto Česká republika, 8. 10. 2020 [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: [https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/?fbclid=IwAR0oqt2BwC4mu0ramsQP6qe0OzFZKh7a5ErfGwBSS4cpn3veg\\_3rSk5T0j0](https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/?fbclid=IwAR0oqt2BwC4mu0ramsQP6qe0OzFZKh7a5ErfGwBSS4cpn3veg_3rSk5T0j0)
- SVAZ DOVOZCŮ AUTOMOBILŮ (SDA), 2023a. Přehled obchodních tříd 2021–2023. *SDA* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://portal.sda-cia.cz/clanek.php?id=4000>
- SVAZ DOVOZCŮ AUTOMOBILŮ (SDA), 2023b. Registrace nových OA v ČR dle obchodních tříd 12/2022 a 1-12/2022. *SDA* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://portal.sda-cia.cz/stat.php?n#rok=2022&mesic=12&kat=OA&vyb=seg&upr=podiltrid&obd=m&jine=false&lang=CZ&str=nova>
- SVAZ PRŮMYSLU a DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. *DAŇOVÉ OTÁZKY ELEKTROMOBILITY: AKTUALIZOVANÉ VYDÁNÍ PROSINEC 2021*. [online]. Praha: Svaz průmyslu a dopravy České republiky, prosinec 2021, [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://www.mfcr.cz/assets/cs/media/2021-12\\_Danove-otazky-elektromobility-SPCR.pdf#page=22&zoom=100,72,73](https://www.mfcr.cz/assets/cs/media/2021-12_Danove-otazky-elektromobility-SPCR.pdf#page=22&zoom=100,72,73)
- ŠIDLÁK, Martin, 2023. Kolik stojí výměna baterie v modelu škoda Enyaq? In: *E-flotila.cz* [online]. [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.e-flotila.cz/2023/03/27/kolik-stoji-vymena-baterie-v-modelu-skoda-enyaq/>
- ŠKAPA, Petr, 2003. *Doprava a životní prostředí I*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. ISBN 8024804336.
- ŠKODA AUTO ČESKÁ REPUBLIKA, 2023a. Enyaq iV. *Škoda Auto Česká republika*. [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq-iv>
- ŠKODA AUTO ČESKÁ REPUBLIKA, 2023b. *Výroční zpráva 2022* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto Česká republika, 2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/vyrocní-zpravy/>
- ŠKODA AUTO ČESKÁ REPUBLIKA, 2023c. Konfigurator modelů: SVK. *Škoda Auto Česká republika* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://cc.skoda-auto.com/svk/sk-sk/>
- ŠKODA AUTO ČESKÁ REPUBLIKA. *Servisní intervaly: ŠKODA KODIAQ* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto Česká republika, 1. 5. 2017 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://www.skoda-auto.cz/\\_doc/12df8bd2-613e-40de-8068-2ae38dc24690](https://www.skoda-auto.cz/_doc/12df8bd2-613e-40de-8068-2ae38dc24690)
- ŠTĚPÁN, Petr a Luděk DUŠEK. *Zpráva o aktualizaci a stavu Evidence čerpacích stanic pohonných hmot v ČR k 2. 5. 2022* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, květen 2022 [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/media/1712/zprava-o-aktualizaci-a-stavu-evidence-cerpacich-stanic-pohonnnych-hmot-v-cr-k-2-5-2022.pdf>

- THE WORLD BANK GROUP, © 2023. Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR): What is Gas Flaring?. [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction>
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2005. *Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel* [online]. Washington DC: U. S. Environmental Protection Agency, february 2005 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/docs/ML1204/ML120440122.pdf>
- VLK, František, 2003. *Automobilová technická příručka*. Brno: František Vlk. ISBN 80-238-9681-4.
- VLK, František, 2004. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-1602-5.
- VOLKSWAGEN AG, 2022. *The Volkswagen Group Sustainability Report 2021* [online]. Hannover, March 11, 2022 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: [https://www.volkswagenag.com/presence/nachhaltigkeit/documents/sustainability-report/2021/Nonfinancial\\_Report\\_2021\\_e.pdf](https://www.volkswagenag.com/presence/nachhaltigkeit/documents/sustainability-report/2021/Nonfinancial_Report_2021_e.pdf)
- VOMÁČKA, Petr. Kdo je největším výrobcem baterií pro elektromobily na světě?. In: 24net. *Fdrive.cz* [online]. Praha: 24net, 07. 10. 2022 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/kdo-je-nejvetsim-vyrobce-baterii-pro-elektromobily-na-svete-9663>

## SEZNAM TABULEK

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Tabulka 1</b>  | Využívané koncepce elektromotorů.....   | 11 |
| <b>Tabulka 2</b>  | Vývoj mezních hodnot emisí látek u zážehových motorů dle norem Euro .....     | 20 |
| <b>Tabulka 3</b>  | Vývoj mezních hodnot emisí látek u vznětových motorů dle norem Euro.....      | 20 |
| <b>Tabulka 4</b>  | Srovnání cen dobíjení u vybraných poskytovatelů .....                         | 24 |
| <b>Tabulka 5</b>  | Parametry porovnávaných modelů.....   | 28 |
| <b>Tabulka 6</b>  | Výčet materiálů potřebných pro výrobu automobilu a jejich emisní faktor ..... | 29 |
| <b>Tabulka 7</b>  | Hmotnost materiálů použitých v automobilech .....                             | 30 |
| <b>Tabulka 8</b>  | Ekologická náročnost těžby ropy .....   | 33 |
| <b>Tabulka 9</b>  | Ekologická náročnost výroby elektrické energie .....                          | 35 |
| <b>Tabulka 10</b> | Přehled vyměňovaných součástí v rámci údržby vozidla .....                    | 40 |
| <b>Tabulka 11</b> | Emise v celém životním cyklu vozidel – kombinovaná spotřeba.....              | 41 |
| <b>Tabulka 12</b> | Emise v celém životním cyklu vozidel – městská spotřeba.....                  | 41 |
| <b>Tabulka 13</b> | Přehled vyměňovaných položek v rámci údržby vozidla .....                     | 45 |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Obrázek 1</b>  | Počet registrovaných vozidel v ČR dle registru vozidel .....                    | 13 |
| <b>Obrázek 2</b>  | Vývoj emisí CO <sub>2</sub> z dopravy .....                                     | 14 |
| <b>Obrázek 3</b>  | Studie použité pro IVL 2019.....  | 16 |
| <b>Obrázek 4</b>  | Schéma Well-to-Wheel analýzy.....   | 17 |
| <b>Obrázek 5</b>  | Energetický mix ČR 2021 .....   | 18 |
| <b>Obrázek 6</b>  | Vývoj cen paliv a elektrické energie v období od 2. 1. 2018 do 23. 1. 2023..... | 24 |
| <b>Obrázek 7</b>  | Emise na začátku životního cyklu výroba automobilu + výroba baterie .....       | 32 |
| <b>Obrázek 8</b>  | Emise na 1 km jízdy – Well-to-Wheel.....  | 39 |
| <b>Obrázek 9</b>  | Emise v průběhu životního cyklu – kombinovaná spotřeba .....                    | 42 |
| <b>Obrázek 10</b> | Emise v průběhu životního cyklu – městská spotřeba .....                        | 42 |
| <b>Obrázek 11</b> | Ceny pořízení automobilů .....  | 43 |
| <b>Obrázek 12</b> | Náklady na jeden km jízdy – kombinovaná spotřeba .....                          | 44 |
| <b>Obrázek 13</b> | Náklady na jeden km jízdy – městská spotřeba .....                              | 45 |
| <b>Obrázek 14</b> | Náklady v průběhu životního cyklu – kombinovaná spotřeba.....                   | 46 |
| <b>Obrázek 15</b> | Náklady v průběhu životního cyklu – městská spotřeba.....                       | 47 |
| <b>Obrázek 16</b> | Karta zážehového pohonu .....   | 50 |
| <b>Obrázek 17</b> | Karta vznětového pohonu .....   | 51 |
| <b>Obrázek 18</b> | Karta elektrického pohonu .....   | 52 |

## SEZNAM ZKRATEK

|                 |  |
|-----------------|--|
| AC              | Střídavý proud   |
| AZNP            | Automobilový závod národní podnik  |
| CNG             | Stlačený zemní plyn  |
| CO              | Oxid uhelnatý  |
| CO <sub>2</sub> | Oxid uhličitý  |
| ČR              | Česká republika  |
| DC              | Stejnoseměrný proud  |
| DPH             | Daň z přidané hodnoty  |
| DSG             | Direct shift gearbox<br>Automatická převodovka   |
| EU              | Evropská unie  |
| GWP             | Global warming potencial<br>Potenciál globálního oteplování  |
| HC              | Uhlovodíky   |
| IKL             | Ropovod Ingolstadt – Kralupy nad Vltavou – Litvínov  |
| IVL             | Švédský institut pro výzkum životního prostředí  |
| LPG             | Zkapalněný ropný plyn  |
| NH <sub>3</sub> | Amoniak  |
| NMHC            | Nemetanové uhlovodíky  |
| NO <sub>x</sub> | Oxidy dusíku   |
| OČVM            | Oktanové číslo výzkumnou metodou   |
| OSN             | Organizace spojených národů  |
| SUV             | Sport utility vehicle<br>Sportovní užitkové vozidlo  |
| TAL             | Transalpský ropovod  |
| USA             | Spojené státy americké   |
| WLTP            | Worldwide harmonized light vehicle test procedure<br>Celosvětově odsouhlasený testovací standard měření pro lehká užitková vozidla |