



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Perspektivní pohony motorových vozidel

Perspektive drives of motor vehicles

DIPLOMOVÁ PRÁCE
2023

Andrey FILIN

Studijní program: Dopravní a transportní technika
Studijní obor: Motorová vozidla
Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Filin** Jméno: **Andrey** Osobní číslo: **452736**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Motorová vozidla**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Perspektivní pohony motorových vozidel

Název diplomové práce anglicky:

Perspective drives of motor vehicles

Pokyny pro vypracování:

Vyhodnoťte současný stav a vývoj alternativních pohonů osobních motorových vozidel. Analyzujte výhody a nevýhody elektrického pohonu, vodíku a syntetických paliv v porovnání s konvenčními pohony využívajícími fosilní paliva. Posuďte vhodnost jednotlivých druhů pohonu podle účelu použití vozidla.

Seznam doporučené literatury:

internetové podklady

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Josef Morkus, CSc. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

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

Datum zadání diplomové práce: **20.10.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **11.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Josef Morkus, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítěk, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Andrey Filin

Název práce: Perspektivní pohony motorových vozidel

Anglický název: Perspektive drives of motor vehicles

Rozsah práce:

59 stran

16 obrázků

7 tabulek

8 grafů

Akademický rok: 2022/2023

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Dopravní a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

Klíčová slova: Alternativní pohony, emise, elektromobil, vodíkové auto, syntetická paliva

Key words: Alternative drives, emissions, electric car, hydrogen car, synthetic fuels



Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá analýzou perspektivních pohonů motorových vozidel, ke kterým patří syntetická paliva, elektromobilita a vodíková auta. Práce vyhodnocuje současný stav a vývoj alternativních pohonů osobních motorových vozidel, analyzuje jejich výhody a nevýhody v porovnání s konvenčními pohony využívajícími fosilní paliva. Velký důraz je kladen na porovnání pohonů z hlediska emisí, které se produkují při výrobě a provozu vozidel.

Abstract

This diploma thesis deals with the analysis of perspective drives of motor vehicles, which include synthetic fuels, electromobility and hydrogen cars. The thesis evaluates the current state and development of alternative drives for passenger motor vehicles, analyzes their advantages and disadvantages in comparison with conventional drives using fossil fuels. Great emphasis is placed on comparing propulsion systems in terms of emissions produced during the production and operation of vehicles.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: “Perspektivní pohony motorových vozidel” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 11.01.2023

.....

(podpis autora)



Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Josefu Morkusovi, CSc. za jeho cenné rady, odborné vedení a vstřícnost při konzultacích a vypracování této diplomové práce.



Obsah

1 Úvod do problematiky	8
1.1 Důvody transformace	8
1.1.1 Znečišťování ovzduší a změna klimatu	9
1.1.2 Závislost na fosilních palivech	13
1.1.3 Euro normy	14
2 Konvenční paliva	15
2.1 Výroba konvenčních paliv	16
2.2 Infrastruktura.....	19
2.3 Výpočet emisí u automobilů s konvenčním pohonem.....	21
2.4 Výhody a nevýhody konvenčních paliv.....	24
2.4.1 Benzin	25
2.4.2 Nafta	26
3 Syntetická paliva	27
4 Elektromobilita	31
4.1 Infrastruktura.....	33
4.2 Trakční baterie.....	33
4.3 Výpočet emisí u elektromobilu.....	35
5 Vodíkový pohon.....	41
5.1 Druhy vodíků.....	43
5.2 Infrastruktura.....	45
5.3 Výpočet emisí vodíkového automobilu	46
6 Porovnání pohonů	50
7 Závěr	52
8 Použitá literatura:	54



1 Úvod do problematiky

Žijeme v době, kdy celý automobilový průmysl zažívá velkou transformaci. Výrobce osobních automobilů se postupně oddalují od klasických spalovacích motorů na fosilní paliva a nahrazují je ekologičtějšími alternativními pohony. Tato diplomová práce se zabývá problematikou alternativních pohonů u osobních a lehkých užitkových vozidel, analyzuje jejich dopady na životní prostředí v porovnání s klasickými spalovacími motory, porovnává různé druhy paliv jak z technického, tak i z uživatelského hlediska a zodpovídá na níže uvedené dotazy:

1. Proč měnit něco, co prošlo dlouholetým vývojem a dobře funguje?
2. Opravdu jsou alternativní pohony tak ekologické, jak se to běžně uvádí?
3. Proč automobily se spalovacími motory nahrazují převážně elektromobily? Existují jiné scénáře vývoje této situace?

Níže je seznam pohonů/paliv, které se považují za možné náhrady současných technologií, na které se primárně zaměříme v této diplomové práci:

- Elektromobil
- Spalovací motor na syntetická paliva
- Vodíkové auto

1.1 Důvody transformace

Vynalez a následný vývoj zážehového a vznětového motoru přinesl lidstvu spoustu výhod a značně ovlivnil vývoj dnešní společnosti. Již přes 100 let spalovací motory pohání miliony vozidel ve všech koutech světa. V dnešní době by se těžko našel člověk, který by o tomto agregátu nevěděl. Zkratka je to neoddělitelná součást našeho života. Současné emisní předpisy se neustále zpřísňují a v roce 2035 by mělo dojít k tomu, že automobilky nebudou moci prodávat vozy, které produkují jakékoliv množství emisí oxidu uhličitého. Prakticky to znamená ukončení prodeje automobilů se spalovacími motory.



Před 10 lety by to bylo zcela nepředstavitelné, dneska je to ale realita, která vyvolala začátek transformace automobilového průmyslu. Existuje jednoznačná odpověď, proč zakazovat a měnit něco, co dobře funguje? – Ne, celá tato problematika je dost komplikovaná a důvodů tohoto rozhodnutí EU je více:

1.1.1 Znečišťování ovzduší a změna klimatu

„Příčinou změny klimatu je s největší pravděpodobností zesilování přirozeného skleníkového efektu atmosféry v důsledku lidské činnosti a nadměrného zvyšování antropogenních emisí skleníkových plynů“ [1]. Spalováním fosilních paliv (uhlí, ropy a zemního plynu) se zvyšuje množství skleníkových plynů v atmosféře. Zesílený skleníkový efekt způsobuje globální oteplování, tím pak dochází k tání ledovců, zvýšení hladin oceánů a extrémnímu suchu v některých oblastech naší planety. Od roku 1850 došlo k nárůstu průměrné globální teploty o 1,11 až 1,14 °C, průměrné evropské teploty o 1,94 až 1,99 °C (v závislosti na použitém datovém zdroji) [2].

Nejvýznamnější skleníkové plyny jsou:

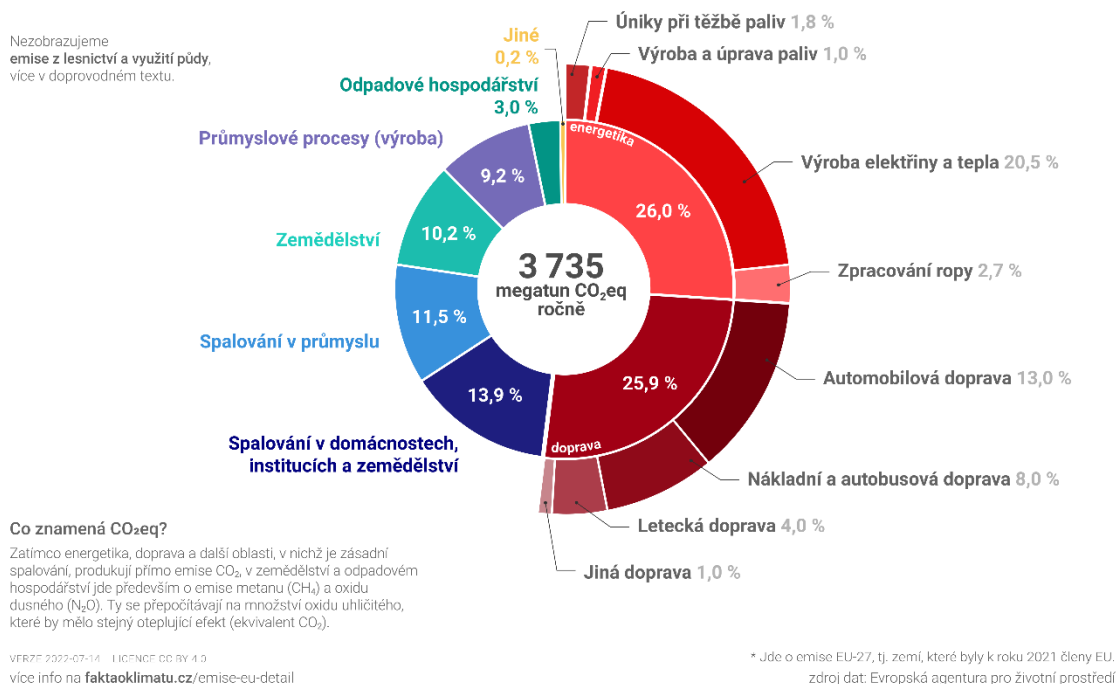
- Oxid uhličitý (CO₂)
- Metan (CH₄)
- Oxid dusný (N₂O)
- Vodní pára



EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V EU PODLE SEKTORŮ DETAILNĚ

Celkové emise EU* za rok 2019

Nezobrazujeme emise z lesnictví a využití půdy, více v doprovodném textu.



Graf 1 – Emise skleníkových plynů v EU podle sektorů za rok 2019 [3].

Z grafu 1 vyplývá, že automobilová doprava v Evropské unii produkuje 25,9 % skleníkových plynů, z toho 13 % patří osobní automobilové dopravě (484,7 megatun CO₂eq ročně) [3]. Pomocí pojmu CO₂ ekvivalent (CO₂eq) se ostatní skleníkové plyny přepočítávají na množství oxidu uhličitého, které by mělo stejný oteplovací efekt.

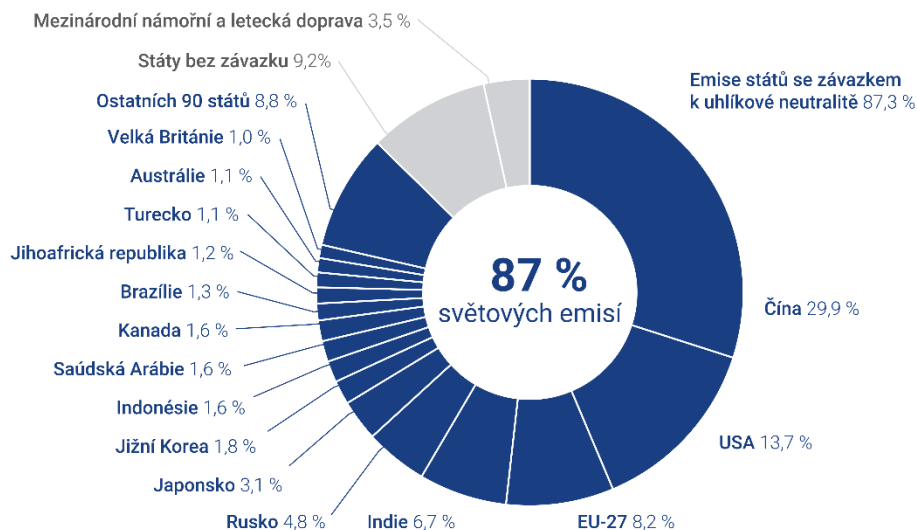
Pro porovnání se můžeme obrátit na celosvětovou statistiku a podívat se, jak jsou na tom státy mimo EU.



SVĚTOVÉ EMISE A ZÁVAZKY K UHLÍKOVÉ NEUTRALITĚ



87 % světových emisí CO₂ pochází ze států, které směřují k uhlíkové neutralitě. Jde o 131 států.



VERZE 2022-03-30 | LICENCE CC BY 4.0
více info na faktaoklimatu.cz/emisni-zavazky

zdroj dat: EDGAR (emise k roku 2018), Net Zero Tracker

Graf 2 – Světové emise a závazky k uhlíkové neutralitě [4]

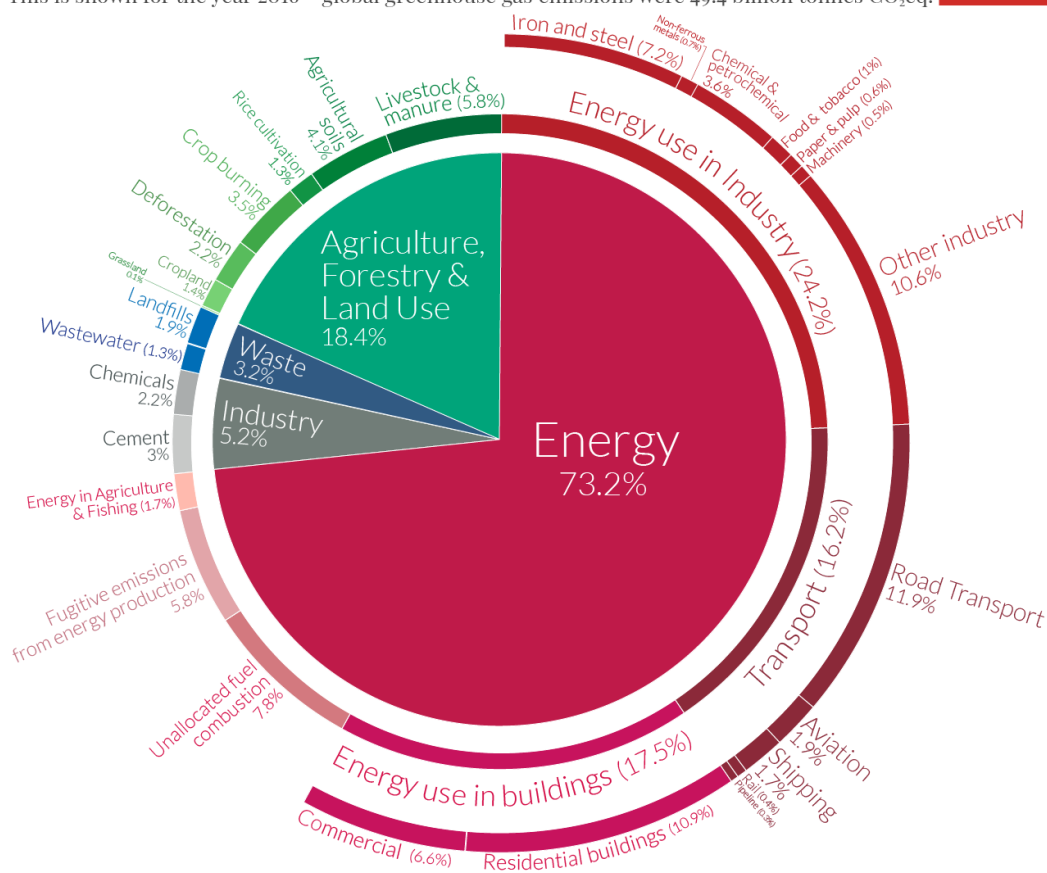
Ve srovnání s ostatním světem, státy Evropské unie produkují jen 8,2 % světových emisí CO₂, z čeho vyplývá, že evropská automobilová doprava tvoří jen 1,07 % veškerých světových emisí. Jednoduše řečeno, pokud veškeré evropské vozy se vymění za zcela bezemisní, celosvětová produkce CO₂ se sníží jen o 1,07 %.



Global greenhouse gas emissions by sector

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO₂eq.

Our World
in Data



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.
Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020). Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Graf 3 – Celosvětová produkce skleníkových plynů podle sektorů za rok 2016 [5]

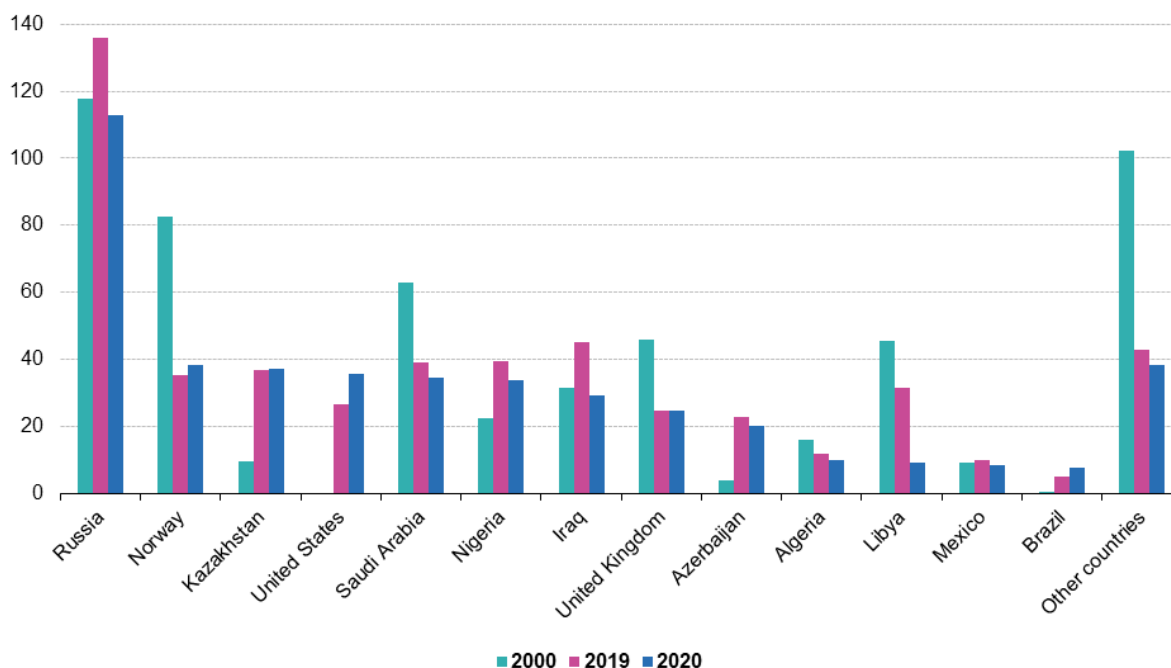
Když se detailněji podíváme na celosvětovou produkci skleníkových plynů, celý transportní sektor tvoří 16,2 % všech emisí, z toho silniční doprava (osobní vozy, lehké dodávky a autobusy) produkuje 11,9 %.



1.1.2 Závislost na fosilních palivech

Stále rostoucí množství aut posiluje závislost EU na dovážené ropě, ze které se následně vyrábí benzin a nafta.

Crude oil imports by country of origin, EU, 2000, 2019 and 2020
(million tonnes)



Source: Eurostat (online data code: nrg_ti_oil)

eurostat

Graf 4 – Import ropy do EU podle států za rok 2020 [6]

V roce 2020 do zemí EU bylo dovezeno celkem 440,3 milionů tun ropy od států uvedených v grafu 4. Největší část ropy se dovezla z Ruska (113 mil. tun), Norska (38,2 mil. tun), Kazachstánu (37,3 mil. tun), USA (35,5 mil. tun) a Saúdské Arábie (34,6 mil. tun) [6]. Zároveň ropa patří k neobnovitelným zdrojům energie. To znamená, že zásoba ropy je omezená a je nutné na to myslet a omezovat její spotřebu.



1.1.3 Euro normy

Emisní norma Euro je závazná norma Evropské unie stanovující limitní hodnoty škodlivin ve výfukových plynech u benzinových a naftových motorů. Normy stanovují limity oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a pevných částic (PM) [7]. Současná verze Euro 6 platí pro nová vozidla od září 2014, na konci roku 2022 byl představen návrh podoby emisní normy Euro 7, kde by měly být sjednoceny emisní limity pro benzinové a naftové motory, nově se také zavádí omezení emisí částic z brzd a pneumatik. Euro 7 by měla začít platit již v červenci 2025.



Obr. 1 – Měření emisí výfukových plynů [8]

Normy Euro ale neomezují množství oxidu uhličitého. Limity CO₂ vyplývají ze Zelené dohody pro Evropu, podle které by měla EU v roce 2050 dosáhnout uhlíkově neutrality [9]. Momentálně platí průměrný limit všech prodaných vozidel výrobce 95 g_{CO2}/km. Při nesplnění tohoto limitu hrozí výrobci pokuta ve výši 95 € za každý gram CO₂ nad limitem za každé prodané vozidlo. Elektromobily se považují za zcela bezemisní a prodej jednoho elektromobilu se počítá jako 2 prodané vozy do emisního průměru [10].



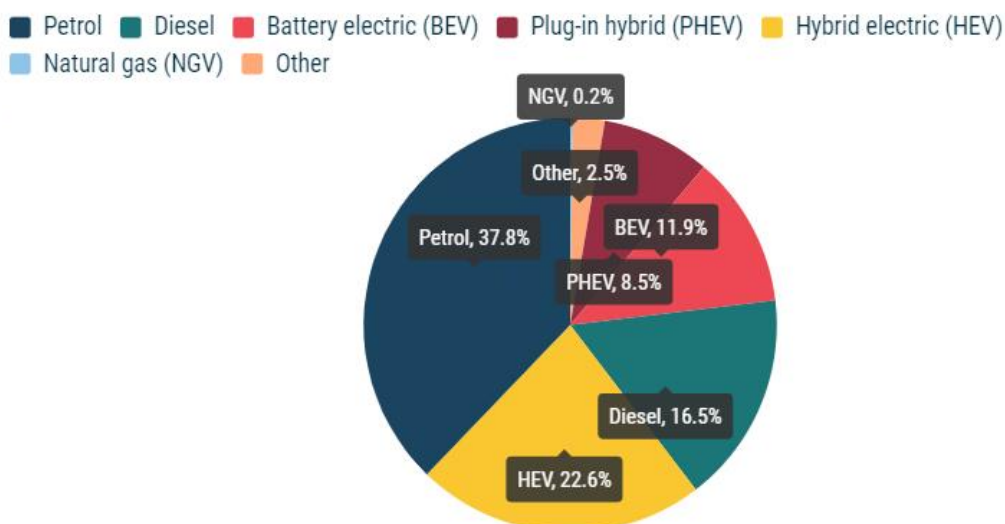
2 Konvenční paliva

Nehledě na rostoucí množství automobilů s elektrickým pohonem, konvenční paliva (benzín a nafta) stále patří k nejrozšířenějším palivům v Evropské unii. Dle aktuálního reportu Evropské asociace výrobců automobilů (ACEA) pro rok 2020, 51,7 % osobních automobilů poháněl benzinový spalovací motor, naftový motor mělo 42,8 % aut v EU, zbývajících 5,5 % tvořily různé druhy hybridních pohonů (např. PHEV, HEV, mHEV atd.), elektromobily, a vozy poháněné CNG a LPG [11].

U lehkých užitkových vozů je situace dost podobná – konvenční pohony značně dominují nad alternativními. Převážnou část dodávkové flotily tvoří naftové motory – 91,2 %, na benzín jezdí jen 6,2 %, alternativní pohony v tomto případě tvoří pouhých 2,6 % [11]

Výše uvedená statistika zahrnuje veškeré vozy pohybující se po silnicích EU, to znamená, že do toho jsou započítané jak nově registrované dopravní prostředky, tak i ty starší, které právě dosluhují. Průměrný věk osobního automobilu v EU je 11,8 let, lehké dodávky – 11,9 let. V ČR je ten průměr o něco vyšší – 15,3 let u osobních vozů, 13,4 u užitkových [11].

Aby bylo možné posoudit současnou situaci na automobilovém trhu, podíváme se na aktuální statistiku prodeje nových osobních aut za 3. kvartál 2022 (graf 5):



Graf 5 – Rozdělení pohonů u nových osobních vozů prodaných v EU ve 3. kvartálu 2022 [12]



Od července do září roku 2022 přibylo na silnicích EU 823 360 nových benzínových automobilů, což činí 37,8 % z celkového objemu prodaných osobních vozů.

Oproti celkové statistice, druhým nejpoblárnějším pohonem (22,6 %) u nových vozů už není naftový, ale hybridní pohon HEV, který ve většině případů pohání benzínový motor. Z tohoto důvodu se dá říci, že přes 50 % nových osobních automobilů stále jezdí na benzin.

Nafta se zatím drží na 3. místě a tvoří 16,5 % (360 596 ks) z celkového počtu [12].

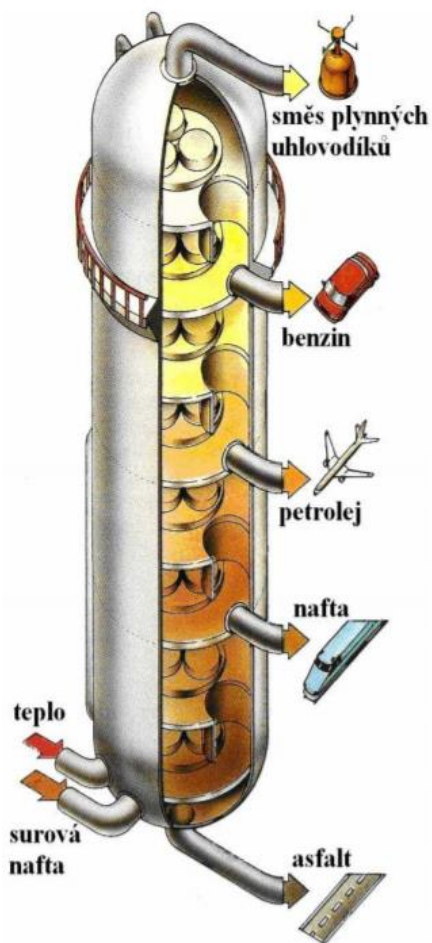
Alternativním pohonům uvedeným v této statistice se budeme věnovat později v samostatných kapitolách, teď se zaměříme na benzin a naftu.

2.1 Výroba konvenčních paliv

Benzín a nafta se získávají zpracováním ropy v rafineriích, z tohoto důvodu tyto paliva spadají do skupiny fosilních paliv. Ropa je základní surovinou petrochemického průmyslu. Je to hnědá až nazelenalá hořlavá kapalina tvořená směsí uhlovodíků, především alkanů. Naleziště ropy jsou pod nepropustnými vrstvami v hloubkách od několika set metrů až do hloubek přes 10 km. Ropa při těžbě buď vyvěrá pod tlakem, nebo je čerpána. Vyskytuje se společně se zemním plynem.

Ropa se zpracovává frakční destilací. Jde o metodu oddělování složek směsí, založenou na rozdílných teplotách varu a kondenzace jednotlivých složek. Nejdřív se surová ropa zahřeje na teplotu zhruba 380 až 400 °C. Následně je přečerpána na dno kolony, která slouží k oddělení jednotlivých frakcí. V koloně, po dosažení bodu varu, stoupají páry ropy do horních pater, kde dochází k jejich ochlazení.

Nejdřív se produkuje tzv. těžká frakce, kterou tvoří mazací oleje a asfalt. Ty se kondenzují při teplotě nad 350 °C. O patro výš kondenzuje nafta při teplotě nad 220 °C, benzín při teplotě cca 80 °C. Až na samém vrcholu kolony se vytvářejí propan a butan při teplotě zhruba 20 °C [13].

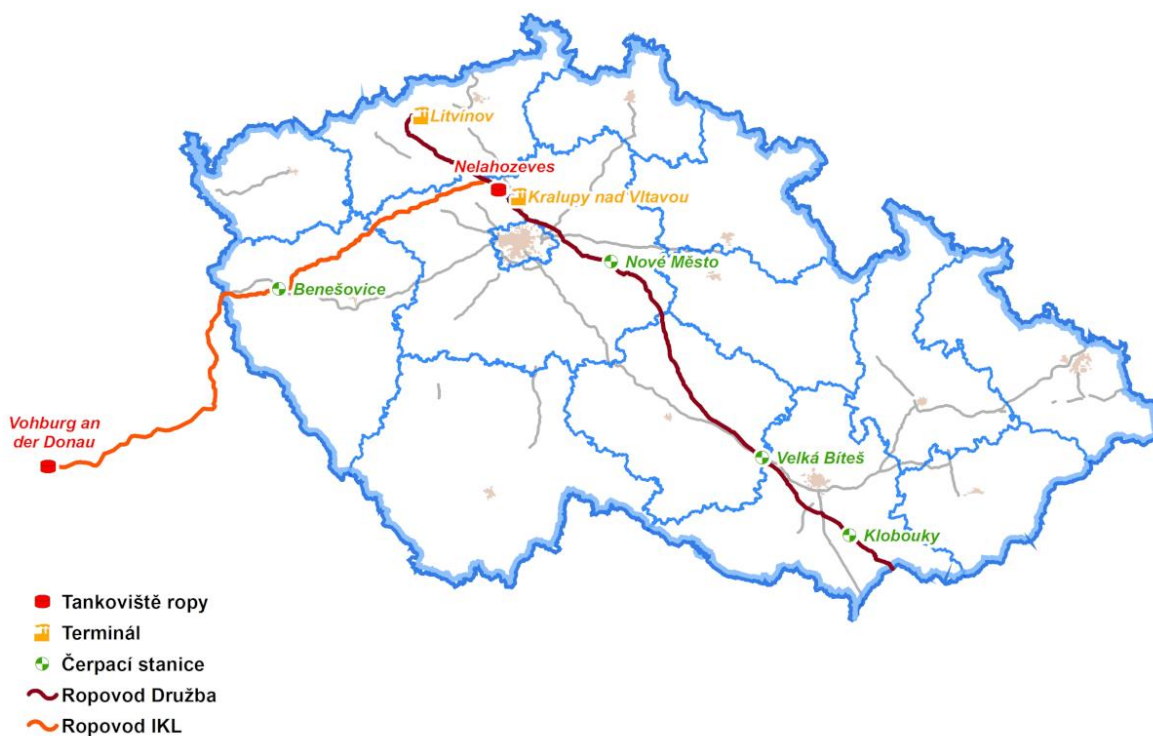


Obr. 2 – Frakční destilace ropy v koloně [14].

Do ČR se 98 % surové ropy importuje ropovodními systémy, některé pohonné látky se pak dovážejí z okolních evropských rafinérií [15]. Česká republika nemá možnost využívat pro dopravu ropy lodní dopravu a je tak zcela závislá na dvou ropovodech – IKL a Družba. Pomocí těchto ropovodů se ropa přepravuje do dvou rafinérií v Litvínově a Kralupech nad Vltavou. Ke skladování a zároveň k distribuci ropy k zákazníkovi slouží centrální tankoviště ropy Nelahozeves (u Kralup nad Vltavou) [16].

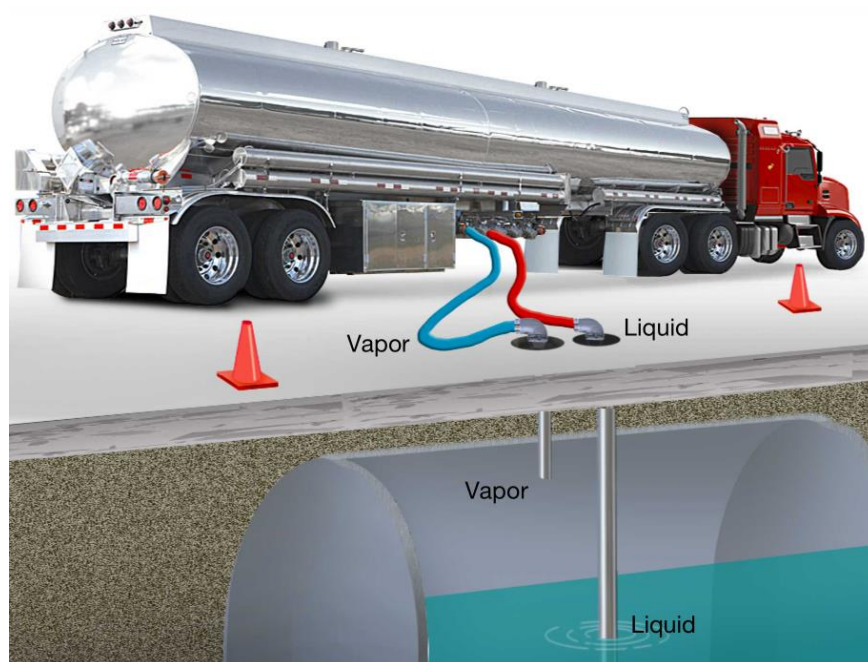


Ropovodní systém v České republice



Obr. 3 – Ropovodní systém v České republice [16]

Distribuce vyrobených pohonných hmot z rafinérií ke koncovým zákazníkům (čerpací stanice, velkoodběratele atd.) probíhá pomocí cisteren na pohonné hmoty. Jedna cisterna dokáže převést zhruba 50 000 litrů pohonných hmot. Většinou jsou to vícekomorové cisterny, které mohou převážet různé druhy paliv zároveň.



Obr. 4 – Doplnění zásob paliva do podzemní nádrže čerpací stanice

Roční dovoz různých druhů rop v roce 2021 dosáhl celkem 6,8 mil. tun, z toho 49 % činil dovoz ruské ropy ropovodem Družba. Pro uspokojení poptávky na domácím trhu v roce 2021 bylo také importováno 2,5 mil. tun pohonných hmot (převážně motorové nafty). Pro bezproblémové zásobování českého trhu je tak důležité i stabilní fungování rafinérií v okolních zemích – Německu, Polsku, Slovensku, Rakousku a Maďarsku.

Spotřeba motorové nafty v České republice v roce 2021 činila 5,112 mil. tun (cca 6 mld. litrů) a 1,516 mil. tun (cca 2,1 mld. litrů) automobilových benzinů [15].

2.2 Infrastruktura

Pro majitele těchto pohonů na území ČR jsou k dispozici 3883 veřejných tankovacích stanic (stav k 5.9.2022) [17]. Nafta a benzín se dostávají do nádrže prostřednictvím tankovací pistole, která je opatřena automatickou ochranou proti přeplnění nádrže. Stačí jenom vsunout pistoli do hrdla nádrže, stlačit spoušť v madle pistole a tankování



během následujících pár minut proběhne zcela automaticky. Až se nádrž naplní, ozve se slyšitelné cvaknutí membránového ventilu, který přeruší čerpání.



Obr. 5 – Tankovací pistole

Cena 1 litru benzínu se pohybuje kolem 39Kč, stejné množství nafty v průměru vychází na 40Kč (stav k 4.12.2022) [18].




Máme plnou nádrž a můžeme vyrazit na cesty. Kolik ale dokáže auto se spalovacím motorem ujet? Spotřeba automobilu s konvenčním pohonem závisí na velkém počtu parametrů jako hmotnost vozidla, objem a výkon motoru, aerodynamika karoserie, způsob zacházení s vozem atd.



2.3 Výpočet emisí u automobilů s konvenčním pohonem

Pro další analýzu byly zvoleny 3 automobily se spalovacími motory v nejběžnějších rozměrových kategoriích:

- 1) Škoda Fabia s benzinovým motorem 1,0 TSI/81kW a 6st. manuální převodovkou (malý osobní vůz)
- 2) Škoda Octavia Combi s benzinovým motorem 1,5 TSI/110kW a 6st. manuální převodovkou (rodinné auto nižší střední třídy)
- 3) Hyundai Kona s benzinovým motorem 1,0 T-GDI/88kW a 6st. manuální převodovkou (kompaktní SUV)

	Škoda Fabia 1,0 TSI 	Škoda Octavia Combi 1,5 TSI 	Hyundai Kona 1,0 T-GDI 
Cena od [Kč]	420 000	610 000	440 000
Výkon [kW]	81	110	88
Pohotovostní hmotnost [kg]	1243	1400	1373
Objem nádrže [l]	40	45	50
Kombinovaná spotřeba paliva* [l/100km]	5,3	5,75	5,4
Dojezd* [km]	750	780	925
Kombinované emise CO ₂ * [g/km]	120	130	132

Tab. 1 – Charakteristiky zvolených automobilů [19][20][21].

*Podle WLTP (Světově harmonizovaný testovací postup pro osobní vozidla)



Dneska automobilky nabízejí svým zákazníkům velmi pestrou nabídku výbav a doplňků. Každý si tak může vytvořit auto podle svých představ. Zvolena konfigurace pak může mít značný vliv na hmotnost vozidla. S rostoucí vahou roste také zatížení na motor, který začíná spotřebovávat víc paliva a produkovat větší množství emisí. Z tohoto důvodu u charakteristik „*pohotovostní hmotnost*“, „*kombinovaná spotřeba paliva*“ a „*kombinované emise CO₂*“ jsou použité průměrné hodnoty v rozmezí udávaném výrobcem (Tab. 1)

Spalovací motor při své činnosti vypouští do ovzduší škodlivé emise, které již byly popsány v kapitole „Úvod do problematiky“. Produkce emisí CO₂ je přímo úměrná spotřebě paliva a lze je spočítat pomocí níže uvedených vztahů [22]:

$$\text{EmiseCO}_2 (\text{benzin}) = 23,9 * \text{spotřeba} \quad [\text{gCO}_2/\text{km}]$$

$$\text{EmiseCO}_2 (\text{nafta}) = 26,4 * \text{spotřeba} \quad [\text{gCO}_2/\text{km}]$$

Pro následující výpočet jízdních emisí CO₂ byl zvolen nájezd 200 000 km, který bude platit i pro analýzy ostatních pohonů:

$$\text{Škoda Fabia: EmiseCO}_2 (\text{palivo}) = 23,9 * 5,3 * 200\,000 / 1\,000\,000 = 25,3 \text{ tCO}_2$$

$$\text{Škoda Octavia: EmiseCO}_2 (\text{palivo}) = 23,9 * 5,75 * 200\,000 / 1\,000\,000 = 27,5 \text{ tCO}_2$$

$$\text{Hyundai Kona: EmiseCO}_2 (\text{palivo}) = 23,9 * 5,4 * 200\,000 / 1\,000\,000 = 25,8 \text{ tCO}_2$$

To jsou provozní emise, které vyprodukuje spalovací motor po ujetí 200 000 km. Provozem to ale nekončí. Vozidlo a palivo potřebné k jeho pohonu se musí vyrobit, což vyžaduje značné množství energie, tím se pak vyprodukují další škodlivé látky. Palivo, než se dostane do zásobníku čerpací stanice, prochází výrobními a transportními procesy, které také negativně ovlivňují uhlíkovou stopu. Přibývají nám totiž emise z těžby a zpracování ropy a následné přepravy paliv k čerpacím stanicím pomocí železniční a silniční



dopravy. V důsledku to navyšuje provozní emise benzinového motoru o 30 %, naftového pak o 24 % [23].

Jízdní emise CO₂ za 200 000 km s uvažováním výroby paliva a následné dopravy k čerpacím stanicím:

$$\text{Škoda Fabia: Emise}_{\text{CO}_2} (\text{palivo}) = 25,3 * 1,3 = 32,9 \text{ t}_{\text{CO}_2}$$

$$\text{Škoda Octavia: Emise}_{\text{CO}_2} (\text{palivo}) = 27,5 * 1,3 = 35,8 \text{ t}_{\text{CO}_2}$$

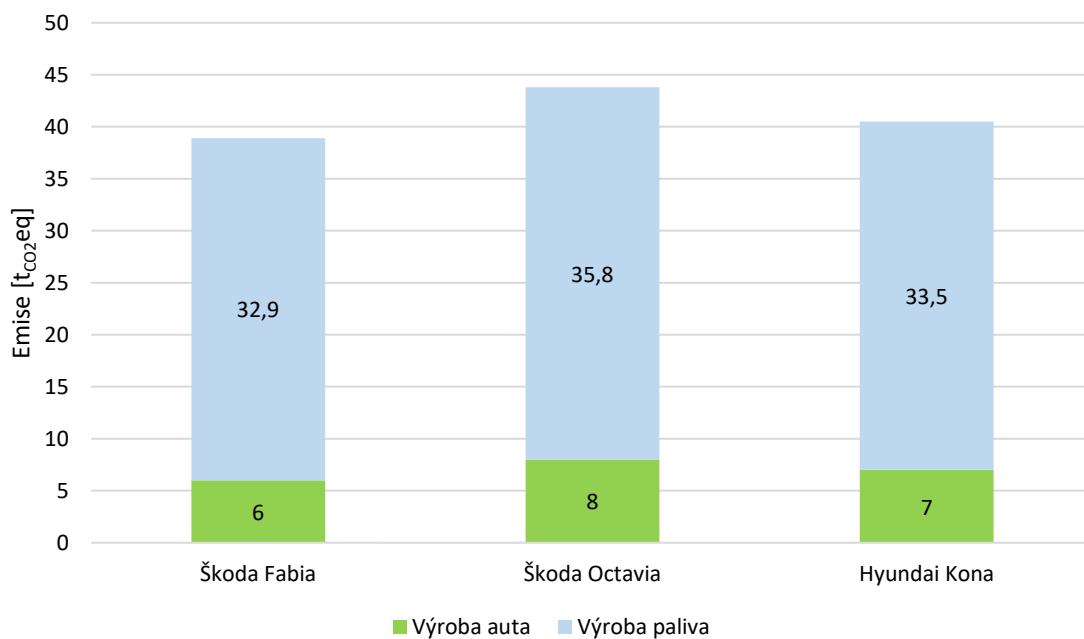
$$\text{Hyundai Kona: Emise}_{\text{CO}_2} (\text{palivo}) = 25,8 * 1,3 = 33,5 \text{ t}_{\text{CO}_2}$$

Výroba vozu je dost složitý proces, který se skládá z velkého množství dílčích úkonů. Jednotlivé díly konstrukce automobilu se většinou vyrábí u dodavatelů po celém světě, což značně komplikuje výpočet výrobních emisí z důvodu různých emisních faktorů v zemích dodavatelů. Dle studií [24] a [25] výroba automobilu s konvenčním pohonem může produkovat 5 až 10 t_{CO₂eq} v závislosti na velikosti a výbavě vozidla. Pro vozidla uvedené v tab. 1 byly zvolené následující výrobní emise:

$$\text{Škoda Fabia: Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 6 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Škoda Octavia: Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 8 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Hyundai Kona: Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 7 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$



Graf 6 – Produkce emisí CO₂eq během výroby a provozu automobilů se spalovacím motorem za 200 000 km.

Celkové emise automobilu s konvenčním pohonem se skládají z výrobních a provozních emisí:

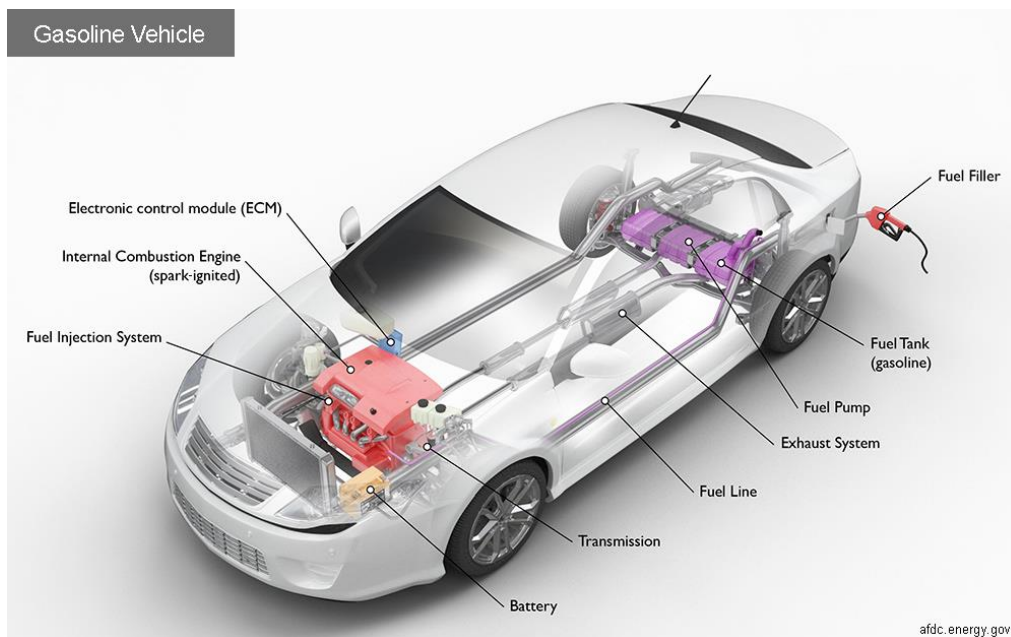
Škoda Fabia: $\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{celkové}) = 32,9 + 6 = 38,9 \text{ tCO}_2\text{eq}$

Škoda Octavia: $\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{celkové}) = 35,8 + 8 = 43,8 \text{ tCO}_2\text{eq}$

Hyundai Kona: $\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{celkové}) = 33,5 + 7 = 40,5 \text{ tCO}_2\text{eq}$

2.4 Výhody a nevýhody konvenčních paliv

Benzin případně nafta se tankuje do palivové nádrže, která se obvykle nachází pod zadním sedadlem. Pomocí palivového čerpadla palivo prochází filtry a dostává se tak k vstřikovačům, které pod velkým tlakem vstříkují palivo přímo do válců spalovacího motoru.



Obr. 6 – Schéma benzinového pohonu osobního automobilu [26]

2.4.1 Benzin

Materiál, který se získá destilací ze surové ropy, se nazývá panenský benzin. Ten ale nesplňuje požadavky moderních motorů. Je to jedna ze základních složek směsi budoucího paliva. Pro zlepšování vlastností automobilových benzinů jsou dnes hojně využívána aditiva. Jsou to látky, které se přidávají do paliva na úpravu oktanového čísla a pro zlepšení antidetonačních vlastností. Oktanové číslo je jedna ze základních charakteristik pohonných paliv pro zážehové spalovací motory. Vyjadřuje odolnost paliva ve směsi se vzduchem proti samozápalu (detonační spalování), který se projevuje jako tzv. klepání při kompresi ve válci motoru. Co se týká chemického složení, oktanové číslo vyjadřuje procentuální obsah 2,2,4-trimethylpentanu, jednoho z izomerů uhlovodíku oktanu v jeho směsi s n-heptanem, která je stejně odolná proti samozápalu jako zkoumané palivo. Např. čistý n-heptan má definicí určeno oktanové číslo 0, čistý izooktan má určeno oktanové číslo 100. Palivo může mít hodnotu oktanového čísla vyšší než 100, pokud je dané palivo ještě odolnější proti samozápalu než čistý izooktan [27].



Výhody benzínu:

- Levnější pořizovací cena vozu oproti jiným pohonům (např. elektromobil, auto na vodík atd.)
- Nižší hlučnost v porovnání s naftovým motorem
- Bohatá síť čerpacích stanic (3883 stanice v ČR k 5.9.2022) [17]
- Vysoká odolnost vůči nízkým teplotám (cca do $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Využití existujících technologií a infrastruktury
- Relativně vysoká energetická hustota 8,5 kWh/litr [28]

Nevýhody benzínu:

- Fosilní palivo (omezené zásoby ropy + závislost na státech importujících ropu)
- Lokální emise
- Nižší účinnost v nízkých otáčkách a malém zatížení motoru
- Celková účinnost automobilu s konvenčním pohonem je kolem 20 % (tzv. tank-to-wheel) [29]

2.4.2 Nafta

Motorová nafta slouží jako palivo pro vznětové motory a je poměrně komplikovanou směsí uhlovodíků s 12 až 22 atomy uhlíku v molekule. Pro zlepšování užitečných vlastností nafty se, stejně jako u benzínu, využívají aditiva. Kvalita nafty se udává cetanovým číslem, které vyjadřuje její vznětovou charakteristiku. Cetanové číslo udává množství n-hexadekanu (cetanu) ve směsi s uhlovodíkem 1-methylnaftalenem, která má stejnou vznětovou charakteristiku jako srovnávaný vzorek skutečné pohonné nafty. Např. cetanové číslo 0 odpovídá čistému metylnaftalenu, cetanové číslo 100 odpovídá čistému cetanu (hexadekanu). Čím vyšší cetanové číslo palivo má, tím je kvalitnější. U moderních motoru se požadované hodnoty cetanového čísla pohybují mezi 50 a 60.



U nafty rozlišujeme „letní“ a „zimní“ směs. Letní nafta má bod filtrovatelnosti (okamžik, kdy dochází k ucpávání sítka vstřikovacího čerpadla a palivového filtru krystalky parafínu v naftě) na 0 °C. V Česku právní předpis ukládá všem prodejcům nafty, aby v období od 1. prosince do 28. února dodávali zákazníkům zimní naftu s filtrovatelností -20 °C [27].

Výhody nafty:

- Větší kroutící moment naftového motoru oproti benzínu (výhoda pro nákladní a užitkovou dopravu)
- Levnější pořizovací cena vozu oproti jiným pohonům (např. elektromobil, auto na vodík atd.)
- Bohatá síť čerpacích stanic (3883 stanice v ČR k 5.9.2022) [17]
- Využití existujících technologií a infrastruktury
- Relativně vysoká energetická hustota 9,7 kWh/litr [28]

Nevýhody nafty:

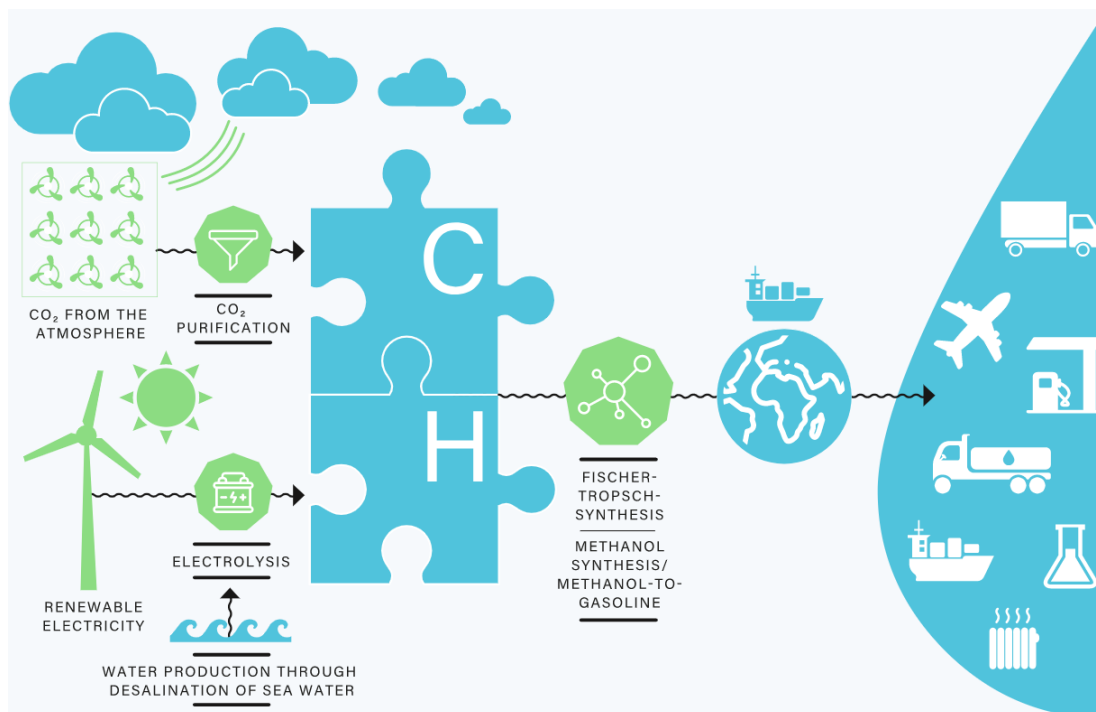
- Citlivost na nízké teploty (pod -8 °C), v zimním období se využívá tzv. zimní nafta
- Vyšší hlučnost naftového motoru oproti benzinovému

3 Syntetická paliva

Syntetická paliva přináší možnost dalšího využití spalovacích motorů i po zpřísnění EURO norem. Spalováním tzv. e-paliv se totiž produkuje menší množství emisí v porovnání s fosilními palivy. Samotná myšlenka syntetických paliv není novinkou, diskutuje se o tom už od začátku 20. století. V dnešní době toto téma je stále aktuální. Desítky různých firem po celém světě se snaží vylepšit výrobu e-paliv tak, aby samotná produkce syntetických



paliv neprodukovala žádné další emise oxidu uhličitého. V tomto případě by se dalo e-paliva považovat za uhlíkově neutrální a využívat je jako alternativu elektromobilů.



Obr. 7 – Schéma výrobního procesu e-paliv [30]

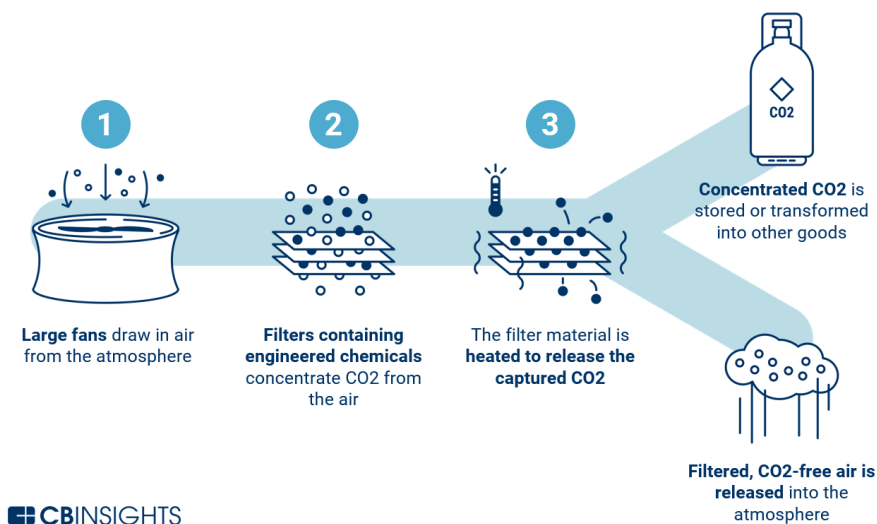
Výrobní proces začíná elektrolýzou vody, která se rozkládá na vodík a kyslík. Vodík se následně slučuje s CO₂ a vzniká tak e-metanol, který pomocí Fischerovy-Tropschovy syntézy za teploty 200 až 350 °C a pod velkým tlakem se přeměňuje na kapalné uhlovodíky a vzniká tak e-benzin, e-nafta atp. [31]

Oxid uhličitý hraje důležitou roli ve výrobě e-paliv. Ten se zpravidla zachycuje z ovzduší. K tomu slouží ventilátory, které z důvodu nízké koncentrace CO₂ v ovzduší (zhruba 0,04 %) musí přes sebe prohánět obrovské množství okolního vzduchu a pomocí speciálních filtrů oddělují CO₂ od ostatních složek vzduchu.



Výrobou e-paliv se zabývá více firem po celém světě. Informace o současném stavu vývoje případně jakékoliv technické detaily se zpravidla nepublikují pro veřejnost. Z tohoto důvodu je těžko odhadnout, jaké množství emisí bude reálně produkovat auto spalující e-paliva (jak čistá, tak i ve směsi s konvenčními palivy) a můžeme-li v budoucnu očekávat rozšíření e-paliv.

How direct air capture works



Obr. 8 – Proces zachytávání CO₂ z ovzduší [32]

Továrna na výrobu syntetických paliv spotřebovává velké množství elektrické energie, která by měla pocházet z obnovitelných zdrojů energie (solární panely, větrné elektrárny atd.). Tato podmínka značně komplikuje vývoj celého oboru syntetických paliv. Není totiž snadno najít správnou lokalitu výstavby závodu a zajistit trvalou dodávku „čisté“ elektřiny.

Na konci roku 2022 automobilka Porsche ve spolupráci s firmami AME, Enel, Siemens Energy a chilskou petrolejářskou společností ENAP spustily zkušební provoz závodu na syntetická paliva. Továrna se nachází v Chile (obr. 9), kde většinu roku fouká silný vítr. Tento přírodní jev se využívá k napájení závodu čistou energií pomocí větrné elektrárny.



Obr. 9 – Továrna na syntetická paliva v Chile [33]

Vedení závodu plánuje v roce 2022 zkušebně vyrobit 130 000 litrů e-paliv. V roce 2024 výrobní plán se zvětší na 55 mil. litrů, v roce 2026 by se měl vyrobit až desetinásobek, tzn. 550 mil. litrů [33]. 130 000 litrů by stačilo na jednorázové natankování 2600 vozů s objemem nádrže 50 litrů, 55 mil. litrů na 1 100 000 vozidel, 550 mil. litrů na 11 000 000 vozidel.

Výhody e-paliv:

- Uhlíkově neutrální pohon (za předpokladu využití obnovitelných zdrojů energie)
- Rozvinutá infrastruktura (tankování probíhá klasickým způsobem pomocí stávajících čerpacích stanic)
- Využití současných technologií (spalování ve spalovacích motorech)
- Značné snížení emisí až o 90 % [33]
- Snižování emisí CO₂ přimícháváním syntetických paliv do fosilních. Dočasné řešení, dokud se nebude vyrábět potřebné množství e-paliv

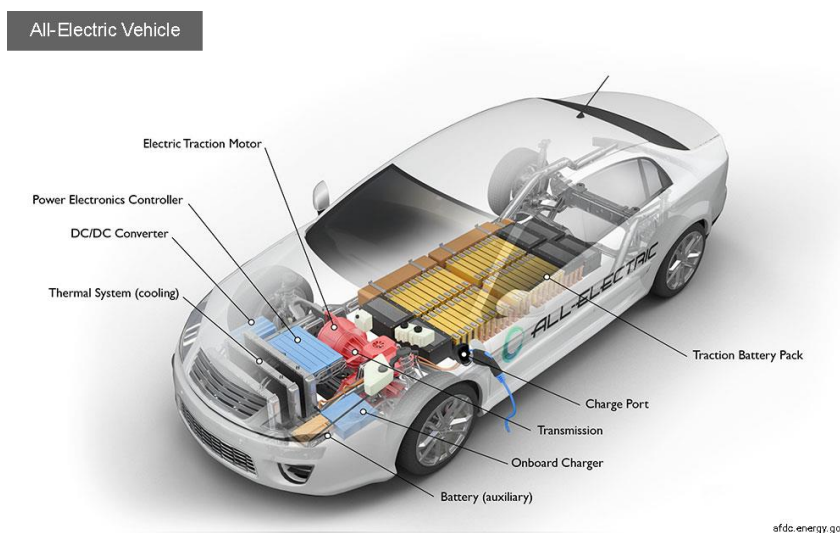


Nevýhody e-paliv:

- Cena pohonných hmot zatím není známa, ale podle předpokladů by se mohla pohybovat kolem 2€/litr, v blízké budoucnosti rozhodně nedokáže konkurovat s fosilními palivy.
- Lokální emise
- Omezené lokace výstavby závodů. Nutnost stavět další továrny, které musí mít „zelený“ zdroj energie.
- Omezená produkce e-paliv

4 Elektromobilita

Dle grafu 5 ve 3. kvartálu 2022 bylo registrováno 259 449 nových čistě elektrických vozidel (BEV), což činí 11,9 % z celkového počtu všech registrovaných automobilů napříč EU. Skoro půlka nových BEVů se prodala v Německu (105 598 ks), v Česku za stejnou dobu přibylo jen 962 elektrických vozů [12].



Obr. 10 – Schéma automobilu s čistě elektrickým pohonem [34]



Elektromobil je vozidlo pohaněné elektrickou energií, která je zpravidla uložena v trakční baterii. Samotná kola pak pohání jeden případně více elektromotorů. Nespornou výhodou elektrického pohonu je jeho účinnost. Vyrobená elektřina se dopravuje rozvodnou sítí, kde se po cestě ztratí kolem 5 % energie (95 % účinnost). Dalším bodem je nabíječka. Účinnost nabíječek se může lišit dle výrobce a nabíjecího výkonu. Ztráty se pohybují v rozmezí 5 až 20 % (účinnost 80 až 95 %) [35]. Tzv. rychlonabíječky nabíjejí stejnosměrným proudem (DC) a mají větší ztráty než pomalé nabíjení střídavým proudem (AC).

Standartní DC nabíječky mají výkon 50 kW, rychlonabíječky se pohybují kolem 150 kW, rychlonabíječky od Tesly dokážou vyprodukovat 250 kW nabíjecího výkonu. Šetrnější pro baterii je ale pomalé AC nabíjení. AC nabíjecí stanice případně domácí wall boxy dokážou vyprodukovat výkon až 22 kW [36]. Během AC nabíjení proud prochází vestavěnou palubní nabíječkou ve voze, která ale může mít svůj limit (např. 11 kW).

Účinnost elektromotoru se blíží 90 % a celková účinnost samotného elektromobilu (tank to wheel) je zhruba 80 %.



Obr. 11 – Nabíjení elektromobilu Tesla



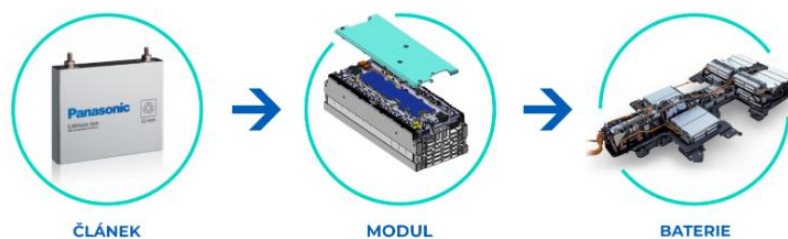
4.1 Infrastruktura

Dle statistiky ministerstva průmyslu a obchodu ČR (MPO) je na území ČR k dispozici 1290 veřejných dobíjecích stanic (stav k 30.11.2022) [37]. Toto množství se ale nedá srovnávat s čerpacími stanicemi. Každá čerpací stanice na konvenční paliva má několik výdejních stojanů. Průměrná středně velká čerpací stanice má 4 oboustranné stojany, což znamená, že 1 průměrná čerpací stanice dokáže dodávat palivo 8 autům současně (1 stojan = 2 auta). V případě nabíjecí infrastruktury se jedná o množství jednotlivých nabíječek, kde 1 nabíječka zpravidla má 2 zásuvky a dokáže současně nabíjet 2 auta (1 nabíječka = 2 auta). Z toho vyplývá, že pro správné porovnání statistik je nutné množství nabíječek (1290 ks) vydělit 4. Tím dostáváme číslo 323, což tvoří 8,3 % od klasických čerpacích stanic. Další výhodou elektromobilů je, že se dají nabíjet doma, v práci, na parkovišti nákupního centra, případně kdekoli, kde je k dispozici zásuvka s elektřinou.

Cena nabíjení na veřejné dobíjecí stanici závisí na typu stanice (AC, DC příp. UFC) a dodavateli energie. Ještě před pár lety veřejná dobíjecí síť obsahovala spoustu míst, kde se dalo nabíjet zadarmo. Tato doba už je ale pryč. Elektromobilů začalo přibývat a většina dodavatelů elektřiny postupně zavedla placené nabíjení. Například u stanic energetické společnosti E.ON si zákazník od 1.8.2022 nově zaplatí 7,90 Kč/kWh za pomalé AC nabíjení (až do 43 kW), 11,90 Kč/kWh za rychlé nabíjení DC (do 149 kW) a 14,90 Kč/kWh za nejrychlejší UFC nabíjení (od 150 kW) [38]. Existuje také několik nabídek od energetických společností pro domácnosti s elektroautem, kde se dá například využívat noční tarif za zvýhodněných podmínek.

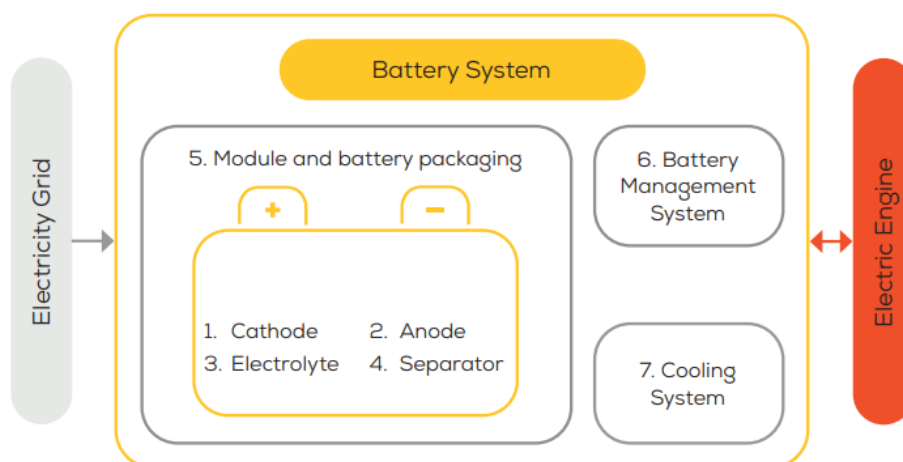
4.2 Trakční baterie

Trakční baterie je největší, nejtěžší a nejdražší součástí elektrického automobilu. Akumulátor jako celek se skládá z jednotlivých modulů. Uvnitř modulů se zpravidla nachází lithium-iontové články. Tato konstrukce nám umožňuje měnit dosluhující příp. vadné moduly za nové, aniž by se musela měnit celá baterie.



Obr. 12 – Konstrukce trakční baterie [39]

Bateriový systém se neskládá jenom z bateriových modulů, ale taky z chladicího/vyhřívacího systému, řídicí elektroniky a pláště (obr. 13). Cílem chladicího/vyhřívacího systému je udržet teplotu baterie v optimálním teplotním pásmu (cca 20 až 40 °C). Při teplotách mimo toto pásmo výkon baterie může značně klesat [25].



Obr. 13 – Hlavní komponenty trakčního akumulátoru [28]

Výrobci poskytují záruku na trakční baterii ve většině případů 8 let nebo 160 000 km (podle toho, co nastane dřív). Tím zákazník má záruku, že kapacita baterie v jeho voze neklesne pod hodnotu 70 příp. 80 % (v závislosti na výrobci). Až baterie nebude vhodná k využití ve voze, nemusí se hned recyklovat. V současné době automobilky/jiné podniky






přicházejí s nápady, jak se dá prodloužit život trakční baterie mimo auto (jde o tzv. 2. život baterie). Jeden z nápadů přinesla automobilka Škoda, která použila akumulátory z testovacích prototypů ENYAQ iV jako energetické úložiště ve veřejné dobíjecí stanici v Praze na Chodově [46]. Na konci života baterii čeká recyklace. Je to relativně nový proces, který v současné době prochází vývojem. Každopádně už existují studie, které uvádějí, že recyklací jednoho trakčního akumulátoru dokážeme ušetřit zhruba 11 kg_{CO2eq}/kWh [28].

4.3 Výpočet emisí u elektromobilu

Hlavním důvodem prosazování elektromobilů jsou nulové lokální emise. Nesmíme ale zapomenout na emise nepřímé, které vznikají při výrobě paliva (elektřiny), akumulátoru a auta samotného. Elektromobil jako takový je jednodušší a má méně součástí než klasické auto se spalovacím motorem. Značný vliv na emisní stopu avšak má výroba trakční baterie. Každý z článků se skládá ze dvou elektrod, separátoru a z elektrolytu. Jedna z elektrod je z grafitu, druhá pak nejčastěji z lithia, niklu, manganu a kobaltu.



Pro další porovnání se zástupci jiných pohonů byly zvoleny 3 elektrická vozidla různých kategorií, které se běžně vyskytují na českých případně evropských silnicích (kompaktní městské auto, sedan a kompaktní SUV):

	Renault Zoe 	Hyundai Ioniq 6 	Hyundai Kona 
Cena od [Kč]	1 027 000	1 340 000	1 050 000
Výkon elektromotoru [kW]	100	168	170
Kapacita trakční baterie [kWh]	52	77	64
Pohotovostní hmotnost vozu [kg]	1530	2025	1790
Maximální nabíjecí výkon [kW]	50	220	100
DC nabíjení na 80% [min]	65	18	47
Kombinovaná spotřeba energie* [kWh/100km]	13,5	14,3	14,7
Dojezd* [km]	386	614	484
Kombinované emise CO ₂ * [g/km]	0	0	0
Záruka na trakční baterii	8 let/160 000 km	8 let/160 000 km	8 let/160 000 km

Tab. 2 – Charakteristiky zvolených elektromobilů [40],[41],[42].

*Podle WLTP (Světově harmonizovaný testovací postup pro osobní vozidla)



Stejně jako v kapitole „Konvenční paliva“ volím průměrné hodnoty výrobních emisí automobilů z tab.2 na základě výpočtů několika studií [24],[25].

Emise z výroby vozů bez akumulátorů:

$$\text{Renault Zoe: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 5 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Hyundai Ioniq 6: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 7 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Hyundai Kona: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 6 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

Výpočtem emisí z výroby trakčních baterií se zabývá více studií. Výsledky jednotlivých studií se zpravidla liší z důvodu složitého a komplexního výpočtu, který ovlivňuje spousta faktorů jako těžba materiálů, technologie výroby baterií, „čistota“ elektrické energie použité k výrobě, emisní stopa v logistice atd. Pro následující výpočet jsem použil průměrnou hodnotu 82 kg_{CO2eq} na 1 kWh vyrobené baterie, která byla vypočítaná pomocí těchto zdrojů: 85 kg_{CO2eq}/kWh [25], 93 kg_{CO2eq}/kWh [43], 65 kg_{CO2eq}/kWh [35] a 84 kg_{CO2eq}/kWh [28].

Emise z výroby trakčních baterií:

$$\text{Renault Zoe: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{baterie}) = 82 \cdot 52 / 1000 = 4,3 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Hyundai Ioniq 6: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{baterie}) = 82 \cdot 77 / 1000 = 6,3 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Hyundai Kona: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{baterie}) = 82 \cdot 64 / 1000 = 5,2 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

Pro následující výpočet emisní stopy z výroby elektřiny pro provoz elektrických vozidel je nutné vědět zdroj elektrické energie. Je totiž velký rozdíl, zda-li elektřina pochází z uhlí, plynu, jádra, slunce nebo větru. K tomu slouží tzv. emisní faktor, který udává průměrnou hodnotu emisí na 1 kWh vyrobené energie v konkrétním regionu příp. státu.

Český emisní faktor v roce 2021 byl 0,39 kg_{CO2eq}/kWh [44]. To znamená, že výroba 1 kWh elektrické energie v České republice v průměru vyprodukuje 0,39 kg emisí CO₂eq.



V Norsku drtivá většina elektrické energie pochází z obnovitelných zdrojů energie.

Z tohoto důvodu norský emisní faktor je mnohem menší než ten český (0,022 kg_{CO2eq}/kWh). Například Polsko převážně spaluje uhlí a emisní faktor tak vyšplhá na hodnotu 0,78 kg_{CO2eq}/kWh [45].

Do výpočtu je také nutno zahrnout některé účinnosti. Vyrobená elektrická energie se přepravuje ke koncovým zákazníkům rozvodnou sítí s účinností 95 %. Dále pak jsou ztráty v nabíječce (běžná účinnost 80 až 95 %, byla zvolená průměrná hodnota 87,5 %).

Emise z výroby elektřiny (= provozní emise) za 200 000 km se vypočítají dle následujícího vzorce:

$$\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{provoz}) = \text{spotřeba} * 200\ 000 / 100 * \text{EF} / 1000 / \eta_{\text{sít}} / \eta_{\text{nabíječka}} [\text{t}_{\text{CO}_2\text{eq}}],$$

kde EF je emisní faktor země [kg_{CO2eq}/kWh], $\eta_{\text{sít}} = 0,95$ (účinnost rozvodné sítě), $\eta_{\text{nabíječka}} = 0,875$ (účinnost nabíječky)

Emise z výroby elektřiny za 200 000 km na území ČR:

$$\begin{aligned} \text{Renault Zoe: Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{provoz v ČR}) &= 13,5 * 200\ 000 / 100 * 0,39 / 1000 / 0,95 / 0,875 = \\ &= 12,7 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hyundai Ioniq 6: Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{provoz v ČR}) &= 14,3 * 200\ 000 / 100 * 0,39 / 1000 / 0,95 / 0,875 = \\ &= 13,4 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hyundai Kona: Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{provoz v ČR}) &= 14,7 * 200\ 000 / 100 * 0,39 / 1000 / 0,95 / 0,875 = \\ &= 13,8 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}} \end{aligned}$$



Stejným způsobem se dopočítaly emise při výrobě elektřiny v Norsku a Polsku

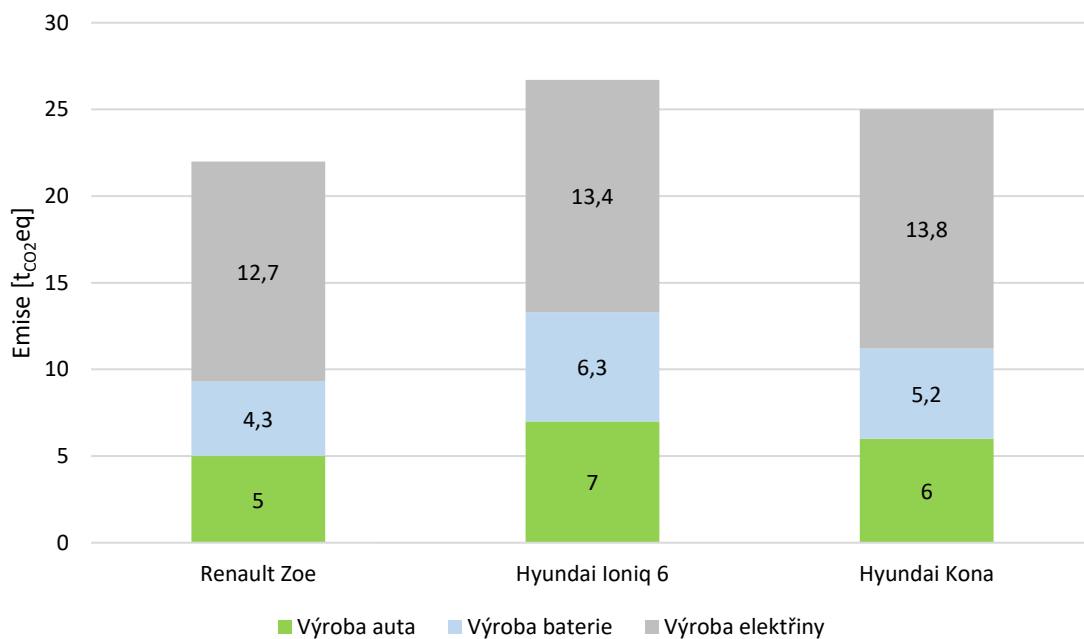
	Renault Zoe	Hyundai Ioniq 6	Hyundai Kona
Česká republika [t _{CO2eq}]	12,7	13,4	13,8
Norsko [t _{CO2eq}]	0,7	0,8	0,8
Polsko [t _{CO2eq}]	25,4	26,8	27,6

Tab. 3 – Porovnání provozních emisí za 200 000 km v Česku, Norsku a Polsku

Celkové emise, které vyprodukuje auto během svého života, se skládají z výrobních emisí (automobil + trakční baterie) a provozních emisí (výroba elektrické energie pro pohon vozidla).

	Renault Zoe	Hyundai Ioniq 6	Hyundai Kona
Emise z výroby auta [t _{CO2eq}]	5	7	6
Emise z výroby baterie [t _{CO2eq}]	4,3	6,3	5,2
Emise z výroby elektřiny pro provoz [t _{CO2eq}]	12,7	13,4	13,8
Celkové emise [t _{CO2eq}]	22	26,7	25

Tab. 4 – Shrnutí emisí při provozu elektromobilu na území ČR



Graf 7 – celkové emise při provozu elektromobilu v ČR

Výhody elektromobilu:

- Jednodušší konstrukce oproti SM – menší počet senzorů, součástek a kapalin spojených s SM (cca -600 kg CO₂eq) [35]. To jsou například startér, spojka, vícešupňová převodovka, částečný filtr (DPF pro naftové motory případně GPF pro benzinové), katalyzátor, vstřiky, turbína, svíčky, motorový a převodový olej atd.
- Rychlá odezva elektromotoru po přidání plynu
- Žádný hluk a lokální emise
- Možnost nabíjení v domácích podmínkách z obyčejné zásuvky

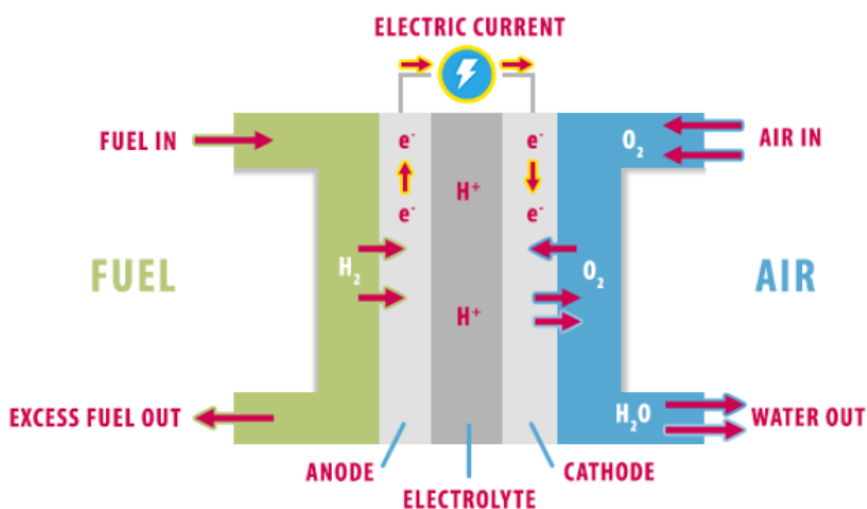


Nevýhody elektromobilu:

- Delší dobíjecí čas oproti tankování konvenčního pohonu případně auta na vodík
- Nižší dojezd elektromobilů oproti jiným pohonům
- Závislost na teplotě okolí – nutnost udržovat teploty baterie v teplotním pásmu (20 – 40 °C) [25].
- Nízká energetická hustota trakčních baterií (v průměru 0,15 kWh/kg) [25].
- Velká hmotnost akumulátoru (70 kWh baterie váží cca 470 kg)
- Vyšší pořizovací cena elektromobilu oproti konvenčnímu vozu

5 Vodíkový pohon

Automobil s vodíkovým pohonem je další cestou možného rozvoje oblasti automotive. Auto na vodík je zvláštní druh elektromobilu, který ke svému pohonu využívá elektromotor. Liší se ale uložení energie, místo trakční baterie se primární zdroj energie (vodík) ukládá do tlakových lahví. Trakční baterii ve vodíkovém autě ale najdeme taky, ta slouží k pokrytí špičkového výkonu a využívá se v okamžicích, kdy vodíkový systém nestíhá dodávat energii do elektromotoru. Pomocí vodíku se totiž musí vyrobit elektrická energie, která následně pohání samotný elektromotor. K tomu slouží tzv. palivový článek, který přeměňuje chemickou energii vodíku na elektrickou.

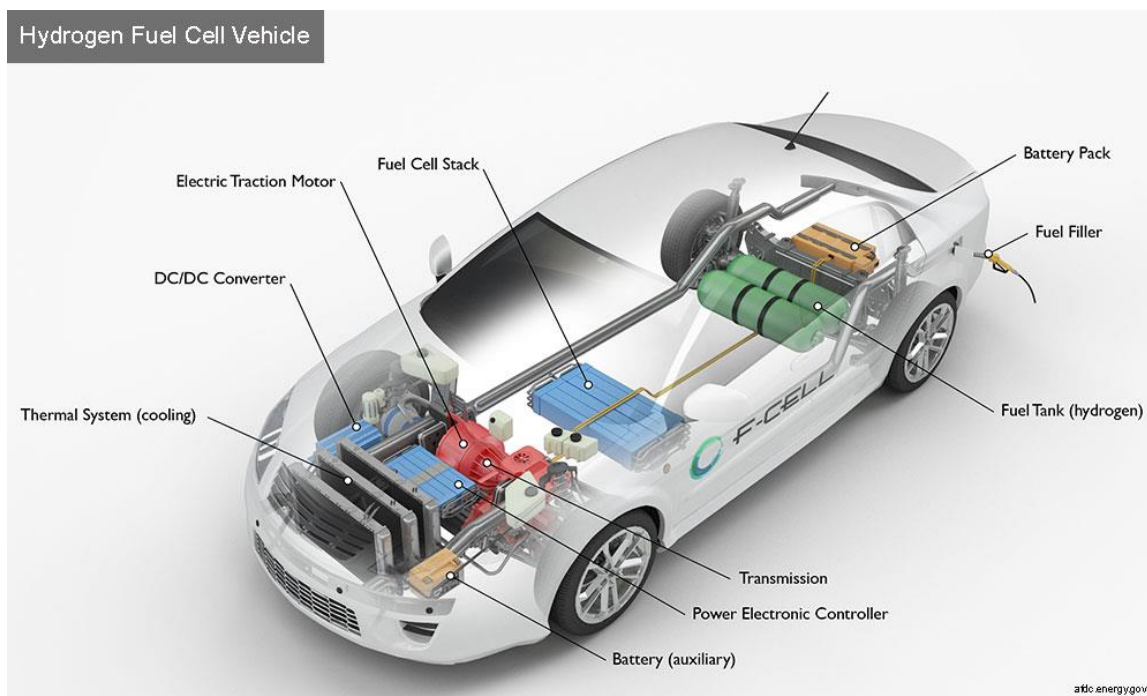


Obr. 14 – Schéma funkce palivového článku [47]



Principem palivového článku je elektrochemická reakce mezi palivem (vodík) a oxidačním činidlem (kyslík). Vodík se přivádí na anodu (záporná elektroda), kyslík pak na katodu (kladná elektroda). Katalyzátor na anodě (tenká vrstva platiny) rozděluje vodík na protony a elektrony. Elektrody rozděluje protonově vodivá membrána (PEM). Protony pronikají membránou ke katodě, elektrony jsou nuceny projít v podobě elektrického proudu skrz vnější okruh a konají tak užitečnou práci [48].

Účinnost vodíkového palivového článku se pohybuje kolem 50 %. Z 1 kg vodíku je palivový článek schopný vyrobit 16 kWh elektrické energie, 16 kWh odpadního tepla a čistou vodu. Na toto množství vodíku ujede osobní automobil zhruba 100 km [48]. Životnost palivových článků je v současné době garantována na 5 000 - 20 000 hodin. U osobního automobilu při 2hodinové jízdě denně to v přepočtu znamená 7 - 28 let. Nákladní doprava většinou má články, co zaručeně vydrží 20 000 hodin. Například u autobusu při 8hodinové jízdě denně by to znamenalo vydržet kolem 7 let. Na konci životnosti palivových článků by bylo potřeba nechat je zpreasovat případně vyměnit za nové.



Obr. 15 – Schéma vodíkového pohonu s použitím palivového článku [49]



Vodík se plní do kompozitních tlakových lahví (2-3 lahve u osobních aut), které se obvykle umísťují nad zadní nápravou. Jsou to hliníkové tenkostěnné nádoby obalené ovinem z uhlíkových vláken, což tvoří velmi pevný celek odolný vnitřnímu přetlaku, destrukci a pronikání molekul vodíku materiálem. Standardní provozní tlak pro nákladní vozidla a autobusy je 350 bar, pro osobní vozy 700 bar. Pro stlačení vodíku na tyto hodnoty se používají pístové kompresory. Tlakové lahve na 5 kg vodíku (cca 500 km dojezd) váží zhruba 100 kg [50].

Vodíková mobilita je dnes založená na využití vodíku v palivovém článku, kde dochází k reakci vodíku a kyslíku za vzniku elektrické energie, tepla a čisté vody. Takto vyrobená elektrická energie je využita v elektromotoru k pohonu vozidla. Odtud označení FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).

Jsou pokusy o spalování vodíku ve spalovacích motorech, který se přimíchává k běžným fosilním palivům, Tato směs by měla snížit výfukové emise a zvýšit efektivitu spalovacího motoru. Touto problematikou se zabývá například pan Ing. Jiří Vávra Ph.D. na ČVUT [51]. Podobně jako u syntetických paliv jedná se o interní vývoj a technické informace nejsou k dispozici. Proto není možné zanalyzovat reálný vliv vodíku na provozní emise. V současnou chvíli neexistuje žádné sériové auto, které by ke svému pohonu využívalo směs vodíku a fosilního paliva. Z tohoto důvodu se dále budeme věnovat jen vozům s palivovým článkem.

5.1 Druhy vodíků



Vodíkové auto je sice lokálně bezemisní, emisní stopu ale může zanechat výroba samotného vodíku. Rozlišujeme 3 typy vodíku z hlediska emisí:

- 1) **Šedý vodík** je nejběžnější druh vodíku. Vyrábí se z fosilních paliv nejčastěji tzv. parním reformingem zemního plynu. Jedná se o chemický proces, který probíhá za vysoké teploty (750 – 950 °C) a při kterém dochází k reakci směsi metanu a vodní páry za vzniku vodíku a CO₂. Je to nejlevnější, ale zároveň nejšpinavější technologie výroby vodíku. Na 1 kg vyrobeného šedého vodíku se vyprodukuje 5,5 kg CO₂. Účinnost výroby šedého vodíku se pohybuje okolo 80 % [52].



- 2) **Modrý vodík** se vyrábí stejným způsobem jak šedý, výrobní proces je ale navíc doplněn o technologii zachytávání a ukládání oxidu uhličitého (tzv. CCS). Spolu s šedým vodíkem tvoří 96 % globální vodíkové kapacity.
- 3) **Zelený vodík** je ekologicky nejpříjemnější a vzniká např. elektrolýzou vody. Účinnost elektrolýzérů se pohybuje kolem 60 %. Na výrobu 1 kg zeleného vodíku je zapotřebí 9 litrů vody a 60 kWh elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Aktuálně zelený vodík tvoří jen 4 % celosvětové produkce vodíku [52].

Nabídka vodíkových vozů zdaleka není tak pestrá jako elektromobilů, které se nabízejí ve všech rozměrových kategoriích. Sériově vyráběných aut na vodík s použitím palivového článku stále moc není. Níže jsou 2 modely, které jsou k dispozici na českém trhu.

	Hyundai Nexo 	Toyota Mirai 
Cena od [Kč]	1 900 000	1 760 000
Výkon elektromotoru [kW]	120	134
Výkon palivového článku [kW]	95	128
Pohotovostní hmotnost [kg]	1 900	1925
Objem nádrže [l/kg]	156,6/6,3	142,2/5,6
Doba tankování [min]	5	5
Kapacita trakčního akumulátoru [kWh]	1,56	1,2
Kombinovaná spotřeba paliva* [kg/100km]	0,95	0,84
Dojezd* [km]	666	650
Kombinované emise CO ₂ * [g/km]	0	0
Záruka na trakční akumulátor	8 let/200 000 km	5 let/100 000 km

Tab. 5 – Charakteristiky zvolených automobilů na vodík [53],[54].

*Podle WLTP (Světově harmonizovaný testovací postup pro osobní vozidla)



5.2 Infrastruktura

Další velkou překážkou života s vodíkovým autem je absence tankovací infrastruktury. První veřejná vodíková plnicí stanice byla otevřena v červnu 2022 v Ostravě-Vítkovicích. Plnička je zatím ve zkušebním provozu a je otevřena pro veřejnost v pracovních dnech od 7 do 17h. Prozatím platí jednotná cena tankování 2500 Kč bez ohledu na objem nádrže [55]. Cena provozu výše uvedených vozidel by se v tomto případě pohybovala kolem 3,8 Kč/km.

V sousedním Německu je k dispozici 95 veřejných plnicích stanic a 1 kg vodíku v průměru vychází na 12,85 € (platí k 15.12.2022) [56]. Plná nádrž u Toyoty Mirai stojí 71,96 € (cca 1750 Kč). Což v přepočtu na 1 km vychází na 2,69 Kč/km. Hyundai Nexo je na tom cenově o něco hůř – 2,94 Kč/km.

Další veřejné plnicí stanice by se měly v nejbližší době objevit také v Praze a Litvínově. Dle letošní dohody ministrů dopravy, všechny velké silnice v Evropě by měly být do konce roku 2030 vybaveny na každých 200 km plnicí stanicí na vodík [55]. Ke skladování stlačeného vodíku na plnicích stanicích slouží velkoobjemové ocelové tlakové nádoby.



Obr. 16 – Plnění stlačeného vodíku



Dalším možným způsobem uskladnění či transportu vodíku je zkapalňování za velmi nízké teploty $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ a musí být trvale udržována. Zkapalňování vodíku je dost energeticky náročný proces. Ztráty při skladování jsou zhruba 3 % za den. Kolem 40 % z celkové energie obsažené v palivu se spotřebuje na samotné zkapalňování. Pro automobily toto řešení není vhodné, neboť i při téměř dokonalé izolaci se vodík postupně odpařuje a v kryogenním zásobníku se zvyšuje tlak. Tento přebytný tlak z bezpečnostních důvodů je nutné odpouštět mimo zásobník [50].

Elektřina potřebná pro elektrolýzu je vyrobena, jaká je tedy účinnost všech následujících procesů (tzv. well-to-wheel)? Vodík se vyrábí elektrolýzou s účinností 60 %. Stlačování vyrobeného vodíku a jeho následná přeprava probíhá s účinností 90 %. Přeměnou vodíku na elektřinu v palivovém článku se ztratí dalších 50 % energie. Posledním bodem je elektromotor, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou s průměrnou účinností 95 %. Celková účinnost je tedy zhruba 26% [57].

Dle některých zdrojů (např. [58]), účinnost elektrolýzy a palivových článků může dosahovat hodnot až 75 %, tím se pak celková účinnost vodíkového pohonu se může zvýšit na cca 38 %.

5.3 Výpočet emisí vodíkového automobilu

Celkové emise vodíkového auta, stejně jako v předchozích kapitolách, se skládají z výrobních (výroba auta a paliva) a provozních emisí.

Jelikož vodíková auta jsou mnohem méně rozšířená než elektrická, potkat je na silnici je skoro nereálné. S tím také souvisí nižší zájem ze strany veřejnosti a menší počet vědeckých studií ohledně technické a hlavně emisní stránky vodíkových automobilů. Z důvodu chybějících informací ohledně výrobních emisí automobilových palivových článků, tyto hodnoty jsem musel přiměřeně zvolit ($2\text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$). Nejvíce emisí vzniká při výrobě auta, palivových článků a trakční baterie.



Emise z výroby auta bez palivových článků a trakční baterie jsou zvolené stejně jako v předchozích kapitolách:

$$\text{Hyundai Nexo: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 6 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Toyota Mirai: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{auto}) = 7 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

Emise z výroby palivových článků a trakční baterie:

$$\text{Hyundai Nexo: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{baterie} + \text{články}) = 82 * 1,56 / 1000 + 2 = 2,1 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Toyota Mirai: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{baterie} + \text{články}) = 82 * 1,2 / 1000 + 2 = 2,1 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

Provozní emise na zelený a šedý vodík za 200 000 km se vypočítají dle vzorce:

$$\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{provoz}) = \text{spotřeba} * 200\ 000 / 100 * \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{vodík}) / 1000 [\text{t}_{\text{CO}_2\text{eq}}],$$

kde $\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{vodík}) = 5,5 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{eq}}/\text{kg}$ vyrobeného šedého vodíku [52]. U zeleného vodíku považujeme, že má nulové výrobní emise.

$$\text{Hyundai Nexo: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{provoz}) = 0,95 * 200\ 000 / 100 * 5,5 / 1000 = 10,5 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Toyota Mirai: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{provoz}) = 0,84 * 200\ 000 / 100 * 5,5 / 1000 = 9,2 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

Celkové emise automobilu s vodíkovým pohonem se skládají z výrobních (auto + baterie a články) a provozních emisí:

Šedý vodík:

$$\text{Hyundai Nexo: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{celkové}) = 6 + 2,1 + 10,5 = 18,6 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

$$\text{Toyota Mirai: } \text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} (\text{celkové}) = 7 + 2,1 + 9,2 = 18,3 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$$

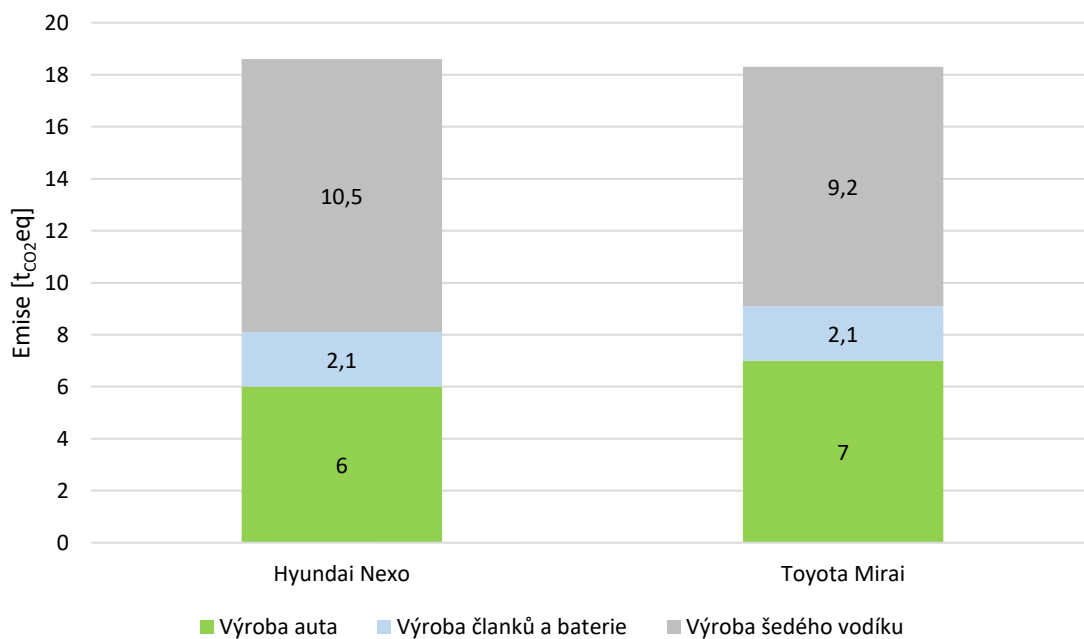


Zelený vodík:

- Hyundai Nexso: $\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} \text{ (celkové)} = 6 + 2,1 + 0 = 8,1 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$
- Toyota Mirai: $\text{Emise}_{\text{CO}_2\text{eq}} \text{ (celkové)} = 7 + 2,1 + 0 = 9,1 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{eq}}$

	Hyundai Kona	Toyota Mirai
Emise z výroby auta [t _{CO2eq}]	6	7
Emise z výroby palivových článků a baterie [t _{CO2eq}]	2,1	2,1
Emise z výroby šedého vodíku [t _{CO2eq}]	10,5	9,2
Emise z výroby zeleného vodíku [t _{CO2eq}]	0	0
Celkové emise (šedý vodík) [t _{CO2eq}]	18,6	18,3
Celkové emise (zelený vodík) [t _{CO2eq}]	8,1	9,1

Tab. 6 – Shrnutí emisí vodíkového automobilu



Graf 8 – grafické znázornění emisí vodíkového automobilu

Výhody auta na vodík:

- Rychlé tankování porovnatelné s konvenčním pohonem (cca 5 min)
- Lokálně bezemisní pohon
- Nízká hlučnost
- Okamžitá odezva elektromotoru
- Nezávislost na fosilních palivech



Nevýhody auta na vodík:

- Vysoká cena palivových článků a vodíku, zlevňování až po začátku masové výroby
- Složitější konstrukce oproti elektromobilu
- Chybějící infrastruktura – nutnost velkých investic
- Kapacita plnicích stanic je cca 8 aut za hodinu [55] (v porovnání s elektromobilem se ale jedná o výhodu)
- Nízká celková účinnost (tzv. tank-to-wheel) 26 až 38 %.
- Nutnost čistého vodíku – energeticky náročná výroba

6 Porovnání pohonů

Pro přehlednější porovnání zanalyzovaných pohonů slouží tab. 7, kde jsou shrnuty vybrané parametry jednotlivých pohonů. Porovnávací tabulka neobsahuje syntetická paliva a spalování vodíku ve spalovacím motoru z důvodu absence ověřených technických informací, které jsou nutnou podmínkou pro korektní porovnání technických parametrů. Jelikož každý pohon měl několik zástupců, v tab.7 jsou uvedeny průměrné hodnoty každé skupiny zástupců.



	Konvenční pohon	Elektromobil	Vodíkové auto
Požizovací cena vozu ¹ [Kč]	490 000	1 139 000	1 830 000
Celková účinnost (well-to-wheel) ¹ [%]	20	80	32
Celkové emise za 200 000 km v ČR ¹ [t _{CO2eq}]	41,1	24,6	18,5 (šedý vodík) 8,6 (zelený vodík)
Cena provozu na 100 km ^{1,2} [Kč]	215	142	282
Počet veřejných čerpacích stanic v ČR [ks]	3883	323 ³	1
Hustota energie v zásobníku energie ¹ [kWh/kg]	11,3	0,16	16
Váha zásobníku energie včetně paliva ¹ [kg]	44	400	120

Tab. 7 – Porovnání vybraných parametrů u jednotlivých pohonů (stav dat k 12/2022)

¹ uvedená hodnota je průměr z hodnot všech automobilů uvedených v jednotlivých kapitolách

² cena nezahrnuje servisování a pojištění vozů

³ pro správnější porovnání bylo přepočteno (viz kapitola „elektromobilita“)



7 Závěr

Po analýze alternativních pohonů provedené v této diplomové práci se dá konstatovat, že nástupci konvenčního pohonu přináší řadu výhod a také nevýhod. Z ekologického hlediska se potvrdilo tvrzení, že elektromobily a vodíková auta jsou méně škodlivá pro okolí než klasické vozy spalující fosilní paliva. Nejsou ale zcela bezemisní a je tam určitý prostor pro snížení výrobních a hlavně provozních emisí.

Elektromobil, auto na vodík a auto na syntetická paliva potřebují pro svůj pohon velké množství elektrické energie, kde se ale skrývá velká část emisní stopy těchto pohonů. Množství znečišťujících látek způsobených provozem lokálně bezemisních vozidel ovlivňuje původ elektřiny. Je totiž velký rozdíl mít elektromobil v Norsku nebo v Polsku. Ekologický dopad na přírodu je naprosto odlišný. Provoz elektromobilů v zemích s vysokým emisním faktorem nemusí dávat smysl, v tomto případě je třeba nejdřív zdokonalit technologie v energetickém odvětví a až pak začít prosazovat elektromobilitu jako takovou.

Na konci každé kapitoly byly popsány výhody a nevýhody jednotlivých pohonů. Osobně si myslím, že celý automobilový průmysl nemusí jít jenom směrem elektromobility a ostatní pohony by mohly pokrývat některé oblasti, kde elektromobilita není nejlepším řešením. Zkusím se teď zaměřit na každý pohon zvlášť a popsat možné oblasti využití.

1) Spalování syntetických paliv a vodíku ve spalovacích motorech.

Oba pohony jsou ve fázi vývoje a testování, a zatím není úplně jasné, jestli se podaří dotáhnout vývoj do zdárného konce a uvést tyto paliva na trh. Každopádně by se jednalo o účinný způsob snížení výfukových emisí u současných vozidel se spalovacími motory. Automobilky by pak nemusely redukovat nabídku spalovacích motorů po začátku platnosti normy EURO 7 a stále se zpřísnujících předpisech EU. Po roce 2035, kdy se zatím



předpokládá ukončení prodeje nových automobilů se spalovacími motory, by se tato paliva teoreticky mohla využívat ve spalovacích motorech i nadále, pokud se ale podaří prokázat ekologičnost těchto paliv. S tím ale ještě budeme muset počkat a situace do roku 2035 se může změnit. Využití těchto pohonů by se našlo v jakékoliv dopravě – osobní, nákladní, vlakové, lodní a letadlové. Otázkou je jenom možnost velkoobjemové výroby, která zatím není zodpovězena.

2) Elektromobilita

K hlavním nevýhodám elektromobilů patří vysoká hmotnost trakčních baterií, delší čas nabíjení oproti konvenčnímu pohonu a vodíku a vyšší pořizovací cena. Výrobci akumulátorů se pokouší jak vyvinout nové technologie, tak i vylepšit ty současné. Teď ale musíme pracovat s tím, co v současnou chvíli máme.

Elektrický pohon je vhodný primárně pro osobní a menší užitková vozidla. Nákladní vozy potřebují ke svému pohybu s přívěsem obrovský výkon a jezdí s tím převážně na velké vzdálenosti. Aby tyto požadavky mohla pokrýt trakční baterie, musela by vážit několik tun, což by redukovalo hmotnost zboží, které nákladní vůz bude schopen dopravit. O porovnání doby nabíjení vs. tankování naftou není ani řeč. Zkratka elektrický pohon patří do rozměrově menší dopravy, která nepotřebuje tak velký výkon.

3) Vodíková doprava

Sice už existují sériová osobní auta na vodík, za mě by měl najít uplatnění spíš u nákladních vozidel. Z důvodů nižší účinnosti, vysoké pořizovací ceny vozu a chybějící vodíkové infrastruktury v ČR, elektromobilita je jasným vítězem v kategorii osobních vozidel. Opakem je ale nákladní doprava, které vodík přináší spoustu výhod oproti elektromobilitě. Nákladní vozy nepotřebují mít tak tolik plnicích stanic, kolik by potřebovaly osobní vozy. Tlakové láhve mají menší váhu a objem díky větší energetické hustotě stlačeného vodíku. Tankování a dojezd by se přibližně rovnal současným parametrům konvenčních nákladních vozidel. Také by se vodík dále využíval u vlakové, lodní a letadlové dopravy.



8 Použitá literatura:

- [1] *Změna klimatu* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu
- [2] *Global and European temperatures* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu
- [3] *Emise skleníkových plynů v EU* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-eu-detail>
- [4] *Světové emise* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-eu-detail>
- [5] *Světové emise* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- [6] *Oil and petroleum products* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview#Oil_imports_dependency
- [7] *Norma Euro* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Emisn%C3%AD_norma_Euro#Historie
- [8] *Jak se měří emise* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-svet-cs/za-oponou-cs/pohled-do-zakulisi-jak-se-meri-emise/>
- [9] *Zelená dohoda pro Evropu* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zelen%C3%A1_dohoda_pro_Evropu
- [10] *CO2 emission standarts for new cars* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698920/EPRS_BRI\(2022\)698920_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698920/EPRS_BRI(2022)698920_EN.pdf)



- [11] *Report vehicles in use Europe 2022* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.acea.auto/files/ACEA-report-vehicles-in-use-europe-2022.pdf>
- [12] *Fuel types of new cars* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-11-9-hybrid-22-6-and-petrol-37-8-market-share-in-q3-2022/>
- [13] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [14] *Paliva pro motorová vozidla* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/wp-content/uploads/2021/02/Druhy_paliv_pro_motorova_vozidla_12_2.pdf
- [15] *Informace k 6. balíčku sankčních opatření EU* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/aktuality-a-media/aktuality/informace-cappo-k-navrhu-tzv-6-baliku-sankcnich-opatreni-eu>
- [16] *Mapa ropovodů* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/cisla-a-fakta/mapa-ropovodu-a-produktovodu-vnbspcr>
- [17] *Seznam čerpacích stanic* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/statistika-a-evidence-cerpacich-a-dobijecich-stanic/seznam-verejnych-cerpacich-stanic-pohonnych-hmot--stav-k-5--9--2022--269806/>
- [18] *Cena paliv* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena/>
- [19] *Škoda Fabia* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/_doc/20d11161-c3ba-4519-abef-4138bdf051cb
- [20] *Škoda Octavia* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/_doc/760c63e9-64a9-47fd-9fd2-7afc6fe82f47
- [21] *Hyundai Kona* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://s7g10.scene7.com/is/content/hyundaiautoever/kona-tech-datapdf>



- [22] *Výpočet emisí CO₂* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/vypocet-emisi-co2/>
- [23] *Producing gasoline and diesel* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://innovationorigins.com/en/producing-gasoline-and-diesel-emits-more-co2-than-we-thought/>
- [24] *Greenpeace, crashing climate* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.greenpeace.de/publikationen/Crashing%20the%20Climate%20engl%20L.F.pdf>
- [25] *Kam kráčíš, elektromobilito?* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/verejnost/pr-media/pribehy-z-ustavu/kam-kracis-elektromobilito/>
- [26] *How do gasoline cars work* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-gasoline-cars-work>
- [27] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [28] *GreenNCAP assessment* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://www.greenncap.com/wp-content/uploads/Green-NCAP-Life-Cycle-Assessment-Methodology-and-Data_2nd-edition.pdf
- [29] *Efficiency of ICE* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/news/evs-more-efficient-than-internal-combustion-engines/>
- [30] *eFuels* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/what-are-efuels>
- [31] *Fischerova syntéza* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fischerova%20%80%93Tropschova_synt%C3%A9za



- [32] *Carbon reduction* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.cbinsights.com/research/direct-air-capture-corporate-carbon-reduction/>
- [33] *eFuel plant Porsche* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://newsroom.porsche.com/en/2021/company/porsche-construction-begins-commercial-plant-production-co2-neutral-fuel-chile-25683.html>
- [34] *How do BEV cars work* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- [35] *O ekologii elektromobilů* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=u2zF2SZfjC0&list=PLKV-6KPNb3JMFUanA3Xh72Bp3u0ljVozC&index=24>
- [36] *AC/DC nabíjení* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/ac-dc-nabijeni>
- [37] *Nabíjecí stanice* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/statistika-a-evidence-cerpacich-a-dobijecich-stanic/seznam-verejnych-dobijecich-stanic--stav-k-30--11--2022--271573/>
- [38] *Ceník nabíjení elektromobilu* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/e-on-novy-cenik-nabijeni-elektromobilu-zdrazeni>
- [39] *Baterie elektromobilu* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu>
- [40] *Renault Zoe* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.renault.cz/elektricke-vozy/zoe.html>
- [41] *Hyundai Ioniq 6* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://s7g10.scene7.com/is/content/hyundaiautoever/loniq+6pdf>
- [42] *Hyundai Kona* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://s7g10.scene7.com/is/content/hyundaiautoever/kona-ev-tech-datapdf>



- [43] *Volvo ICE vs. BEV report* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Market-Assets/INTL/Applications/DotCom/PDF/C40/Volvo-C40-Recharge-LCA-report.pdf>
- [44] *Emisní faktor ČR* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/emisni-faktor-co2-z-vyroby-elektriny-za-leta-2010_2021--260559/
- [45] *Electricity map* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://app.electricitymaps.com/map>
- [46] *2. život baterií* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-zivot-baterii/>
- [47] *Fuel cell solutions* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.kebamerica.com/blog/fuel-cell-vehicle-auxiliary-inverter-solutions/>
- [48] *Palivový článek* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/palivovy-clanek>
- [49] *How do fuel cell cars work* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>
- [50] *Skladování vodíku* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/skladovani-vodiku>
- [51] *Spalování vodíku* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://ceskavedadosveta.cz/vedci-chteji-snit-emise-spalovacich-motoru-pridanim-vodiku-k-fosilnim-palivum/>
- [52] *Výroba vodíku* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/vyroba-vodiku>
- [53] *Hyundai nexo* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://s7g10.scene7.com/is/content/hyundaiautoever/nexo-tech-datapdf>



[54] *Toyota Mirai* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z:

https://pdf.sites.toyota.cz/cenik_mirai.pdf

[55] *1. veřejná vodíková čerpací stanice v ČR* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z:

<https://www.novinky.cz/clanek/auto-cesko-ma-prvni-verejnou-stanici-k-cerpani-vodiku-stoji-v-ostrave-40401553>

[56] *Hydrogen price* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://h2.live/en/>

[57] *Hydrogen car efficiency* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z:

<https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=1bf1cbf0-ac2f-4b39-a3de-2df77a9a515e>

[58] *Hydrogen car efficiency* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z:

<https://www.theweek.co.uk/arts-life/motoring/954133/hydrogen-cars-explained-fuel-cells-efficiency-and-zero-emissions>