

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Diplomová práce

**Vliv alternativních paliv na provozní parametry
osobního vozidla**

Albert Urban

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Albert Urban

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vliv alternativních paliv na provozní parametry osobního vozidla

Název anglicky

Impact of alternative fuels on the operating parameters of a passenger car

Cíle práce

Cílem práce je posoudit vliv alternativních paliv na provozní parametry spalovacího motoru.

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků experimentů budou formulovány závěry diplomové práce.

Práce bude zpracována dle osnovy:

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Praktická část práce
6. Výsledky a diskuse
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50 stran včetně obrázků a tabulek

Klíčová slova

motor, vozidlo, spotřeba

Doporučené zdroje informací

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STROJNÍ FAKULTA, – REMEK, B. Experimentální měření v dopravní technice. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03057-1.

HEYWOOD, John B. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill, c1988. ISBN 007028637X.

HROMÁDKO, J. Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

VLK, F. Dynamika motorových vozidel : jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, říditelnost, ovladatelnost, stabilita. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2024

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2024

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Vliv alternativních paliv na provozní parametry osobního vozidla jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. března 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jakubu Maříkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady poskytnuté při vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší vliv alternativních paliv na provozní parametry osobního vozidla. Cílem bylo vytvořit ucelený přehled o alternativních palivech, ověřit vlastnosti vybraných alternativních paliv na konkrétním vozidle a vyhodnotit možnosti jejich využití v reálném provozu. Měření bylo provedeno na válcové zkušebně během standardizovaného jízdního cyklu. Zkoušenými palivy byly metylester řepkového oleje (MEŘO) a hydrogenovaný rostlinný olej (hydrotreated vegetable oil, HVO), referenčním palivem byla motorová nafta. S ohledem na produkci emisí skleníkových plynů, spotřebu paliva a vstupní suroviny pro výrobu vychází jako perspektivnější palivo HVO.

Klíčová slova: motor, vozidlo, spotřeba

Impact of alternative fuels on the operating parameters of a passenger car

Abstract

This master's thesis addresses the impact of alternative fuels on the operational parameters of a passenger vehicle. The aim was to create a comprehensive overview of alternative fuels, verify the properties of selected alternative fuels on a specific vehicle, and evaluate the possibilities of their use in real-world operation. Measurements were conducted on a chassis dynamometer during a standardized driving cycle. The tested fuels were fatty acid methyl ester (FAME) and hydrotreated vegetable oil (HVO), with diesel fuel as the reference fuel. In terms of greenhouse gas emissions, fuel consumption, and the raw materials used in production, HVO is the more promising fuel.

Keywords: engine, vehicle, fuel consumption

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Metodika práce.....	3
4	Přehled řešené problematiky	5
4.1	Alternativní paliva.....	5
4.1.1	Definice alternativních paliv na úrovni EU	5
4.2	Nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropské unie 2023/1804	6
4.2.1	Předmět nařízení	6
4.3	Elektrická vozidla	7
4.3.1	Výhody elektrické trakce	8
4.3.2	Elektromobily.....	8
4.3.3	Plug-in hybridy	12
4.4	Biopaliva	15
4.4.1	Biopaliva první generace	16
4.4.2	Biopaliva druhé generace.....	18
4.4.3	Biopaliva třetí generace	20
4.5	Vodík.....	23
4.5.1	Výhody vodíku jako paliva pro dopravní prostředky:	24
4.5.2	Nevýhody vodíku jako paliva pro dopravní prostředky a překážky v jeho masové komercializaci	24
4.5.3	FCEV	25
4.5.4	Přímé spalování vodíku ve spalovacím motoru	27
4.5.5	Současná spotřeba vodíku.....	27
4.5.6	Tradiční využití vodíku.....	28
4.5.7	Nové oblasti využití vodíku	29
4.5.8	Využití vodíku v dopravě.....	29
4.5.9	Vodíkové čerpací stanice	32
4.5.10	Výroba vodíku.....	32
4.6	Jízdní cykly	33
4.6.1	NEDC.....	33
4.6.2	WLTP.....	34
4.6.3	Porovnání NEDC a WLTP.....	36
5	Praktická část	37

5.1	Použité vozidlo	37
5.2	Použité přístroje	38
5.2.1	Válcová zkušebna	38
5.2.2	Ventilátor FILCAR AL – 1500/C	40
5.2.3	Plynový analyzátor MATRIX MG-5	41
5.2.4	Laboratorní váha VIBRA AJ-6200CE	41
5.3	Použitý software	42
5.3.1	VCDS	42
5.3.2	ControlWeb – jízdní cykly	43
5.3.3	OPUS GA	43
5.4	Použitá paliva	44
6	Výsledky a diskuse	45
6.1	Emise	45
6.1.1	Emise oxidu uhličitého	45
6.1.2	Emise oxidu uhelnatého	46
6.1.3	Emise oxidů dusíku	47
6.2	Spotřeba paliva	48
7	Závěr	50
8	Použitá literatura	52

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam vzorců

Seznam zkratk

Seznam symbolů

1 Úvod

Doprava se po přechodu od animální trakce stala jedním z největších spotřebitelů energie na světě, její podíl činí cca 30 %. Dopravní prostředky v silniční, vodní a letecké dopravě jsou poháněny převážně hmotami ropného původu, pouze dráhy využívají ve větší míře elektrickou energii. Fosilní paliva jsou velkým zdrojem emisí skleníkových plynů. Pro splnění požadavků Kjótského protokolu, Konference OSN o udržitelném rozvoji Rio+20 a Pařížské dohody musí být tato paliva alespoň částečně nahrazena. Doprava je jedním z nejvýznamnějších světových producentů emisí, na čemž se ze 73 % podílí silniční doprava.

Celková produkce skleníkových plynů v EU dlouhodobě klesá. Od roku 1990 do vypuknutí pandemie COVID-19 klesly celkové emise skleníkových plynů v EU i ČR o cca 30 %. V oblasti dopravy je trend opačný, protože dochází k zásadnímu nárůstu dopravních výkonů. To vedlo k nárůstu produkce emisí v EU o 16 % a v ČR o cca 50 %. Celkové dopravní emise v EU mohou vlivem opatření klesat, v letecké a námořní dopravě však budou i nadále růst.

Znečištěné ovzduší má zásadní, mnohdy až fatální, vliv na lidské zdraví. Zvyšuje výskyt cévních mozkových příhod, kardiovaskulárních onemocnění, rakoviny plic a akutních a chronických respiračních onemocnění. V roce 2019 žilo 99 % světové populace v oblastech, ve kterých nebyly plněny limity kvality ovzduší stanovené Světovou zdravotnickou organizací (World Health Organization, WHO). Vlivem znečištění venkovního ovzduší v roce 2019 zemřelo předčasně 4,2 milionu lidí. [1]

Fosilní paliva jsou neobnovitelný zdroj energie. Přestože jsou stále objevena nová naleziště, celkové zásoby fosilních paliv neustále klesají. Pro zajištění udržitelného rozvoje společnosti musí být tato paliva nahrazena.

Závislost na importu nerostných surovin činí země vydíratelné a ohrožuje jejich obranyschopnost. Stejně jako mnohokrát v historii i dnes jsou nerostné suroviny předmětem konfliktů. Zejména ruská energetická politika před zahájením plnohodnotné invaze na Ukrajinu v únoru 2022 odhalila skutečnou míru evropské energetické závislosti na Ruské federaci a nepřípravenost Evropy na takovou situaci.

Alespoň částečným řešením výše uvedených problémů je nahrazení konvenčních fosilních paliv jinými palivy nebo druhy pohonu. Alternativních paliv, která mohou snížit spotřebu konvenčních fosilních paliv nebo je potenciálně plně nahradit, existuje mnoho. Některá z nich, např. zemní a ropný plyn, sice jsou náhradou, ale stále se jedná o neobnovitelná fosilní paliva, která lze používat pouze jako přechodné řešení, dlouhodobě jsou neperspektivní. Tato práce bude respektovat rozdělení alternativních paliv stanovené na unijní úrovni, ale podrobně se bude věnovat pouze těm, která mají potenciál plně nahradit fosilní paliva jakožto zdroj energie pro pohon silničních vozidel.

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce na téma „Vliv alternativních paliv na provozní parametry osobního vozidla“ je vytvoření rešeršní a praktické části v oblasti alternativních paliv. Rešeršní část bude tvořit ucelený přehled o alternativních palivech. Bude respektováno stanovení alternativních paliv dané na unijní úrovni, ale detailněji budou popsána pouze ta alternativní paliva, která mají potenciál plně nahradit fosilní paliva jakožto zdroj energie pro pohon silničních vozidel. Cílem praktické části je reálné ověření vlastností vybraných alternativních paliv na konkrétním vozidle a vyhodnocení možnosti jejich využití v reálném provozu.

3 Metodika práce

Zkoušené vozidlo bude umístěno hnanou nápravou na válcovou zkušebnu a zajištěno parkovací brzdou a čtyřmi popruhy, které budou připevněny k vlečným okům vozidla a ukotveny k zemi na druhé straně. Umístění popruhů bude rovnoměrné, dva budou vepředu a dva vzadu. Do koncovky výfuku bude zasunuta trubice vedoucí přes filtr do plynového analyzátoru MATRIX MG-5. Prevenci kondenzace vody a z ní vyplývajícího znehodnocení měření zajistí vyhřívání trubice a filtru. Schéma zapojení měřících přístrojů je na obr. 1.

Měření budou prováděna během jízdního cyklu NEDC. Zkoušenými palivy budou metylester řepkového oleje (MEŘO) a hydrogenovaný rostlinný olej (anglicky hydrotreated vegetable oil, HVO), referenčním palivem bude motorová nafta. MEŘO i HVO budou součástí směsí, ve kterých bude 90 % alternativního paliva a 10 % motorové nafty. Nejprve budou uskutečněny 3 cykly při provozu na referenční palivo (motorovou naftu), následně 3 měření při provozu na 90 % MEŘO, poté budou provedeny 3 cykly s využitím 90 % HVO a na závěr se uskuteční 3 měření při provozu na referenční palivo, aby byla zjištěna opakovatelnost měření. Celkem bude provedeno 12 jízdních cyklů.

Před začátkem měření budou provedeny kontroly:

- tlaků v pneumatikách a jejich porovnání s hodnotou danou výrobcem;
- paměti závad pomocí OBD;
- funkčnosti jednotlivých přístrojů a měřícího řetězce jako celku;
- polohy vozidla na válcové zkušebně; a
- zajištění vozidla na válcové zkušebně – parkovací brzdy a popruhů.

Válcová zkušebna bude ovládána prostřednictvím počítače a ovládacího software ControlWeb – jízdní cykly. Měření budou prováděna na motoru zahřátém na provozní teplotu 90 °C. Kontinuálně bude probíhat sledování teploty vzduchu v hale. Absenci náporového chlazení motoru, které je v běžném provozu zajišťováno pohybem vozidla, bude kompenzovat ventilátor FILCAR AL – 1500/C.

Otáčky motoru, hmotnostní množství vzduchu, hmotnost sazí ve filtru pevných částic, tlak paliva, absolutní sací tlak, teplotu na vstupu do filtru pevných částic a rozdíl tlaků u filtru pevných částic bude zaznamenávat a ukládat s vzorkovací frekvencí +/- 1 Hz program VCDS. Hodnoty emisí bude zaznamenávat a ukládat plynový analyzátor MATRIX MG-5. Naměřené hodnoty z programu VCDS a plynového analyzátoru MATRIX MG-5 bude následně nutné synchronizovat a převzorkovat na 1 s, což bude provedeno lineární interpolací v tabulkovém procesoru Microsoft Excel.

Palivo bude zkoušenému vozidlu dodáváno palivovým čerpadlem z externí palivové nádrže, jež bude umístěna na laboratorní váze VIBRA AJ-6200CE. Váha bude připojena k ovládacímu počítači válcové zkušebny. Jejím úkolem bude zjišťovat spotřebu paliva gravimetrickým principem, při kterém se měří hmotnostní úbytek. Měření využívající gravimetrický princip nevyžaduje zohlednění proměnlivosti hustoty paliva a není zatíženo z ní vyplývající nepřesnosti měření. Váha je však necitlivá na změny v plynné části paliva. Pro minimalizaci nepřesnosti měření vyplývající z této necitlivosti bude použita uzavřená externí nádrž.

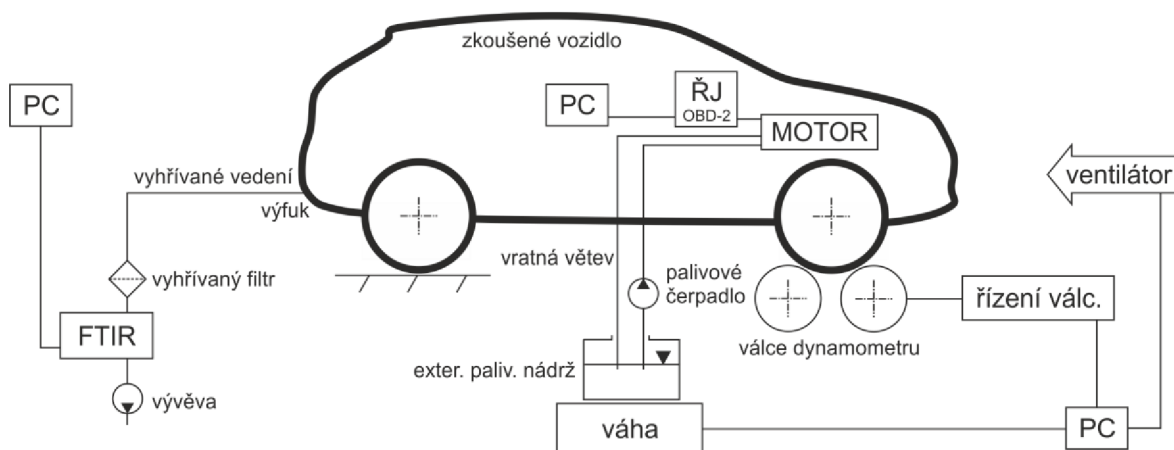
Na konci měření bude provedena výstupní kontrola měřicího řetězce a záloha naměřených dat. Výfukové plyny budou v průběhu měření nasávány a odváděny odsávacím systémem z prostoru měřicího stanoviště a ven z budovy.

Naměřené hodnoty budou statisticky zpracovány. Průměrné hodnoty budou vypočteny ze vztahu

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

kde \bar{y} je průměrná hodnota, n je počet hodnot a y_i jsou jednotlivé naměřené hodnoty.

Obr. 1 Schéma zapojení měřících přístrojů



Zdroj: KVPD TF ČZU

4 Přehled řešené problematiky

V této kapitole jsou definována a rozdělena alternativní paliva, popsána vybraná alternativní paliva s potenciálem plně nahradit konvenční fosilní paliva a popsány a porovnány jízdní cykly používané pro schvalování silničních vozidel v rámci EU.

4.1 Alternativní paliva

Alternativní paliva jsou paliva nebo zdroje energie, které umožňují alespoň částečně nahradit konvenční paliva z ropy. Obvykle produkují méně emisí než konvenční paliva. Některá alternativní paliva se vyrábí z lokálně dostupných obnovitelných zdrojů, což může snížit závislost některých zemí na importu nerostných surovin a zvýšit jejich energetickou bezpečnost. [2] [3]

4.1.1 Definice alternativních paliv na úrovni EU

Na unijní úrovni jsou alternativní paliva definována směrnicí Evropského parlamentu a Rady EU 2014/94 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva z roku 2014. Tato směrnice definuje alternativní paliva jako paliva nebo zdroje energie, které slouží alespoň z části jako náhrada zdrojů fosilní ropy v dodávkách energie pro dopravu a které mají potenciál přispět k její dekarbonizaci a zvýšit environmentální výkonnost odvětví dopravy. Patří mezi ně mj.:

- elektřina;
- vodík;
- biopaliva;
- syntetická a parafínická paliva;
- zemní plyn, včetně biometanu:
 - v plynné formě – stlačený zemní plyn (CNG); a
 - ve zkapalněné formě – zkapalněný zemní plyn (LNG); a
- zkapalněný ropný plyn (LPG). [2]

4.2 Nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropské unie 2023/1804

Směrnice 2014/94 bude zrušena s účinkem ode dne 13. dubna 2024 a bude nahrazena nařízením Evropského parlamentu a Rady EU 2023/1804 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva, jež vstoupí v platnost téhož dne. [4]

Nařízení 2023/1804 ponechává původní definici pojmu „alternativní paliva“, ale mění jejich dělení na:

- alternativní paliva s nulovými emisemi:
 - elektřina;
 - vodík; a
 - amoniak.
- obnovitelná paliva:
 - paliva z biomasy a bioplynu; a
 - syntetická a parafinická paliva, včetně amoniaku, která byla vyrobena pomocí energie pocházející z obnovitelných zdrojů.
- neobnovitelná alternativní paliva a přechodná fosilní paliva:
 - zemní plyn v plynné formě – stlačený zemní plyn (CNG);
 - zemní plyn ve zkapalněné formě – zkapalněný zemní plyn (LNG);
 - zkapalněný ropný plyn (LPG); a
 - syntetická a parafinická paliva, která nebyla vyrobena pomocí energie pocházející z obnovitelných zdrojů. [4]

4.2.1 Předmět nařízení

Předmětem nařízení je stanovení:

- povinných vnitrostátních cílů pro zavedení dostatečné infrastruktury pro alternativní paliva používaná v silničních a kolejových vozidlech, plavidlech a stojících letadlech;
- společných technických specifikací a požadavků na informace pro uživatele, poskytování dat a platební požadavky;

- pravidel pro vnitrostátní rámce politiky zavádění infrastruktury pro alternativní paliva v oblastech, pro které nejsou určeny povinné celounijní cíle a podávání zpráv o zavádění této infrastruktury; a
- mechanismu podávání zpráv s cílem podpořit spolupráci a zajistit spolehlivé sledování pokroku.

4.3 Elektrická vozidla

Elektrina je obnovitelné alternativní palivo, jež se používá v elektrických vozidlech již od 19. století. Pro své výhody získala zásadní až stoprocentní podíl na drahách železničních, tramvajových, trolejbusových i lanových. Drážní dopravní prostředky využívají zpravidla závislou trakci, proud je tedy průběžně přiváděn z vnějšího vedení např. trolejového vedení nebo třetí kolejnice. Tato řešení jsou pro potřeby silniční dopravy neflexibilní, proto vyvstává potřeba nezávislé trakce, kdy si vozidlo veze zdroj energie – trakční akumulátor.

Pohon elektrických silničních vozidel zajišťují vysoce účinné elektromotory, kterým je dodávána elektrická energie z trakčních akumulátorů. Podle zdroje elektrické energie se elektrická vozidla dělí na:

- Hybridy získávají energii pro pohon výhradně ze spalovacího motoru. Vozidla jsou vybavena trakčními akumulátory, které nemohou být nabíjeny z vnějšího zdroje, energie je poskytována pouze rekuperací. Hybridy nemohou být dlouhodobě provozovány v čistě elektrickém režimu.
- Plug-in hybridy mají trakční akumulátory s vyšší kapacitou a mohou být dobíjeny z vnějšího zdroje. Čistě elektrický provoz je možný na kratší vzdálenosti.
- Elektromobily nemají spalovací motory, jedná se o plně elektrická vozidla. [5] [6]

Problematiku zavádění infrastruktury pro dobíjení elektrických vozidel řeší na unijní úrovni nařízení Evropského parlamentu a Rady EU 2023/1804 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva, jež vstoupí v platnost 13. dubna 2024. [4]

4.3.1 Výhody elektrické trakce

Elektrická trakce přináší řadu výhod, díky kterým má nezastupitelnou roli na drahách. Z jejího využití v silničních vozidlech plynou jisté problémy, které však neeliminují výhody, mezi které patří např.:

- menší dopad na životní prostředí – vozidla jedoucí na elektřinu jsou bezemisní, elektrická energie může být obnovitelná a bezemisní, skutečný vliv závisí na lokálním energetickém mixu;
- elektromotory zajišťují vysoké zrychlení vozidla, nízkou hlučnost a plynulý chod;
- potenciálně nižší provozní náklady;
- možnost rekuperace – proces v průběhu brzdění, při kterém hnací elektromotor v generátorovém režimu přeměňuje kinetickou energii vozidla na elektrickou energii, která je následně uložena do trakčního akumulátoru; a
- energetická bezpečnost – elektrická energie může být vyráběna lokálně s využitím lokálních vstupů, což snižuje energetickou závislost států importujících nerostné suroviny. [7] [8]

4.3.2 Elektromobily

Elektromobily jsou vozidla poháněná trakčním elektromotorem, kterému dodává elektrickou energii trakční akumulátor. Dobíjení je zajišťováno z vnějšího zdroje – dobíjecí stanice nebo zásuvky. Přestože při výrobě elektřiny může docházet k produkci skleníkových plynů, elektromobily jsou považovány za bezemisní vozidla z důvodu, že při jejich provozu nedochází k lokálnímu vypouštění škodlivin. [5] [7]

V současné době jsou komerčně dostupné osobní i nákladní elektromobily. Pořizovací náklady elektromobilů jsou obvykle vyšší než u srovnatelných vozidel s konvenčním pohonem, celkové náklady však mohou být sníženy využitím dotací, slev pro elektromobily a díky nižším provozním nákladům. [5]

Při cestách na delší vzdálenosti vyvstávají omezení v podobě znatelně kratšího dojezdu na jedno nabití a nabíjecí doby, jež jsou násobně delší než čas potřebný pro natankování obdobného konvenčního vozidla. Neustálý vývoj tyto rozdíly postupně snižuje pomocí např. rostoucího výkonu nabíječek, výstavbou rychlonabíjecích stanic nebo zvyšování energetické hustoty trakčních akumulátorů. [5] [8]

Skutečný dojezd elektromobilu je proměnlivá hodnota, jež závisí na řadě faktorů, např. na:

- dosahovaných hodnotách zrychlení – intenzivní zrychlení zvyšuje spotřebu, intenzivní brzdění omezuje využitelnost rekuperace;
- rychlosti jízdy – při vyšších rychlostech je obvykle vyšší spotřeba;
- sklonu komunikace;
- vnější teplotě, která ovlivňuje potřebu termoregulace kabiny vozidla; a
- hmotnosti nákladu ve vozidle samotném nebo v přívěsu/návěsu. [5] [9]

Vyšší účinnosti dosahují elektromobily při provozu ve městech, kde dochází k častému brzdění, což umožňuje využívat potenciálu rekuperace. Při meziměstském a dálničním provozu je účinnost nižší, protože obvykle nedochází k častému brzdění a více energie se spotřebovává pro překonání jízdních odporů, jež jsou při vyšších rychlostech významnější. [5] [9]

4.3.2.1 Výhody elektromobilů

Elektromobily nabízí ve srovnání s konvenčními vozidly řadu koncepčních výhod, díky nimž mohou potenciálně v budoucnu vozidla spalující fosilní paliva nahradit. Mezi hlavní výhody elektromobilů patří např.:

- relativně vysoká energetická účinnost – elektromobily využijí v závislosti na jízdním cyklu pro pohon 60 - 73 % elektrické energie dodané ze sítě, při zohlednění rekuperace může účinnost vozidla činit více než 77 % (pro srovnání lze uvést, že celková účinnost vozidel poháněných motorem spalujícím konvenční paliva činí 12 - 30 %);
- potenciálně nižší provozní náklady;
- možnost rekuperace;
- nižší vliv na životní prostředí – neprodukují skleníkové plyny (jedná se o bezemisní vozidla) a elektřina může být vyráběna bez produkce emisí;
- elektromobily vyžadují méně údržbových zásahů ve srovnání s konvenčními vozidly;
- elektromotory zajišťují vysoké zrychlení vozidla, nízkou hlučnost a plynulý chod;
- významné bezpečnostní výhody – elektřina se vyrábí lokálně, což výrazně zvyšuje energetickou bezpečnost států, které jsou závislé na dovozu fosilních paliv; a
- minimální spotřeba elektřiny při stání. [7] [8] [9]

4.3.2.2 Nevýhody elektromobilů

Elektromobily mají řadu nevýhod, jež plynou převážně z jejich konceptu, omezeného poznání vědy a techniky, nevyzrálosti některých jejich celků a omezené dostupnosti dobíjecí infrastruktury. Mezi hlavní nevýhody elektromobilů patří např.:

- vyšší pořizovací náklady;
- dojezd nedosahující hodnot běžných u vozidel poháněných fosilními palivy;
- dlouhá doba nabíjení, i při využití rychlonabíječky trvá nabití do 80 % řádově desítky minut;
- trakční akumulátor elektromobilu má omezenou životnost, v rámci životnosti vozidla ho může být nutné vyměnit;
- životnost trakčního akumulátoru je výrazně ovlivněna klimatickými podmínkami, ve kterých je vozidlo provozováno, náročné klimatické podmínky mohou zkrátit životnost trakčního akumulátoru o několik let; a
- omezený počet dobíjecích stanic – jedná se o dočasný problém, který je řešen na národní i unijní úrovni. [7] [8]

4.3.2.3 Náklady na životní cyklus elektromobilu

Problematika nákladů na životní cyklus je u elektromobilu vlivem velkého počtu proměnlivých faktorů složitější než v případě konvenčního vozidla. Charakteristickým znakem nákladů na životní cyklus elektromobilu jsou vysoké jednorázové výdaje a nižší provozní náklady. Mezi hlavní vlivy patří např.:

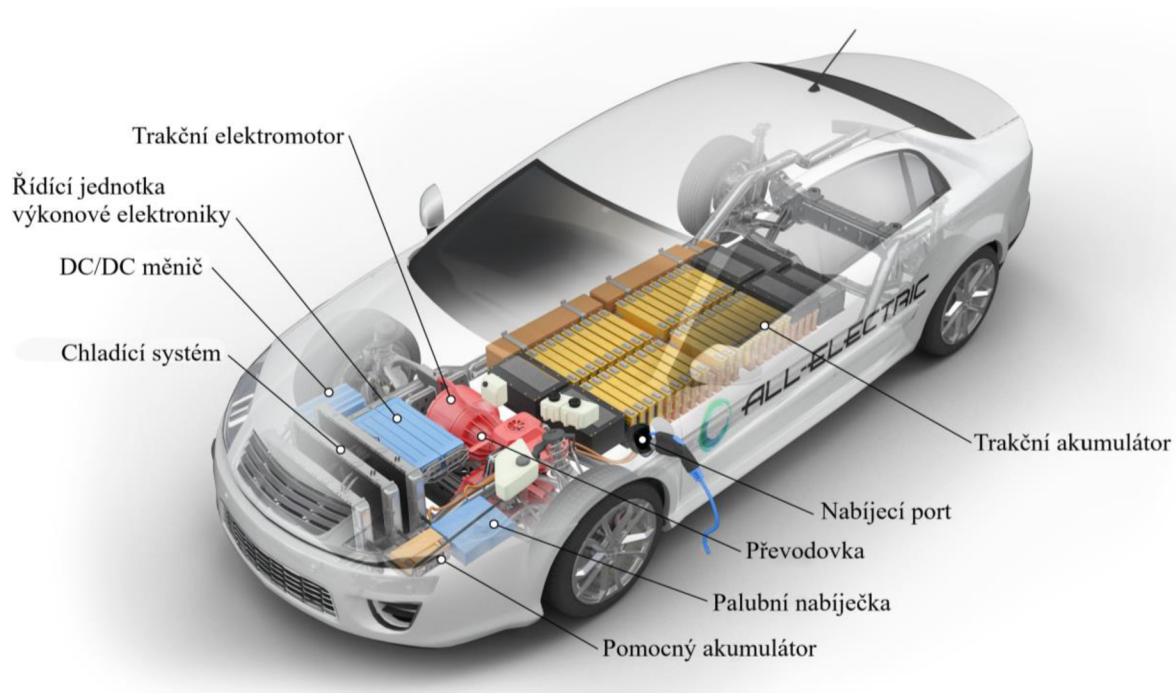
- vyšší pořizovací náklady než v případě srovnatelného konvenčního vozidla;
- existence dotačních titulů na pořízení elektromobilů;
- dostupné slevy a výhody pro elektromobily – např. za parkování nebo využívání pozemních komunikací;
- elektrická energie je obvykle levnější než odpovídající množství fosilního paliva;
- možnost rekuperace;
- konstrukční jednoduchost a nižší opotřebení některých částí elektromobilu; a
- omezená životnost trakčního akumulátoru a případná nutnost jeho výměny. [5] [7]

4.3.2.4 Hlavní součásti elektromobilu

Elektromobily jsou konstrukčně relativně jednoduchá vozidla a využívají komerčně rozšířené technologie. Mezi hlavní součásti elektromobilu, jež jsou zachyceny na obr. 2, patří:

- trakční elektromotor – stroj, který přeměňuje elektrickou energii z trakčního akumulátoru na mechanickou energii;
- řídicí jednotka výkonové elektroniky – řídí otáčky a kroutící moment trakčního elektromotoru a dodávky elektrické energie z trakčního akumulátoru;
- DC/DC měnič (neboli stejnosměrný měnič) – snižuje velikost stejnosměrného napětí z trakčního akumulátoru na hodnotu potřebnou pro napájení příslušenství ve vozidle a dobíjení pomocného akumulátoru;
- chladicí systém – zajišťuje vhodnou provozní teplotu trakčního elektromotoru, elektroniky a dalších součástí;
- nízkonapěťový pomocný akumulátor – poskytuje elektřinu pro příslušenství ve vozidle;
- palubní nabíječka – přeměňuje střídavý proud (AC) dodávaný ze sítě na stejnosměrný proud (DC) potřebný pro nabíjení trakčního akumulátoru, mezi další funkce patří sledování parametrů akumulátoru (napětí, proud, teplota a míra nabití) a komunikace s nabíječkou; a
- vysokonapěťový trakční akumulátor – je v něm uložena elektrická energie pro pohon vozidla. [10]

Obr. 2 Hlavní součásti elektromobilu (upraveno)



Zdroj: převzato z [10]

4.3.3 Plug-in hybridy

Plug-in hybridy jsou hybridní vozidla vybavená trakčním elektromotorem poháněným trakčním akumulátorem a jiným druhem pohonu, obvykle se jedná o spalovací motor.

Ve srovnání s hybridními vozidly má trakční akumulátor plug-in hybridu obvykle vyšší kapacitu, a navíc může být nabíjen z vnějšího zdroje. Kapacita je volena s ohledem na technické parametry vozidla tak, aby bylo možné dosáhnout výrazného snížení spotřeby fosilního paliva při běžných provozních podmínkách. [6] [11]

Dnešní plug-in hybridy mají obvykle bezemisní dojezd v řádu desítek kilometrů, poté je pro pohon využíván spalovací motor. Při provozu ve městě běžně pochází většina trakční energie z akumulátoru. [6]

Způsoby nabíjení trakčního akumulátoru plug-in hybridu:

- z vnějšího zdroje (zásuvka nebo dobíjecí stanice);
- rekuperace – proces v průběhu brzdění, při kterém hnací elektromotor v generátorovém režimu přeměňuje kinetickou energii vozidla na elektrickou energii, která je následně uložena do trakčního akumulátoru; a
- spalovacím motorem. [6]

Využívání elektrické energie ze sítě a rekuperace umožňují snížit:

- provozní náklady – elektrická energie je obvykle levnější než fosilní paliva;
- spotřebu paliva o 30 až 60 % ve srovnání s obdobným konvenčním vozidlem;
- negativní vliv provozu vozidla na životní prostředí; a
- energetickou závislost zemí importujících nerostné suroviny. [6] [11]

Míra využití výhod plug-in hybridu výrazně závisí na náročnosti provozu vozidla mezi po sobě následujícími nabíjeními akumulátoru. Není-li vozidlo nabíjeno, jeho ekonomika provozu bude srovnatelná s obdobným hybridním vozidlem. Je-li vozidlo používáno pro kratší trasy a často nabíjeno, lze dosáhnout výhradně elektrického provozu. [6] [11]

Mezi hlavní nevýhody plug-in hybridů patří vyšší pořizovací náklady a relativně dlouhá doba nabíjení trakčního akumulátoru. Na rozdíl od elektromobilů nejsou plug-in hybridy závislé na vnějších zdrojích elektrické energie, proto mohou jezdit i na delší vzdálenosti bez dlouhých přestávek na nabíjení. [11]

Spalovací motor je využíván jako zdroj elektrické energie, když:

- je trakční akumulátor téměř vybitý;
- je třeba velkého zrychlení vozidla; nebo
- je třeba velkého topného nebo chladícího výkonu. [6]

U některých nákladních plug-in hybridů je princip opačný, spalovací motor zajišťuje pohon a trakční akumulátor zajišťuje chlazení a vytápění kabiny a pohon vybavení vozidla. [6]

Plug-in hybridy je možné dělit podle jejich uspořádání na sériové a paralelní. Hlavním rozdílem je způsob využívání energie ze spalovacího motoru. [6][11]

Paralelní uspořádání plug-in hybridu

Spalovací motor i trakční elektromotor mohou přímo zajišťovat pohon vozidla, což umožňuje dosáhnout velkého celkového výkonu vozidla. Pohon může být výhradně elektrický, výhradně mechanický nebo kombinovaný. Při nízkých rychlostech se využívá elektrický pohon, při vyšších rychlostech je pohon obvykle kombinovaný. Nevýhodou je mechanická složitost. [6] [11]

Sériové uspořádání plug-in hybridu

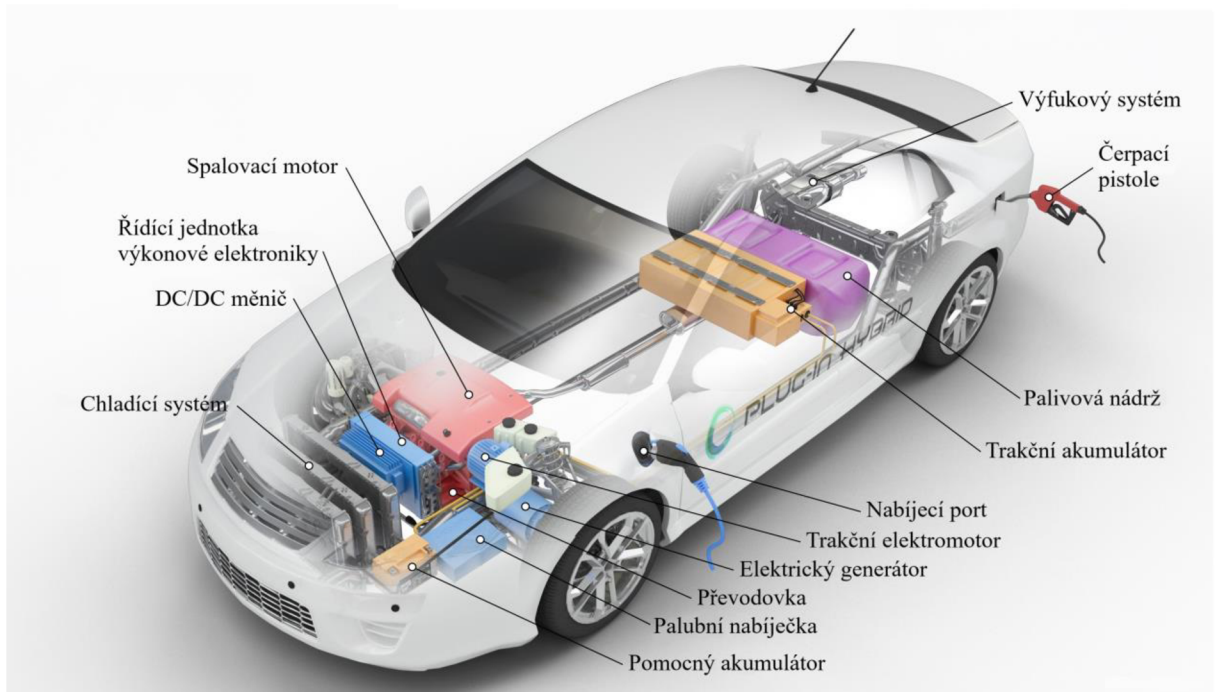
Pohon vozidla zajišťuje výhradně elektromotor. Spalovací motor je využíván výhradně ke generování elektrické energie pro nabíjení akumulátoru a pohon elektromotoru. Účelem spalovacího motoru je prodloužení dojezdu. Výhodou je možnost provozu spalovacího motoru v optimálním režimu bez ohledu na okamžitou potřebu výkonu. Nevýhodou je vícenásobná přeměna energie a z ní plynoucí nižší celková účinnost. [6] [11]

4.3.3.1 Hlavní součásti plug-in hybridu

Plug-in hybridy jsou konstrukčně relativně náročné, protože kombinují dva druhy pohonu. Mezi hlavní součásti plug-in hybridu, jež jsou zachyceny na obr. 3, patří:

- spalovací motor – v závislosti na uspořádání vozidla generuje elektrickou energii, případně se přímo podílí na pohonu;
- řídicí jednotka výkonové elektroniky – řídí otáčky a kroutící moment trakčního elektromotoru a dodávky elektrické energie z trakčního akumulátoru;
- DC/DC měnič (neboli stejnosměrný měnič) – snižuje velikost stejnosměrného napětí z trakčního akumulátoru na hodnotu potřebnou pro napájení příslušenství ve vozidle a dobíjení pomocného akumulátoru;
- chladicí systém – zajišťuje vhodnou provozní teplotu spalovacího motoru, trakčního elektromotoru, elektroniky a dalších součástí;
- nízkonapěťový pomocný akumulátor – poskytuje elektřinu pro nastartování vozidla a pro příslušenství ve vozidle;
- palubní nabíječka – přeměňuje střídavý proud (AC) dodávaný ze sítě na stejnosměrný proud (DC) potřebný pro nabíjení trakčního akumulátoru, mezi další funkce patří sledování parametrů akumulátoru (napětí, proud, teplota a míra nabití) a komunikace s nabíječkou;
- elektrický generátor – zajišťuje rekuperaci při brzdění, elektrický generátor je pouze ve vozidlech, jejichž motor nemá režim generátoru;
- trakční elektromotor – stroj, který přeměňuje elektrickou energii z trakčního akumulátoru na mechanickou energii a případně zajišťuje rekuperaci; a
- vysokonapěťový trakční akumulátor – je v něm uložena elektrická energie pro pohon vozidla. [12]

Obr. 3 Hlavní součásti plug-in hybridu (upraveno)



Zdroj: převzato z [12]

4.4 Biopaliva

Biopaliva jsou tekutá nebo plynná paliva vyráběná převážně z biomasy, v dopravě nejběžnější jsou bionafta a bioetanol. Další biopaliva, např. čistý rostlinný olej nebo bioplyn, se pro účely dopravy využívají výrazně méně. [13]

Biopaliva jsou obnovitelný zdroj energie, biologicky rozložitelná a méně nešetrná k životnímu prostředí než konvenční fosilní paliva. Mají vyšší cetanové číslo a mazivost. Obsahují méně síry a produkují méně emisí. Biopaliva se vyrábí z rostlinných olejů (palmový, sójový, kokosový, řepkový, řasový atd.), použitého kuchyňského oleje nebo živočišných tuků. Jedná se o vstupní suroviny, jež jsou ve značném množství dostupné na národní úrovni, což zvyšuje energetickou bezpečnost států. [13]

Používání biopaliv z obnovitelných zdrojů pomáhá snížit spotřebu fosilních paliv a produkci oxidu uhličitého, protože rostliny při svém růstu tento skleníkový plyn spotřebovávají. Množství oxidu uhličitého produkovaného spálením biopaliva se rovná množství, jež bylo spotřebováno při fotosyntéze, proto nedochází k nárůstu celkového množství oxidu uhličitého v atmosféře. [14]

Na začátku 21. století se začala v EU používat biopaliva s cílem omezit závislost na fosilních palivech a snížit emise bez toho, aby byly nutné významné investice do infrastruktury a vozidel. Tehdejší spalovací motory mohly spalovat paliva obsahující nízký obsah biopaliv smíchaných s konvenčním fosilním palivem. [13]

Biopaliva se dělí na:

- biopaliva první generace;
- biopaliva druhé generace; a
- biopaliva třetí generace.

Biopaliva druhé a třetí generace se označují jako tzv. pokročilá biopaliva. [13]

4.4.1 Biopaliva první generace

Biopaliva první generace využívají vyspělé a zavedené technologie produkce bioetanolu z rostlinného cukru a škrobu, bionafty z olejnatých plodin a zvířecího tuku a biometanu prostřednictvím anaerobní digesce. Biopaliva první generace jsou paliva vyráběná z jedlých potravinářských plodin vypěstovaných na orné půdě, např. řepky, kukuřice, sóji nebo cukrové třtiny. Tato paliva sice plní svůj hlavní úkol, částečně nahrazují fosilní zdroje a omezují produkci oxidu uhličitého, ale přináší řadu problémů, např.:

- Biopaliva první generace jsou vyráběna z plodin, které mohou být použity jako potrava pro lidi nebo krmivo pro zvířata, proto představují konkurenci pro potravinářský průmysl. Zvýšená poptávka po těchto plodinách může vést k nárůstu cen potravin a v některých oblastech ke zhoršení dostupnosti potravin.
- Tato paliva jsou vyráběna z hlavních produktů zemědělské produkce, což nepřímo zvyšuje požadavky na plochu orné půdy a způsobuje změnu využívání půdy. Vyšší poptávka po plodinách může vést k záboru nových ploch, odlesňování nebo neadekvátně intenzivnímu využívání stávajících zemědělských ploch.
- Výroba je méně udržitelná.
- Mnohé vstupní suroviny mají nestálé ceny.
- Produkují více emisí ve srovnání s pokročilými biopalivy.
- Náklady na ušetřenou tunu oxidu uhličitého jsou vysoké. [13] [14]

Biopaliva první generace mohou být:

- smíchána s konvenčními palivy, distribuována prostřednictvím existující infrastruktury a používána v existujících spalovacích motorech;
- použita v existujících alternativních vozidlech, např. vícepalivová vozidla; a
- použita ve vozidlech na zemní plyn. [14]

4.4.1.1 Bionafta

MEŘO (metylester řepkového oleje, angl. fatty acid methyl ester, FAME) je bionafta vyrobená z rostlinných olejů nebo živočišných tuků chemickým procesem zvaným transesterifikace. V EU se vyrábí zejména z řepkového a slunečnicového oleje. Ve Spojených státech se pro výrobu používají zejména sójové boby. Ze vstupních surovin je oddělena voda a nežádoucí příměsi, následně jsou smíchány s alkoholem (obvykle metanolem) a katalyzátorem. Dojde k rozbití molekul oleje a vzniku metylesteru a glycerolu. Tyto složky jsou následně odděleny a chemicky vyčištěny. Produktem procesu je rovněž glycerol, jež se používá např. v zemědělství či chemickém průmyslu. Metylestery mohou být smíchány s konvenční naftou nebo použity jako čisté biopalivo. [13]

Význam vlivu biopaliva na provozní parametry vozidla závisí na poměru biopaliva a konvenčního paliva. Osobní automobily nevyžadují úpravy motoru při použití paliva, jež obsahuje do 7 % biopaliva, v případě nákladních vozidel a autobusů může být podíl biopaliva až 30 %. [13]

MEŘO má pro svůj vyšší obsah kyslíku nižší výhřevnost, což způsobuje nárůst spotřeby paliva. Ve srovnání s motorovou naftou s výrazně sníženým obsahem síry (Ultra-low-sulfur diesel, ULSD) má vozidlo poháněné čistou bionaftou spotřebu paliva vyšší až o 15 %. [15]

4.4.1.2 Bioetanol

Bioetanol vzniká fermentací a následnou destilací obilovin a plodin obsahujících cukr. V EU se bioetanol vyrábí převážně z cukrové řepy a zrní. Globálně se využívá např. cukrová třtina vhodná pro svůj vysoký obsah cukru, kukuřice a jiné plodiny obsahující škrob, maniok jedlý, čirok cukrový a batáty. Využití čiroku cukrového a jiných alternativních plodin obsahujících cukr otevírá v Evropě nové možnosti, zejména v teplejších a sušších oblastech jižní a východní Evropy. Čirok cukrový vyžaduje méně vody a živin, má vyšší obsah fermentovatelného cukru než cukrová třtina a kratší dobu růstu.

Výroba bioetanolu první generace je založena na vyspělých a zavedených technologiích. [13]

Vedlejší produkty výroby bioetanolu se liší v závislosti na metodě výroby a použitých vstupních surovinách. Vedlejším produktem bioetanolu z rostlin obsahujících škrob je krmivo pro dobytek, obvykle ve formě sušených lihovarnických výpalků s rozpustnými složkami (anglicky Dried Distillers Grains with Solubles – DDGS). [13]

V drtivé většině vozidel se zážehovým motorem je možné bez úprav motoru použít palivo obsahující nízký podíl bioetanolu, např. palivo E10, jež tvoří maximálně z 10 % bioetanol a minimálně z 90 % benzín. V EU lze E10 použít ve všech automobilech vyrobených po roce 2010 a přibližně 85 % vyrobených před tímto rokem. Paliva s vysokým poměrem bioetanolu, např. E85 (85 % ethanolu), vyžadují úpravy motoru. [13]

4.4.1.3 Butanol

Butanol je alkohol obsahující čtyři atomy uhlíku oproti dvěma atomům u ethanolu a má vyšší energetickou hustotu. Může být vyráběn z obilnin, cukrové třtiny, cukrové řepy atd. Ve vozidlech se zážehovým motorem je možné bez úprav motoru použít palivo obsahující až 85 % butanolu, zbytek tvoří benzín. [13]

4.4.2 Biopaliva druhé generace

Biopaliva druhé generace se vyrábí z dřevní a lignocelulózové biomasy, zemědělských a lesnických odpadů, bioodpadu z domácností a energetických plodin. Při využití odpadních surovin nedochází k záboru pastvin a orné půdy, proto taková paliva nepředstavují konkurenci pro potravinářský průmysl. [13] [14]

Ve srovnání s "konvenčními" biopalivy první generace je očekáváno zvýšení udržitelnosti a snížení konkurence pro potravinářský průmysl, k čemuž však nemusí dojít, jsou-li pro výrobu použity energetické plodiny. Jedná se o plodiny vypěstované na orné půdě za účelem výroby biopaliva. Energetický výnos na plochu vyjádřený v gigajoulech na hektar ($\text{GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) je u těchto plodin obvykle vyšší než v případě plodin využívaných pro biopaliva první generace vypěstovaných na stejné ploše, přetrvává však problém konkurence pro potravinářský průmysl. Energetické plodiny používané pro biopaliva druhé generace obsahují lignin, hemicelulózu nebo celulózu, jedná se např. o: trst' rákosovitou, ozdobnici čínskou, pšeničnou slámu a výmladkové topoly a vrby. [13]

Biopaliva druhé generace mají potenciál pro vyšší objem výroby a nižší produkci skleníkových plynů než biopaliva první generace. [13]

Technologie výroby biopaliv druhé generace je složitější a dražší ve srovnání s generací první, protože zpracování celulóзовých vstupních surovin je náročnější než rostlin obsahujících cukr nebo škrob. Produkce biopaliv druhé generace je udržitelnější, protože nedochází ke změnám využití půdy a stabilnější díky nezávislosti na nestabilním trhu s jedlými plodinami. Výhodou je, že mnohé energetické plodiny mohou být pěstovány na málo úrodných nebo degradovaných plochách. [13]

Alternativou transesterifikace je proces zvaný hydrotreatment, který zvyšuje kvalitu paliva pomocí odstranění sloučenin síry a dusíku a nasycením aromatických a dalších nenasycených sloučenin. Pro hydrotreatment se používají rostlinné oleje, živočišný tuk a použitý kuchyňský olej. Výsledkem je vysoce kvalitní bionafta, která je kompatibilní se stávající palivovou infrastrukturou, motory a zařízeními pro snížení emisí. Hydrotreatment produkuje čisté uhlovodíky, obsahující pouze uhlík a vodík, což snižuje problémy s kompatibilitou, ale vyžaduje následné smíchání biopaliva pro dosažení hustoty, jakou mají konvenční paliva. [13]

4.4.2.1 HVO

Hydrogenovaný rostlinný olej, anglicky hydrotreated vegetable oil (HVO), je biopalivo vyrobené z rostlinných olejů, např. řepkového, slunečnicového, sójového nebo palmového oleje, a zvířecích tuků. HVO je mix parafinických uhlovodíků, neobsahuje síru ani aroma. Má vysoké cetanové číslo a vlastnosti podobné fosilní motorové naftě, oproti ní má vyšší mazivost a lepší vlastnosti pro skladování. [16] [17]

Může být použit v konvenčních vznětových motorech bez úprav. HVO lze libovolně míchat s fosilní motorovou naftou. Lze ho použít nejen smíchaný s fosilní motorovou naftou, ale i samostatně, proto může přímo nahradit konvenční motorovou naftu u stávajících motorových vozidel. [16] [17]

V porovnání s fosilní motorovou naftou a bionaftou vykazuje HVO nižší spotřebu paliva a nižší produkci nespálených uhlovodíků, oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a oxidů dusíku. Vysoké cetanové číslo HVO ovlivňuje produkci pevných částic, při nízké zátěži spalovacího motoru dochází k mírnému nárůstu z důvodu spalování s menším množstvím dostupného kyslíku, při vysoké zátěži spalovacího motoru dochází k poklesu emisí z důvodu nepřítomnosti aromatických uhlovodíků. Celková produkce pevných částic je při použití HVO nižší než v případě čisté fosilní motorové nafty. Při použití HVO místo fosilní motorové nafty lze dosáhnout redukce emisí oxidu uhličitého o 20 % až 60 %. [16] [17] [18] [19]

HVO má dobré vlastnosti při nízkých teplotách, vysokou kvalitu spalování a dobré vlastnosti pro skladování. Ve srovnání s biopalivy založenými na esterech, např. FAME nebo alkoholy, má HVO vyšší energetickou hustotu, nemá zvýšenou produkci oxidů dusíku a má menší tendenci k sedimentaci. [17] [18]

4.4.2.2 Použitý kuchyňský olej

Jako vstupní surovinu pro hydrotreatment je možné využít použitý kuchyňský olej. Jedná se o surovinu, jež je dostupná ve velkém množství po celém světě, zejména ve vyspělých zemích. Použitý kuchyňský olej je levná vstupní surovina, která zásadně zlepšuje ekonomickou životaschopnost produkce biopaliv. Nakládání s použitým kuchyňským olejem představuje značný problém z důvodu velkého množství negativních vlivů na životní prostředí a omezených možností druhotného využití. Část použitých kuchyňských olejů se používá pro další produkci, např. mýdla nebo potraviny pro zvířata, většina se však likviduje. Globálně dochází ke značnému nelegálnímu vypouštění použitých kuchyňských olejů do životního prostředí, např. řek a skládek. Využití této odpadní suroviny pro výrobu biopaliva tedy přispívá ke snížení dopadů dopravy na životní prostředí nejen omezením spotřeby fosilních paliv, ale i spotřebou tohoto jinak nevyužitelného odpadu. [13] [20]

Úřad pro energetické informace Spojených států (U. S. Energy Information Administration) v roce 2006 odhal, že denně se ve Spojených státech vyprodukuje 100 milionů galonů (378 milionů litrů) použitých kuchyňských olejů. V EU byla produkce odhadnuta až na 1,6 milionu tun za rok. V obou oblastech se očekává nárůst. [13] [20]

4.4.3 Biopaliva třetí generace

Třetí generace představuje nejpokročilejší biopaliva. Vyrábí se z nelignocelulóзовé biomasy pocházející z vodních mikroorganismů, jež jsou považovány za udržitelnou vstupní surovinu a mají výrazně vyšší výnosy v porovnání s konvenční lignocelulóзовou biomasou. Nejsou produkovány na orné půdě, proto nevzniká konkurence s potravinářským průmyslem. V dnešní době jsou biopaliva třetí generace ve fázi výzkumu a vývoje, v malém měřítku však postupně dochází k zavádění pro komerční využití. [13] [21]

Z řas je možné vyrobit řadu obnovitelných biopaliv, např. bioetanol, bionaftu, bioplyn nebo biovodík. V závislosti na vyráběném biopalivu se provádí transesterifikace nebo hydrotreatment. Až bude dokončen jejich vývoj, mají biopaliva třetí generace potenciál plně nahradit konvenční fosilní paliva. [21]

Pro výrobu biopaliv se používají vodní fotosyntetické mikroorganismy, např. mikrořasy a sinice. Tyto organismy mají řadu vhodných vlastností, např.:

- splňují požadavky na ekonomičnost, ekologičnost a udržitelnost;
- jsou schopné provádět fotosyntézu;
- rostou rychle a po celý rok – sklizeň probíhá několikrát ročně;
- mají vysokou výnosnost;
- nevzniká konkurence s potravinářským průmyslem;
- rostou ve sladké, slané, odpadní i brakické vodě;
- mají nižší spotřebu vody než rostliny používané pro konvenční biopaliva;
- nevyžadují pesticidy ani hnojiva;
- mají značnou toleranci vyššího obsahu oxidu uhličitého; a
- vznikají hodnotné vedlejší produkty. [21] [22] [23]

Jinou formou biopaliva třetí generace jsou syntetická biopaliva, která jsou však stále v počátcích vývoje a nejsou komerčně používána. [21]

4.4.3.1 Řasy jako vstupní surovina

Mikrořasy jsou pro svůj celoroční růst a vysokou frekvenci sklizní považovány za perspektivnější vstupní surovinu. [21] [22] [23]

Pro výrobu biopaliv se využívá celá řada druhů řas, některé jsou pěstovány přímo pro produkci biopaliv, jiné jsou odpad ze znečištěných vodních ploch. Využitelnost řas pro výrobu biopaliv závisí na jejich obsahu lipidů. Druhy jako chlorella jsou preferovány pro jejich vysoký obsah lipidů a výnos. Některé druhy řas obsahují vysoký podíl rostlinného oleje, který může být použit pro výrobu bionafty nebo HVO, jiné druhy mají vysoký obsah cukru a škrobu, díky čemuž jsou vhodné pro produkci bioetanolu. Hodnotnými vedlejšími produkty zpracování těchto řas mohou být např. oleje, bílkoviny nebo sacharidy. [13]

Lipidy získané z řas mohou být zpracovány transesterifikací obdobně jako bionafta, nebo hydrogenolýzou pro výrobu alkanů na úrovni petroleje, jež jsou vhodné jako plně zaměnitelný substitut konvenčního leteckého paliva. [13]

Potenciální výnosy biopaliva z řas jsou v závislosti na ploše výrazně vyšší než výnosy olejnin viz tab. 1. V případě řas, řepky olejky a palmového oleje se jedná o teoretický objem bionafty na hektar, u kukuřice je výstupem bioetanol. [13]

Tab. 1 Teoretická produkce biopaliva v závislosti na vstupní surovině a ploše

Vstupní surovina	řasy	řepka olejka	palmový olej	kukuřice
Teoretická produkce [$l \cdot ha^{-1}$]	45 000	1 500	4 500	2 500

Zdroj: [13]

Mikrořasy se skládají z mixu chemických sloučenin, např. lipidů, sacharidů a bílkovin. Množství těchto biomolekul v mikrořasách závisí např. na:

- věku organismu;
- kmenu organismu; a
- nutričním složení vody, jež má významný vliv na vznik biomasy prostřednictvím fotosyntézy a lipidů, zejména záleží na obsahu dusíku, fosforu, uhlíku a železa. [23]

4.4.3.2 Produkce řas

Pro pěstování řas není potřeba orná půda, což eliminuje konkurenci s potravinářským průmyslem. Řasy mají vysokou schopnost přežití, proto mohou být pěstovány i ve slané, odpadní a brakické vodě. Významnými faktory při pěstování řas jsou teplota a sluneční svit.

Existují tři hlavní způsoby produkce řas:

1. Nejlevnějším a nejjednodušším způsobem produkce řas je pěstování v otevřených vodních nádržích. Vyžaduje vysokou okolní teplotu. Využívá se sluneční světlo. Nevýhodou je možná kontaminace jinými organismy a případné poškození řas.
2. Pěstování řas v uzavřeném systému eliminuje riziko kontaminace. Tento způsob vyžaduje zdroj dezinfikovaného oxidu uhličitého, což ho prodlužuje a snižuje efektivitu.
3. Nejpokročilejším, nejkompexnějším a nejdražším způsobem je využití fotobioreaktoru. Jedná se o uzavřený systém, jež vykazuje výrazně vyšší výnosnost než předchozí způsoby. Využívá se umělé světlo, proto tento způsob nezávisí na okolních podmínkách. Nevýhodou jsou vysoké kapitálové a provozní náklady. [21] [22]

Řasy je možné pěstovat kdekoliv na světě. V tropických oblastech, např. Afriky a Asie, činí průměrné sluneční záření přibližně $1\,500\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, což poskytuje vhodnou teplotu $20 - 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro pěstování řas v otevřených nádržích. V chladnějších oblastech s omezeným slunečním zářením (např. Evropa a Severní Amerika) je nutné používat uzavřené systémy, což značně zvyšuje náklady. Při využití fotobioreaktoru a uzavřeného systému je produkce možná i na pouštích. [21] [24]

4.5 Vodík

Vodík je nejlehčí a nejjednodušší chemický prvek, jež tvoří většinu hmoty ve vesmíru. Jedná se o vysoce hořlavý, netoxický a bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Vodík se v prostředí nachází ve velkém množství, např. ve formě vody (H_2O), uhlovodíků nebo organických sloučenin. Oddělení vodíku z těchto chemických sloučenin je však problematické. Jedná se tedy o alternativní palivo, jež lze vyrábět ze široké škály na národní úrovni dostupných vstupních surovin, což zvyšuje energetickou bezpečnost států. V současné době je využití vodíku jako paliva v dopravních prostředcích málo rozšířené, vlády a průmysl však pracují na ekonomické, čisté a bezpečné produkci a distribuci pro široké využití v dopravě. [25]

V současné době se v relativně malých počtech používají např. vodíkové automobily, dodávky, nákladní automobily, autobusy, vlaky, vysokozdvizné vozíky nebo lodě. [25]

Hlavní způsoby získávání vodíku:

- parní reforming zemního plynu – nejběžnější a nejlevnější;
- zplyňování uhlí;
- vedlejší produkt procesů v rafinériích a průmyslu; a
- elektrolýza vody – málo rozšířený a nákladný způsob. [25] [26]

Možnosti využití vodíku pro pohon vozidel:

- chemická energie vodíku je při reakci s kyslíkem v palivovém článku přeměněna na energii elektrickou, taková vozidla se označují FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles, elektrická vozidla s vodíkovými palivovými články); a
- přímé spalování vodíku v pístovém nebo rotačním spalovacím motoru. [25]

Jeden kilogram vodíku obsahuje přibližně stejné množství energie jako 2,8 kg benzínu. Vodík má ovšem velmi malou hustotu. Aby mělo vodíkové vozidlo dojezd srovnatelný s konvenčním vozidlem, musí být palivo stlačeno. [25]

Problematiku zavádění infrastruktury pro čerpání vodíku pro silniční vozidla řeší na unijní úrovni nařízení Evropského parlamentu a Rady EU 2023/1804 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva, jež vstoupí v platnost 13. dubna 2024. [4]

4.5.1 Výhody vodíku jako paliva pro dopravní prostředky:

Vodík jako palivo pro dopravní prostředky nabízí řadu výhod, které z něj činí perspektivní alternativní palivo. Výhodami jsou např.:

- vysoká hořlavost;
- vysoké oktanové číslo;
- vysoká energetická hustota;
- FCEV emitují pouze vodní páru a teplo, při spalování vznikají i oxidy dusíku;
- nulové emise uhlíku; a
- ve srovnání s elektromobily menší spotřeba paliva, kratší doba tankování a menší dopad celého životního cyklu vozidla na životní prostředí (při zohlednění získávání surovin, výroby, provozu a likvidace). [27] [28]

4.5.2 Nevýhody vodíku jako paliva pro dopravní prostředky a překážky v jeho masové komercializaci

Použití vodíku jako paliva pro dopravní prostředky přináší řadu nevýhod a problémů, stejně jako každé jiné palivo. Vodík navíc oproti konvenčním palivům čelí jistým překážkám. Nevýhodami a překážkami jsou např.:

- vysoké pořizovací náklady vodíkových vozidel;
- vysoké kapitálové náklady potřebné infrastruktury;
- nedostatečná infrastruktura, zejména omezený počet vodíkových čerpacích stanic;
- nákladnost produkce, skladování a přepravy vodíku;
- omezená dostupnost vstupů pro výrobu – fosilních paliv a elektřiny;
- vodíková vozidla jsou konstrukčně složitá;
- technika používaná ve vodíkových vozidlech je stále ve fázi výzkumu a vývoje;
- je nutný pokrok v technice a technologiích produkce, skladování a přepravy vodíku;
- problematika bezpečnosti provozu a minimalizace rizik;
- nedostatek vyškoleného personálu;
- omezená konkurence mezi výrobci vodíkových vozidel;
- omezený technický pokrok v oblasti vodíkových palivových článků;
- omezené kapacity pro výrobu, skladování a přepravu vodíku;
- neinformovanost veřejnosti o vodíku jako palivu pro dopravní prostředky;
- složité a zdlouhavé povolená procesy; a
- chybějící zákony a předpisy. [25] [27]

4.5.3 FCEV

Elektrická vozidla s palivovými články (Fuel cell electric vehicles, FCEV), stejně jako všechna plně elektrická vozidla, používají elektrickou energii k pohonu elektromotorů. Na rozdíl od elektromobilů jsou zdrojem elektřiny vodíkové palivové články, jež přeměňují chemickou energii vodíku při reakci s kyslíčoxidem (kyslíkem) na energii elektrickou. Přestože jsou zdrojem elektřiny palivové články, FCEV mají trakční akumulátory, jež slouží pro ukládání rekuperované energie. I když by FCEV mohla mít plug-in funkci, tedy možnost dobíjení akumulátoru z externího zdroje (zásuvky nebo dobíjecí stanice), většina dnešních FCEV ji nemá. Využití uložené rekuperované elektrické energie umožňuje:

- krátkodobě zvýšit výkon;
- kompenzovat nerovnoměrnosti dodávek elektřiny z palivových článků; a
- vypnut palivové články v době nízké spotřeby elektřiny. [29]

Elektromotory při provozu mohou dostávat elektrickou energii z palivových článků a trakčních akumulátorů současně. Množství energie skladované ve vozidle závisí na kapacitě vodíkových nádrží a akumulátorů. [29] [30]

Výroba vodíku může být zdrojem emisí v závislosti na způsobu výroby, FCEV ovšem neprodukuje žádné škodlivé výfukové emise, emitují pouze vodní páru a teplý vzduch, proto jsou považována za bezemisní vozidla. [25]

FCEV s elektromotorem jsou dvakrát až třikrát účinnější než vozidlo se spalovacím motorem spalující benzín. Aby mělo FCEV dojezd srovnatelný s konvenčním vozidlem, musí být vodík stlačen na řádově desítky MPa. Tankování FCEV zabere 4 až 5 minut u osobních vozidel a 10 až 15 minut u velkých silničních vozidel. [25]

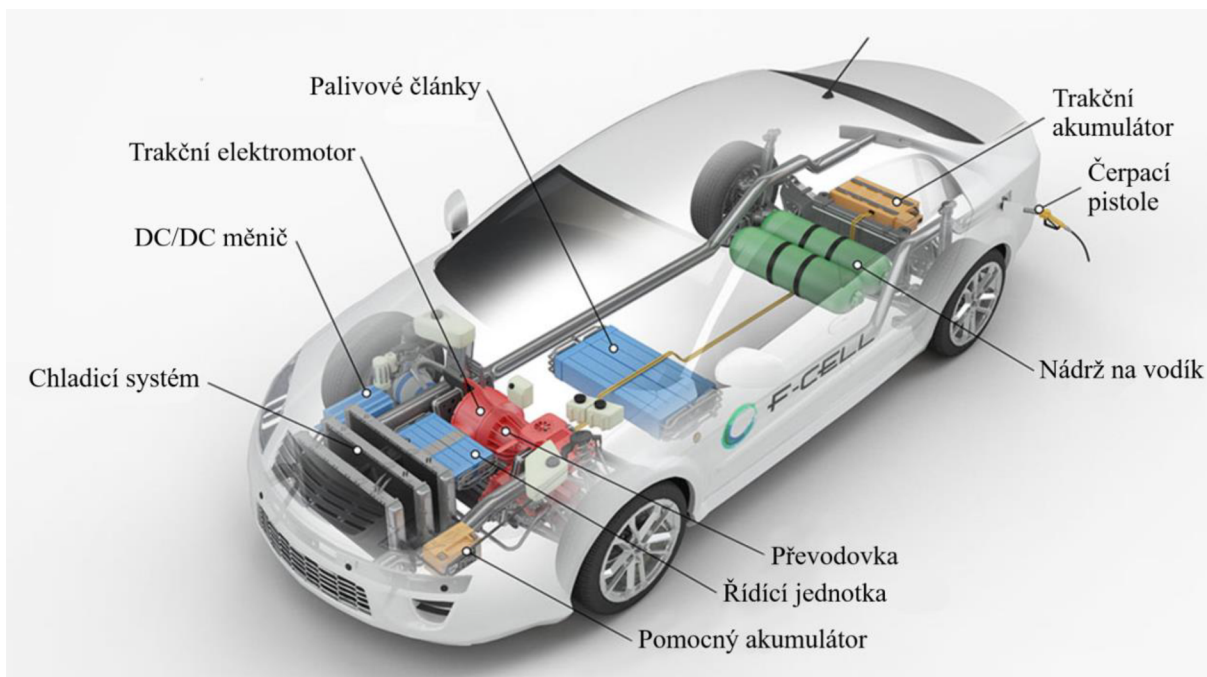
4.5.3.1 Hlavní součásti FCEV

FCEV je konstrukčně relativně blízké elektromobilu, ale má i své specifické komponenty. Mezi hlavní součásti, jež jsou znázorněny na obr. 4, FCEV patří:

- palivové články – elektrochemická zařízení, jež přeměňují chemickou energii vodíku při reakci s kyslíčoxidem (kyslíkem) na energii elektrickou;
- trakční elektromotor – stroj, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou energii;

- DC/DC měnič (neboli stejnosměrný měnič) – snižuje velikost stejnosměrného napětí z trakčního akumulátoru na hodnotu potřebnou pro napájení příslušenství ve vozidle a dobíjení pomocného akumulátoru;
- chladicí systém – zajišťuje vhodnou provozní teplotu palivových článků, trakčního elektromotoru, elektroniky a dalších součástí;
- vysokonapěťový trakční akumulátor – ukládá rekuperovanou elektřinu a poskytuje ji trakčnímu elektromotoru;
- nízkonapěťový pomocný akumulátor – poskytuje elektřinu pro nastartování vozidla a pro příslušenství ve vozidle;
- nádrže na vodík – je v nich uložen vodík ve vozidle;
- převodovka – mění otáčky a kroutící moment z trakčního elektromotoru; a
- řídicí jednotka – řídí využití elektrické energie z palivových článků a trakčního akumulátoru a řídí otáčky a kroutící moment trakčního elektromotoru. [29]

Obr. 4 Hlavní součásti FCEV (upraveno)



Zdroj: převzato z [29]

4.5.4 Přímé spalování vodíku ve spalovacím motoru

Vozidla využívající přímé spalování vodíku ve spalovacím motoru nejsou považována za bezemisní vozidla, protože při jejich provozu dochází ke vzniku velkého množství oxidů dusíku. Jednou z jejich nevýhod je nižší účinnost, než je běžná u FCEV. Spalování vodíku v existujících spalovacích motorech způsobuje problémy, např. abnormální spalování nebo zvýšenou produkci emisí oxidů dusíku. [28]

Existují dva základní způsoby využití vodíku ve spalovacích motorech:

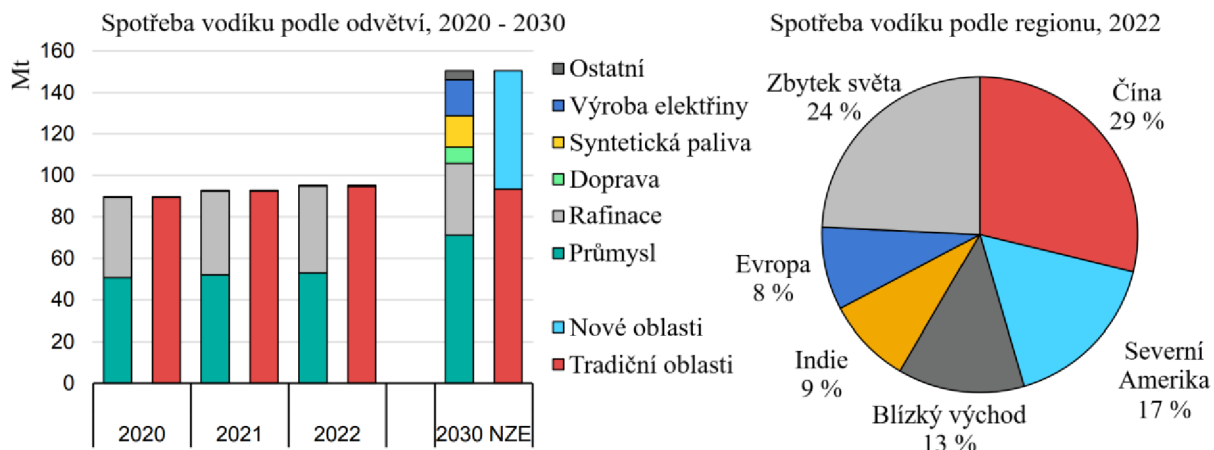
- Vodík použitý jako přísada pro zvýšení rychlosti hoření hlavního paliva a rozšíření pásma koncentrací, při kterých dojde k hoření.
- Vodík použitý jako samostatné palivo pro vodíkový spalovací motor. Mezi nevýhody patří např. střílení do sání nebo nežádoucí sekundární vzplanutí. Ve srovnání s konvenčním motorem je možné dosáhnout vyšší tepelné účinnosti a snížit emise uhlíku. [28]

4.5.5 Současná spotřeba vodíku

Globální spotřeba vodíku v roce 2022 činila 95 Mt, což představuje 3% meziroční nárůst ve srovnání s odhadem IEA pro rok 2021. Globální spotřeba vodíku dlouhodobě stoupá, výjimkou byl pouze rok 2020, který byl poznamenán pandemií onemocnění COVID-19.

Spotřeba vodíku v roce 2022 rostla ve všech hlavních regionech světa, jedinou výjimkou byla Evropa, kde došlo k omezení průmyslové produkce vlivem vysokých cen zemního plynu způsobených ruskou invazí na Ukrajinu. Pokles v Evropě činil téměř 6 %, zatímco v Severní Americe a na Blízkém východě spotřeba vzrostla přibližně o 7 %. I přes meziroční růst spotřeby pouze o 0,5 % Čína zůstává největším světovým spotřebitelem vodíku. Její podíl činí 29 %, což je více než dvojnásobek druhého největšího spotřebitele, Spojených států viz obr. 5. [26]

Obr. 5 Spotřeba vodíku (upraveno)



Poznámka: NZE (Net Zero Emissions) = bilančně nulové emise. "Ostatní" zahrnuje budovy a úpravu biopaliv

Zdroj: převzato z [26]

V roce 2022, stejně jako v předchozích letech, světová spotřeba vodíku nerostla vlivem vodíkové politiky, ale jako ostatní světové energetické trendy. Téměř k celému nárůstu došlo v tradičních odvětvích, zejména rafinace ropy a chemickém průmyslu viz obr. 5. Nedošlo ke snížení využití fosilních paliv, nárůst spotřeby vodíku tedy nevedl k omezení vlivů změny klimatu. [26]

4.5.6 Tradiční využití vodíku

Vodík se dnes používá v celé řadě odvětví, zejména v chemickém průmyslu a ocelářství. Využívá se např.: jako vstupní surovina pro výrobu amoniaku, metanolu a jiných chemických látek, redukční činidlo při výrobě železa využívající fosilní plyn nebo při rafinaci. [26]

Tradiční využití vodíku dnes představuje téměř 100 % světové spotřeby vodíku. Průmysl v roce 2022 spotřeboval 53 Mt vodíku, z toho bylo 60 % pro produkci amoniaku, 30 % pro produkci metanolu a 10 % pro výrobu oceli. [26]

Rafinérie v roce 2022 spotřebovali více než 41 Mt vodíku, jež byl z 55 % účelově vyroben přímo v rafinériích, z 25 % se jednalo o vedlejší produkt procesů v rafinériích a 20 % bylo z vnějších zdrojů. Méně než 1 % vodíku použitého v rafinériích bylo vyrobeno nízkoemisním způsobem. [26]

4.5.7 Nové oblasti využití vodíku

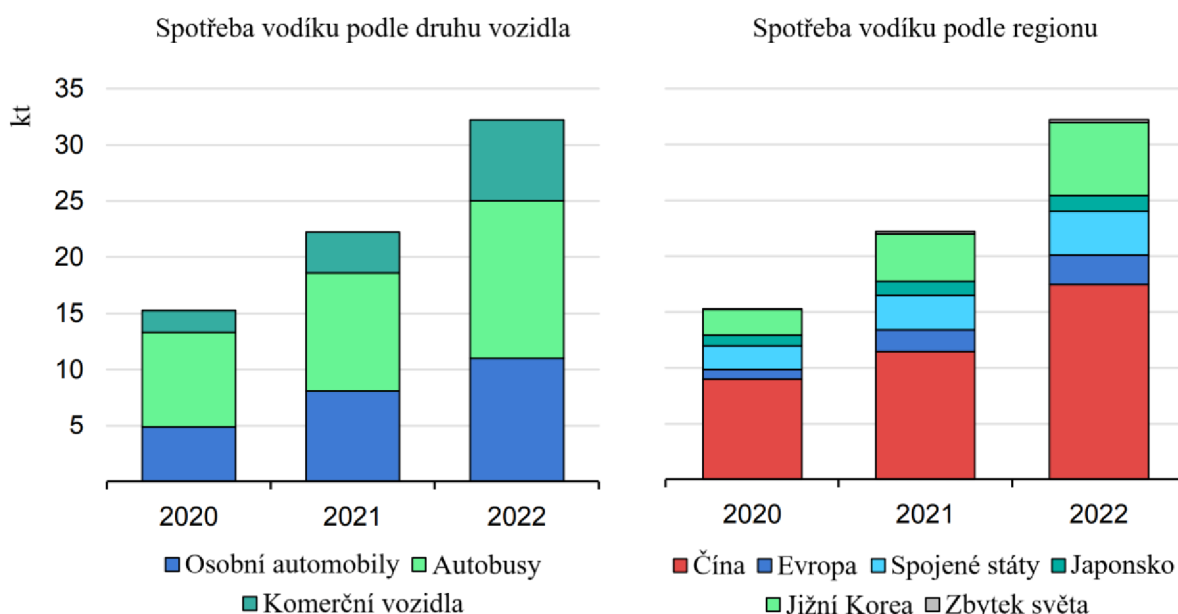
Využití vodíku v nových oblastech, jež jsou klíčové pro přechod k čisté energii, zůstává minimální, představuje méně než 0,1 % světové poptávky. Jedná se např. o: dopravu, vodíková paliva (např. amoniak nebo syntetické uhlovodíky), redukční činidlo při výrobě 100 % vodíkové oceli, výrobu a skladování elektřiny, zdroj tepla v průmyslu atd. [26]

Má-li být splněn cíl dosažení nulových emisí oxidu uhličitého do roku 2050, IEA v roce 2023 předpokládala růst spotřeby vodíku o 6 % ročně až do konce dekády. Podle tohoto předpokladu by v roce 2030 měla spotřeba vodíku překonat hranici 150 Mt, z čehož téměř 40 % by mělo pocházet z nových oblastí. [26]

4.5.8 Využití vodíku v dopravě

Spotřeba vodíku v silniční dopravě v roce 2022 meziročně vzrostla o 45 %. Vysoký relativní růst je dán nízkou absolutní spotřebou vodíku v tomto sektoru. Drtivá většina spotřeby vodíku je a v následujících letech pravděpodobně zůstane v silniční dopravě viz obr. 6. Vodík je však postupně zaváděn i do jiných druhů dopravy, např. železniční a vodní. V roce 2023 již bylo v provozu několik trajektů s palivovými články a byla objednána plavidla připravená k provozu na amoniak a metanol, což může dále zvýšit využití vodíku v dopravě, pokud dané technologie dozrají ke komerčnímu využití. [26]

Obr. 6 Spotřeba vodíku v silniční dopravě (upraveno)



Zdroj: převzato z [26]

4.5.8.1 Vodík jako palivo pro automobily a dodávky

Počet automobilů a dodávek s palivovými články v roce 2022 meziročně vzrostl o téměř 40 % na 58 000. V první polovině roku 2023 tento počet vzrostl na 63 000. I přes vysoký relativní růst zůstává absolutní počet těchto vozidel výrazně nižší než elektromobilů, kterých bylo na konci roku 2022 v provozu více než 18 milionů. [26]

V roce 2022 bylo globálně prodáno přibližně 15 000 automobilů s palivovými články, z čehož dvě třetiny byly v Jižní Koreji. Celkově je v této asijské zemi provozováno přes 32 000 automobilů s palivovými články, což z ní dělá největší trh na světě. Na druhém místě jsou Spojené státy americké, po jejichž silnicích jezdí přibližně 16 000 takových automobilů. Nejvíce lehkých komerčních vozidel s palivovými články je v provozu v Číně, kde jich jezdí přes 800. [26]

Dominance Jižní Koreje v tomto odvětví se projevuje i v pořadí nejprodávanějších automobilů s palivovými články. V roce 2022 byl na prvním místě automobil Hyundai Nexu (10 000 kusů), druhý byl automobil Toyota Mirai (3 200 kusů). Prodeje okolo 200 kusů zaznamenaly modely SAIC EUNIQ 7 a Honda Clarity. Osobní automobily s palivovými články vyvíjí např. i Kia, Porsche nebo BMW. Dodávky s palivovými články vyvíjí např. Ford nebo RONN Motor Group. Některé velké společnosti, např. Volkswagen, se místo vodíku soustředí na elektromobily. [26]

4.5.8.2 Vodík jako palivo pro nákladní automobily

Počet nákladních automobilů s palivovými články v roce 2022 meziročně vzrostl o více než 60 % na 7 100. V první polovině roku 2023 tento počet vzrostl na 8 000. Více než 95 % všech vodíkových nákladních automobilů na světě je provozováno v Číně díky její provodíkové politice a vhodné infrastruktuře. V malém rozsahu jsou tato vozidla provozována i ve Švýcarsku, Německu, Jižní Koreji nebo na Novém Zélandu. [26]

I přes vysoký relativní růst zůstává absolutní počet těchto vozidel výrazně nižší než nákladních elektromobilů, kterých bylo na konci roku 2022 v provozu přibližně 300 000. [26]

V České republice vyvíjí těžký nákladní automobil s palivovými články společnost Tatra Trucks spadající pod Czechoslovak Group. V říjnu 2023 byl představen prototyp vozidla s označením Tatra Force e-Drive. Jak název napovídá, nákladní automobil je založen na modelové řadě Tatra Force. Osmikolový podvozek tatrovácké koncepce s centrální nosnou rourou a výkyvnými, nezávisle zavěšenými polonápravami je v neobvyklé konfiguraci 1+3, z nichž tři jsou hnací. Maximální hmotnost činí 45 t. Pohon zajišťuje

synchronní elektromotor s permanentními magnety s trvalým výkonem 480 kW, maximálním výkonem 580 kW a točivým momentem 2 300 Nm. Palivové články poskytují maximální výkon 2·100 kW. Trakční akumulátor má kapacitu 171 kWh. Vozidlo je možné dobíjet i z externího zdroje. [31]

4.5.8.3 Vodík jako palivo pro autobusy

Počet autobusů s palivovými články v roce 2022 meziročně vzrostl přibližně o 40 %. V první polovině roku 2023 jich bylo provozováno okolo 7 000. I přes vysoký relativní růst zůstává absolutní počet těchto vozidel výrazně nižší než elektrobuses, kterých bylo na konci roku 2022 v provozu více než 650 000. Okolo 85 % všech autobusů s palivovými články je provozováno v Číně. Na druhém místě v celkovém počtu je Evropa následovaná Jižní Koreou a Spojenými státy americkými. [26]

4.5.8.4 Vodík jako palivo v železniční dopravě

První zkušební provoz vodíkových vlaků začal v září 2018 v německé spolkové zemi Dolní Sasko. Spolkovou zemí vlastněná společnost LNVG zahájila komerční provoz s jednotkami Alstom Coradia iLint, které využívají palivové články pro výrobu elektrické energie. Společnost LNVG zakoupila 14 těchto dvouvozových jednotek s dojezdem až 1 000 km. V roce 2022 se zkušební provoz změnil na pravidelný, ale již v roce 2023 bylo rozhodnuto, že rozvoj vodíkových železničních kolejových vozidel v této spolkové zemi nebude pokračovat. Bezemisní železniční dopravu na neelektrizovaných tratích budou zajišťovat elektrické jednotky s trakčními akumulátory. Důvodem pro změnu přístupu jsou vysoké provozní náklady vodíkových jednotek. [32] [33]

Zájem o vodíkové vlaky postupně roste. Zavedené nebo objednané jsou pro provoz např. v Itálii, okolí Frankfurtu nad Mohanem v německém Hesensku, ve Francii nebo v americké Kalifornii. [26]

Provoz vodíkových vlaků zvažovalo i Bádensko-Württembersko, rovněž německá spolková země. Plánování bylo ukončeno na základě studie, podle které jsou provozní náklady vodíkových vlaků o 80 % vyšší než u elektrických vlaků. [33]

Provoz bezemisních vlaků nezávislé trakce, vodíkových i elektrických s trakčními akumulátory, je obecně velice nákladný. Např. Nizozemsko se rozhodlo železniční tratě raději elektrizovat. [33]

4.5.9 Vodíkové čerpací stanice

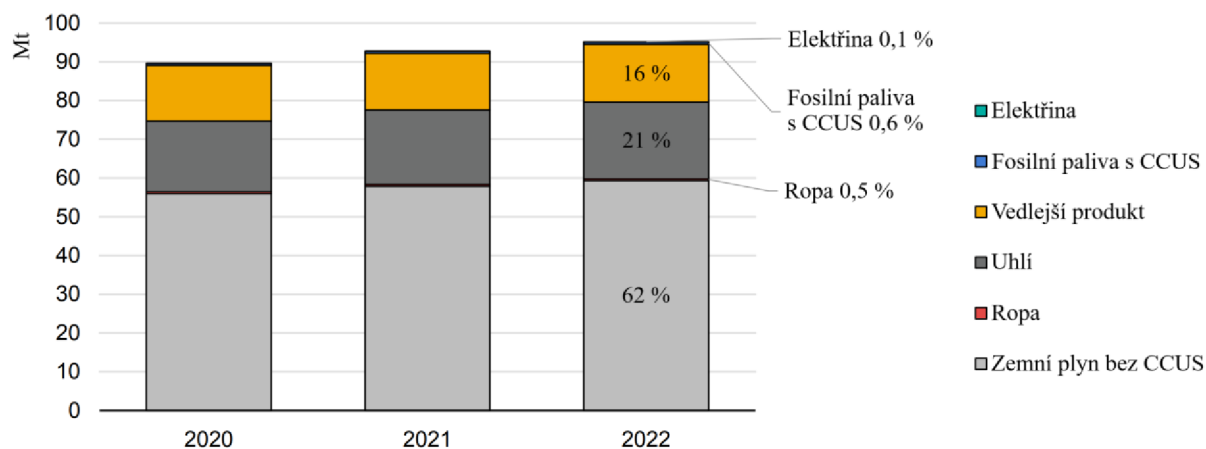
V červnu 2023 bylo na světě v provozu okolo 1 100 vodíkových čerpacích stanic pro potřeby silniční dopravy a stovky dalších byly plánovány. Více než 300 jich bylo v Číně, přibližně 250 v Evropě a okolo 180 v Japonsku a Jižní Koreji. V ČR jich bylo 5. Veřejné byly 4 (Ostrava Vítkovice, Praha Barrandov, Mstětice u Prahy a Záluží u Litvínova). Neveřejná vodíková čerpací stanice se nacházela v Neratovicích. [26] [34]

4.5.10 Výroba vodíku

Při výrobě vodíku jsou dominantní fosilní paliva. V roce 2022 zemní plyn bez zachytávání, využívání a skladování oxidu uhličitého (carbon capture, utilisation and storage, CCUS) představoval 62 % světové výroby. Produkce z uhlí bez významné redukce emisí, jež probíhá především v Číně, představovala 21 %. Celkem 16 % vodíku na světě vzniklo jako vedlejší produkt v rafinériích a petrochemickém průmyslu. Podíl ropy činil 0,5 %. Nízkoemisně bylo vyrobeno pouze 0,7 % vodíku, z velké většiny se jednalo o produkci z fosilních paliv se zachytáváním, využitím a skladováním oxidu uhličitého (CCUS). Výroba elektrolýzou vody sice meziročně vzrostla o 35 %, stále však představovala pouze 0,1 % celkové produkce. Roční produkce nízkoemisního vodíku by mohla v roce 2030 překonat 20 Mt, pokud budou realizovány všechny oznámené projekty. Většina z nich je ovšem v počátečních fázích přípravy. [26]

Podíly jednotlivých druhů a celkové roční objemy výroby vodíku v posledních letech jsou graficky znázorněny na obr. 7.

Obr. 7 Produkce vodíku (upraveno)



Poznámka: (w/o) CCUS = (bez) zachytávání, využívání a skladování oxidu uhličitého

Zdroj: převzato z [26]

Elektrolýza vody je ve světovém měřítku velice málo využívaným způsobem výroby vodíku, v roce 2022 představovala pouze 0,1 % celkové produkce. Jedná se o velice nákladný způsob výroby, protože kapitálové náklady na elektrolyzéry a cena elektřiny jsou vysoké. [26]

4.6 Jízdní cykly

Před uvedením vozidla na trh u něj musí být provedena řada testů ověřujících, zdali je v souladu s předpisy. Měření vlastností vozidel by měla být objektivní a replikovatelná, proto se používají standardizované jízdní cykly. Jedná se o souhrn podmínek, které musí vozidlo během měření splnit. Danými podmínkami jsou rychlost a čas, z nichž vyplývá příslušné zrychlení. Jízdní cykly se používají mj. pro měření výkonu, spotřeby paliva a emisí.

Měření se provádí výhradně nebo částečně jako simulace reálných podmínek na válcové zkušebně. Některé cykly obsahují i reálné měření v provozu pro zvýšení přesnosti a věrohodnosti měření.

Existují různé jízdní cykly lišící se např. rychlostním profilem, stylem jízdy, dobou trvání, vnějšími podmínkami nebo požadavky regulačních orgánů. Nejrozšířenější jízdní cykly používané v EU jsou:

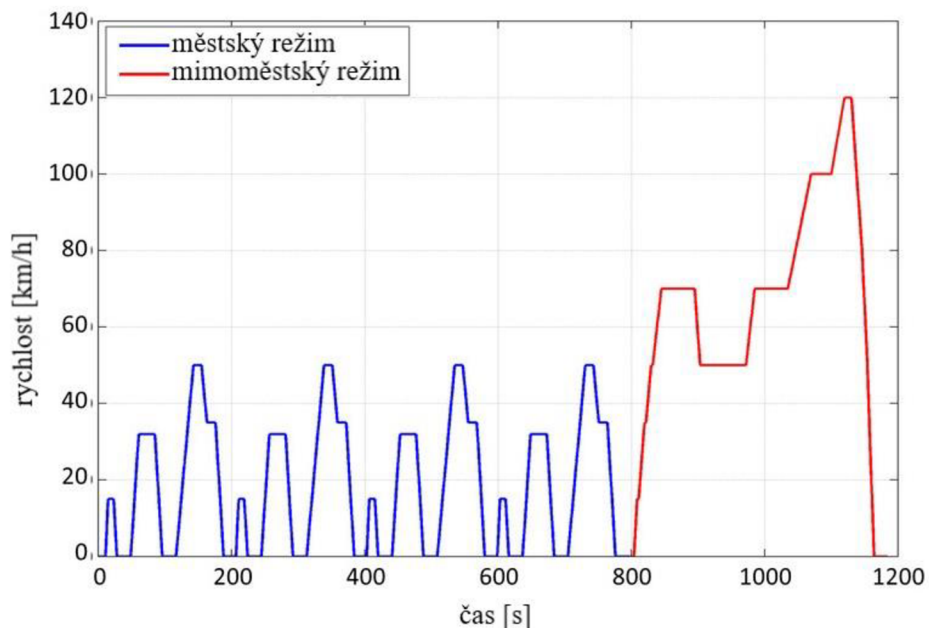
- NEDC – relativně nepřesný jízdní cyklus používaný v EU do roku 2018, vyznačuje se nižší průměrnou i maximální rychlostí, nižšími hodnotami zrychlení a značným podílem volnoběhu; a
- WLTP – nový postup měření, který má za cíl poskytnout zákazníkům a regulátorům realističtější informace, jež přesněji odráží vlastnosti vozidla v reálném provozu. Vyznačuje se dynamičtějším jízdním profilem, vyšší průměrnou i maximální rychlostí a vyššími hodnotami zrychlení.

4.6.1 NEDC

NEDC (New European Driving Cycle) je jízdní cyklus navržený v 80. letech 20. století. V dnešní době je zastaralý a neodpovídá dostatečně přesně skutečným provozním podmínkám. Skládá se ze dvou režimů. Městský režim se opakuje čtyřikrát, bezprostředně poté následuje jedenkrát mimoměstský režim. Průběh jízdního cyklu NEDC je zachycen na obr. 8. Hodnoty jednotlivých emisních složek se stanovují kumulativně za celý test v $g \cdot km^{-1}$. [35] [36]

NEDC je prováděn výhradně na válcové zkušebně. Parametry cyklu jsou značně vzdáleny od reality. Maximální rychlost, průměrná rychlost a zrychlení dosahují nerealisticky nízkých hodnot, podíl volnoběhu na celkové době měření je naopak velmi vysoký. Celkový průběh rychlosti je složen z dílčích lineárních a konstantních průběhů, mezi kterými jsou nerealistické skokové přechody. Při porovnání paliv mezi sebou nerealističnost cyklu nevádí, proto je pro taková měření vhodný.

Obr. 8 Průběh jízdního cyklu NEDC (upraveno)



Zdroj: převzato z [36]

4.6.2 WLTP

Postup WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) byl vyvinut jako náhrada NEDC za účelem zvýšení přesnosti měření. Skládá se z měření na válcové zkušebně a v reálném provozu (Real Driving Emissions, RDE). WLTP využívá nové jízdní cykly WLTC (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycles). Pro vývoj byla využita data ze skutečného provozu. [35] [37]

WLTC se skládá ze čtyř režimů – nízká, střední, vysoká a velmi vysoká rychlost, jež se liší průměrnými rychlostmi, jízdními režimy, podílem volnoběhu a hodnotami zrychlení. Tyto režimy reprezentují městský, příměstský, venkovský a dálniční provoz. [35]

Existuje několik definovaných tříd jízdních cyklů WLTC. Vozidla jsou jednotlivým třídám přidělena podle jejich maximální rychlosti a poměru výkonu motoru ku pohotovostní hmotnosti vozidla PMR daného vztahem

$$PMR = \frac{P_{mot}}{m_{poh}} \quad (2)$$

kde P_{mot} je výkon motoru [W] a m_{poh} pohotovostní hmotnost vozidla [kg]. [35] [37]

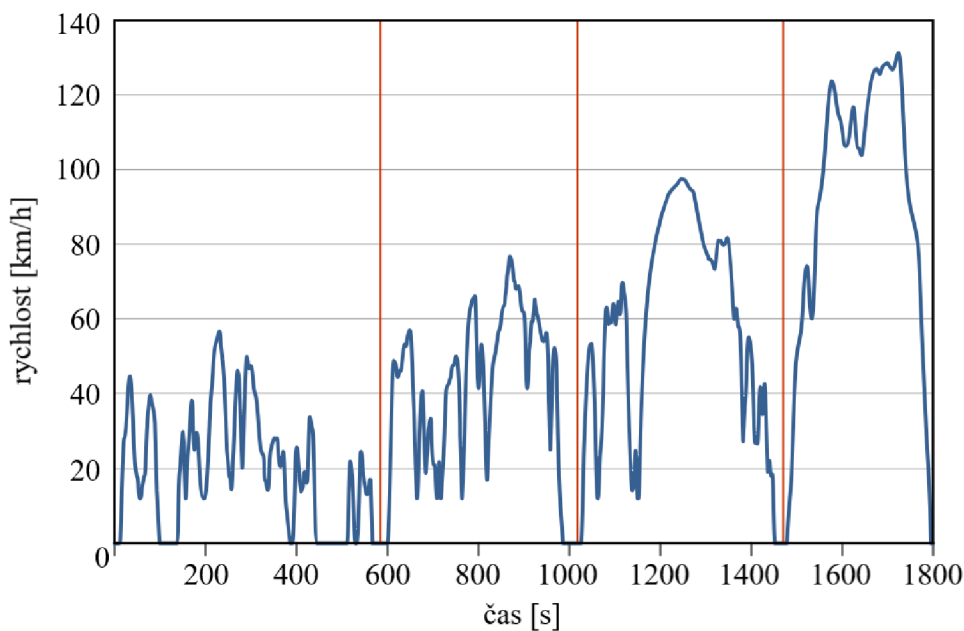
Běžné osobní automobily mají maximální rychlost vyšší než $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a hodnotu PMR vyšší než 34, proto dle tab. 2 spadají do třídy 3b, jejíž průběh je znázorněn na obr. 9. [37]

Tab. 2 Jízdní cykly WLTC

Kategorie	$PMR \text{ [W} \cdot \text{kg}^{-1}]$	Maximální rychlost $v_{max} \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}]$	Posloupnost rychlostních fází
Třída 3b	$PMR > 34$	$v_{max} \geq 120$	Nízká 3 + Střední 3-2 + Vysoká 3-2 + Velmi vysoká 3
Třída 3a		$v_{max} < 120$	Nízká 3 + Střední 3-1 + Vysoká 3-1 + Velmi vysoká 3
Třída 2	$34 \geq PMR > 22$	-	Nízká 2 + Střední 2 + Vysoká 2 + Velmi vysoká 2
Třída 1	$PMR \leq 22$	-	Nízká 1 + Střední 1 + Nízká 1

Zdroj: [37]

Obr. 9 Průběh jízdního cyklu WLTC třída 3b (upraveno)



Zdroj: převzato z [38]

4.6.3 Porovnání NEDC a WLTP

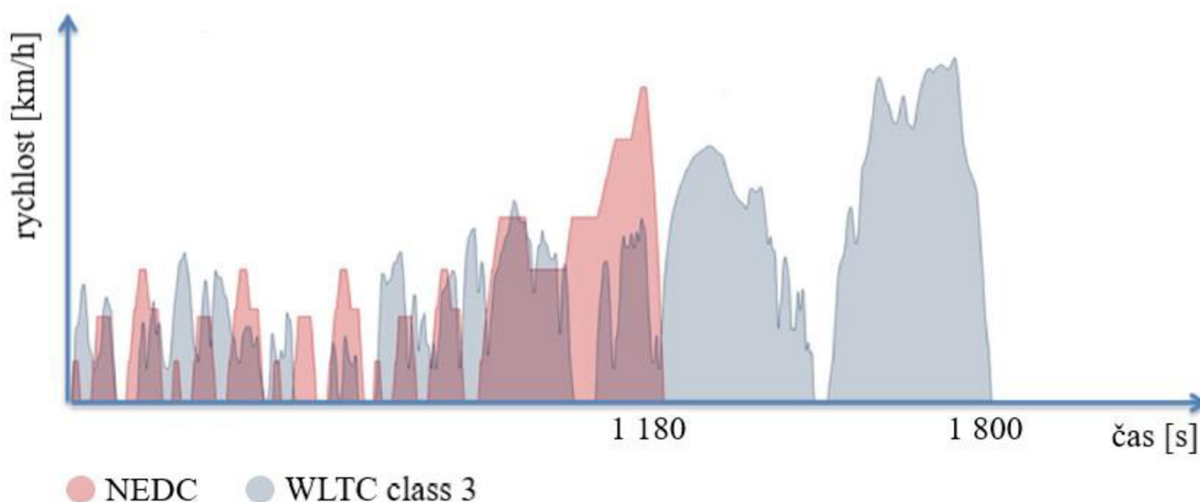
Porovnání hlavních údajů o jízdních cyklech NEDC a WLTC class 3 je uvedeno v tab. 3, grafické porovnání obou cyklů je na obr. 10.

Tab. 3 Porovnání jízdních cyklů NEDC a WLTC class 3

	NEDC	WLTC class 3
Platnost pro státy EU	1998 - 08/2017	09/2017 pro nové motory 09/2018 pro nová vozidla
Příplatkový vybava v testu	není zohledněna	je zohledněna včetně aerodynamiky, valivého odporu a hmotnosti
Fáze testu	město a mimoměsto	nízká, střední, vysoká a velmi vysoká rychlost
Doba trvání testu [s]	1 180	1 800
Ujetá vzdálenost [m]	10 966	23 274
Maximální rychlost [km·h⁻¹]	120	131,3
Průměrná rychlost [km·h⁻¹]	33,6	46,5
Maximální zrychlení [m·s⁻²]	1,04	1,58
Doba volnoběhu [s]	295	234
Podíl volnoběhu [%]	25	13

Zdroj: [39]

Obr. 10 Porovnání jízdních cyklů NEDC a WLTC class 3 (upraveno)



Zdroj: převzato z [40]

5 Praktická část

Praktická část se zabývá měřením, vyhodnocením a diskusí o vlivu vybraných alternativních paliv na produkci emisí a spotřebu paliva ve srovnání s referenčním palivem, kterým byla čistá motorová nafta. Měření proběhlo na půdě KVPD TF ČZU s přístroji a podporou pracovníků těžké katedry.

5.1 Použité vozidlo

Měření bylo provedeno na zkušebním vozidle KVPD TF ČZU Škoda Rapid 1,6 TDI. Jedinou změnou na vozidle provedenou před měřením byla deaktivace start-stop systému, což mohlo zapříčinit nárůst produkce emisí nad hodnoty stanovené pro normu EURO 5, kterou tento osobní automobil splňuje. Hlavní technické parametry Škody Rapid 1,6 TDI jsou uvedeny v tab. 4. Vozidlo je zachyceno na obr. 11.

Tab. 4 Technické parametry zkušebního vozidla Škoda Rapid 1,6 TDI

Motor	
Konstrukce motoru	Řadový čtyřválec
Plnění motoru	Přepřňování turbodmychadlem
Vstřikování paliva	Common rail
Palivo	Motorová nafta
Ventilový rozvod	Double overhead camshaft (DOHC)
Zdvihový objem [cm ³]	1 598
Vrtání × zdvih [mm × mm]	79,5 × 80,5
Kompresní poměr [-]	16,5:1
Maximální výkon [kW]	77 (při 4 400 ot·min ⁻¹)
Točivý moment [Nm]	250 (při 1 500 – 2 500 ot·min ⁻¹)
Pohotovostní hmotnost [kg]	1 295
Emisní norma	Euro 5

Zdroj: [41]

Obr. 11 Škoda Rapid



Zdroj: [43]

5.2 Použité přístroje

V této podkapitole se nachází výčet použitých přístrojů, popis jejich funkcí a výpis jejich technických parametrů.

5.2.1 Válcová zkušebna

Modernizovaná válcová zkušebna KVPD TF ČZU Schenck 3604/GS56 umožňuje měření výkonových parametrů vozidel do 3,5 t s jednou hnanou nápravou. Je tvořena dvěma válci propojenými řetězem, z nichž jeden je pro zlepšení adhezních vlastností opatřen protiskluzovým povrchem. Na jedné straně jsou k válcům připojeny setrvačníky, jež simulují setrvačnou sílu vozidla. Na druhé straně je k jednomu válci připojen stejnosměrný elektromotor o výkonu 56 kW, jehož úkolem je simulovat odpor vzduchu. K druhému válci je připojena vířivá brzda o výkonu 125 kW, jež slouží pro statické měření výkonu. Hlavní technické parametry válcové zkušebny jsou uvedeny v tab. 5. Měřené vozidlo na válcové zkušebně je zachyceno na obr. 12.

Tab. 5 Technické parametry válcové zkušebny

Stejnoseměrný motorgenerátor	Maximální brzdňý výkon [kW]	56
	Maximální brzdňý moment [Nm]	305
	Maximální otáčky [min^{-1}]	3 000
Vířivý dynamometr	Maximální brzdňý výkon [kW]	125
	Maximální brzdňý moment [Nm]	478
	Maximální otáčky [min^{-1}]	8 000
Tenzometr	Jmenovité zatížení [kN]	2
	Přesnost měření [%]	0,5 (jmenovitého zatížení)
	Opakovatelnost [%]	0,05
Nastavení setrvačnicků	Základní simulovaná hmotnost [kg]	680
	Přídavné hmotnosti [kg]	112,5; 120; 225; 450; 900

Zdroj: [42]

Obr. 12 Válcová zkušebna



5.2.2 Ventilátor FILCAR AL – 1500/C

Na válcové zkušebně nedochází k náporovému chlazení, které je v reálném provozu zajišťováno pohybem vozidla. Tuto funkci v průběhu měření zastal ventilátor FILCAR AL – 1500/C. Hlavní technické parametry ventilátoru jsou uvedeny v tab. 6. Ventilátor je zachycen na obr. 13.

Tab. 6 Technické parametry ventilátoru FILCAR AL – 1500/C

Příkon [kW]	11
Průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	3 800 - 12 000
Otáčky motoru [min^{-1}]	2800
Napájení	$\sim 50 \text{ Hz } 3 \times 230/400 \text{ V}$
Hlučnost [dB]	89
Hmotnost [kg]	203

Zdroj: [44]

Obr. 13 Ventilátor FILCAR AL – 1500/C



5.2.3 Plynový analyzátor MATRIX MG-5

Automatizované sledování koncentrací plynů v průběhu měření zajišťoval infračervený spektrometr s Fourierovou transformací (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR) MATRIX MG-5. Vysoká přesnost měření v reálném čase byla zajištěna jeho schopností detekovat, identifikovat a kvantifikovat plyny, jejichž koncentrace byla pouze v řádu ppb (parts per billion). Hlavní technické parametry plynového analyzátoru jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7 Technické parametry plynového analyzátoru MATRIX MG-5

Délka optické dráhy [m]	5
Maximální teplota plynu [°C]	191
Hmotnost [kg]	29
Spektrální rozsah [cm ⁻¹]	650 - 5 000
Detektor	Tekutým dusíkem chlazený MCT
Interferometr	Rocksolid™
Spektrální rozlišení [cm ⁻¹]	Lepší než 0,5
Vlnočtová přesnost [cm ⁻¹]	Lepší než 0,05

Zdroj: [45]

5.2.4 Laboratorní váha VIBRA AJ-6200CE

Laboratorní váha VIBRA AJ-6200CE využívá měřicí člen MMTS (Mono-Metal Tuning-fork Sensor) pracující na principu vibračního članku, díky kterému má dobré metrologické vlastnosti (opakovatelnost, linearitu, excentricitu), vysokou odolnost proti elektromagnetickému a elektrostatickému rušení, krátký čas ustálení, vysokou stabilitu a vysokou odolnost proti změnám teploty. Hlavní technické parametry laboratorní váhy jsou uvedeny v tab. 8. [46] [47]

Tab. 8 Technické parametry laboratorní váhy VIBRA AJ-6200CE

Maximální váživost [g]	6 200
Dílek (d)/přesnost [g]	0,01
Ověřitelný dílek [g]	0,1
Stanovené měřidlo	Ano
Třída přesnosti	I
Přípustná teplota měření [°C]	0 - 35
Způsob kalibrace	Externí
Standard komunikačního rozhraní	RS 232
Napájení	Adaptér/akumulátor

Zdroj: [46] [47]

5.3 Použitý software

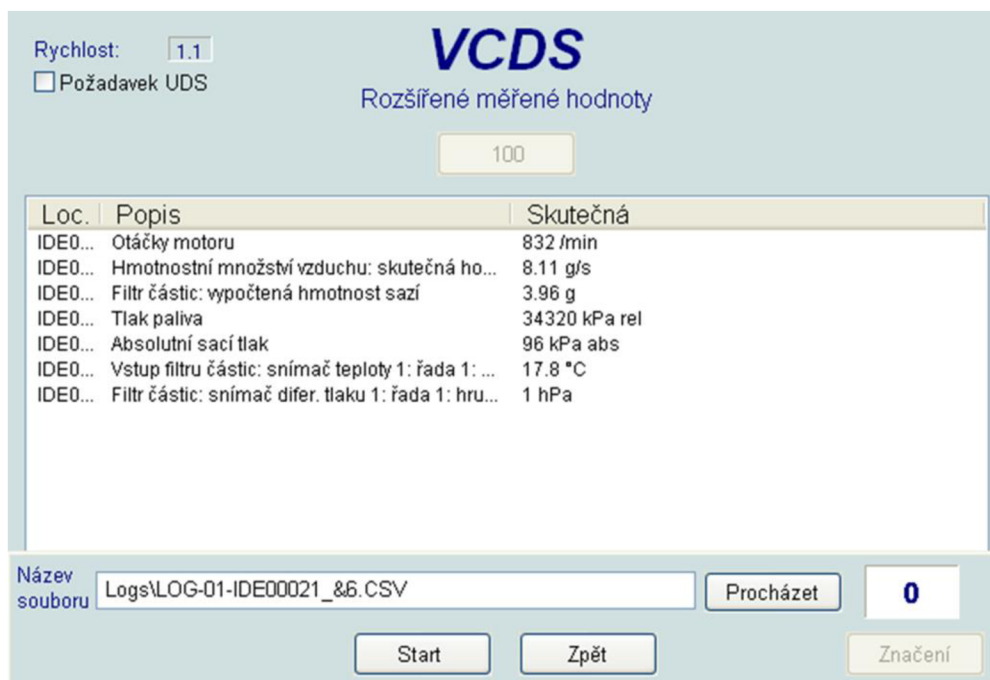
V této podkapitole se nachází výčet a popis použitého programového vybavení (software).

5.3.1 VCDS

Komunikaci s řídicí jednotkou vozidla zajistil diagnostický systém VCDS (VAG-COM Diagnostic System), který je primárně určený pro vozidla Volkswagen Group (Volkswagen AG). Propojení počítače a řídicí jednotky zajišťuje datový kabel, jež je na jedné straně vybaven konektorem USB-A pro připojení k počítači a na druhé straně konektorem podle standardu OBD-II pro připojení k řídicí jednotce vozidla. Software zobrazuje a ukládá hodnoty vybraných veličin.

Hodnoty byly zaznamenávány s vzorkovací frekvencí ± 1 Hz, čímž bylo dosaženo vysoké přesnosti měření. Hodnoty filtru pevných částic byly sledovány pro zjištění případné regenerace filtru, která by mohla ovlivnit hodnoty jiných veličin. Grafické prostředí programu VCDS a měřené veličiny jsou zachyceny na obr. 14.

Obr. 14 Program VCDS a sledované veličiny



The screenshot shows the VCDS software interface. At the top, it displays 'Rychlost: 1.1' and a checkbox for 'Požadavek UDS'. The main title is 'VCDS' with the subtitle 'Rozšířené měřené hodnoty'. Below this, there is a numerical display showing '100'. A table lists measured values for various engine parameters:

Loc.	Popis	Skutečná
IDE0...	Otáčky motoru	832 /min
IDE0...	Hmotnostní množství vzduchu: skutečná ho...	8.11 g/s
IDE0...	Filtr částic: vypočtená hmotnost sazí	3.96 g
IDE0...	Tlak paliva	34320 kPa rel
IDE0...	Absolutní sací tlak	96 kPa abs
IDE0...	Vstup filtru částic: snímač teploty 1: řada 1: ...	17.8 °C
IDE0...	Filtr částic: snímač difer. tlaku 1: řada 1: hru...	1 hPa

At the bottom, there is a file name field 'Název souboru' containing 'Logs\LOG-01-IDE00021_&6.CSV', a 'Procházet' button, and a display showing '0'. Below the file field are 'Start' and 'Zpět' buttons, and to the right is a 'Značení' button.

Zdroj: KVPD TF ČZU

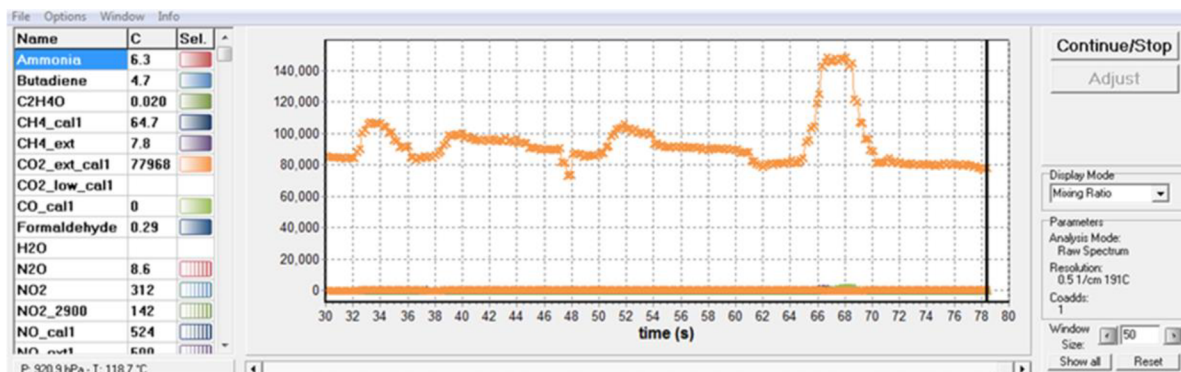
5.3.2 ControlWeb – jízdní cykly

ControlWeb – jízdní cykly je grafické prostředí vytvořené pracovníky KVPD TF ČZU jakožto ovládací software válcové zkušebny. Umožňuje řídit elektromotor, brzdny moment a otáčky ventilátoru. Zobrazuje teoretickou rychlost vozidla přepočtenou z otáček válců zkušebny. Software umožnil provedení jízdních cyklů a zajistil automatický sběr dat.

5.3.3 OPUS GA

Software OPUS GA (Gas Analysis) je grafické prostředí pro řízení plynových analyzátorů řady MATRIX MG. Zajišťuje průběžnou a plně automatickou identifikaci a kvantifikaci složek plynů a ukládání naměřených hodnot. Grafické znázornění naměřených hodnot v programu OPUS GA je zachyceno na obr. 15. [48]

Obr. 15 Grafické znázornění naměřených hodnot v programu OPUS GA



Zdroj: KVPD TF ČZU

5.4 Použitá paliva

Pro zkoušku byla zvolena dvě alternativní paliva, směs 90 % MEŘO a 10 % a motorové nafty a směs 90 % HVO od společnosti Neste a 10 % motorové nafty. Jako referenční palivo byla vybrána čistá motorová nafta. Hodnoty vybraných veličin pro jednotlivá paliva jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 Vlastnosti zkoušených paliv

Veličina	Motorová nafta	90 % MEŘO	90 % HVO
Výhřevnost [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]	43,1	37,2	44,1
Hustota při 15 °C [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	833,5	882,5	778,6
Kinematická viskozita při 40 °C [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]	2,66	4,63	2,89
Bod vzplanutí [°C]	60	>120	98,3
Filtrovatelnost (Cold filter plugging point, CFPP) [°C]	-24	-26	-38
Cetanové číslo [-]	55,5	60	>70
Cetanový index [-]	55,2	58,5	79,3

6 Výsledky a diskuse

V této kapitole jsou uvedeny a diskutovány výsledky měření emisí výfukových plynů a spotřeby paliva. V jednotlivých tabulkách jsou uvedeny minimální, maximální a průměrné hodnoty. Pro zjištění opakovatelnosti měření bylo měření zahájeno a ukončeno provozem na referenční palivo – Nafta 1 (zahajovací) a Nafta 2 (ukončovací). Teplota vzduchu měla v průběhu měření konstantní hodnotu 19 °C. Průměrné hodnoty jednotlivých měření jsou pro názornost vyneseny ve sloupcových grafech.

6.1 Emise

Měření probíhalo podle stanovené metodiky při NEDC. Pro Naftu 1, 90 % MEŘO, 90 % HVO i Naftu 2 byly vždy provedeny 3 jízdní cykly. Hmotnost vyprodukovaných emisí byla přepočtena na $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$, což je jednotka, ve které se výsledky NEDC běžně udávají.

6.1.1 Emise oxidu uhličitého

Hodnoty emisí oxidu uhličitého při provozu na naftu na začátku a konci měření se liší o $5,85 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ (4,23 %), což je relativně malý rozdíl, proto lze měření považovat za opakovatelné.

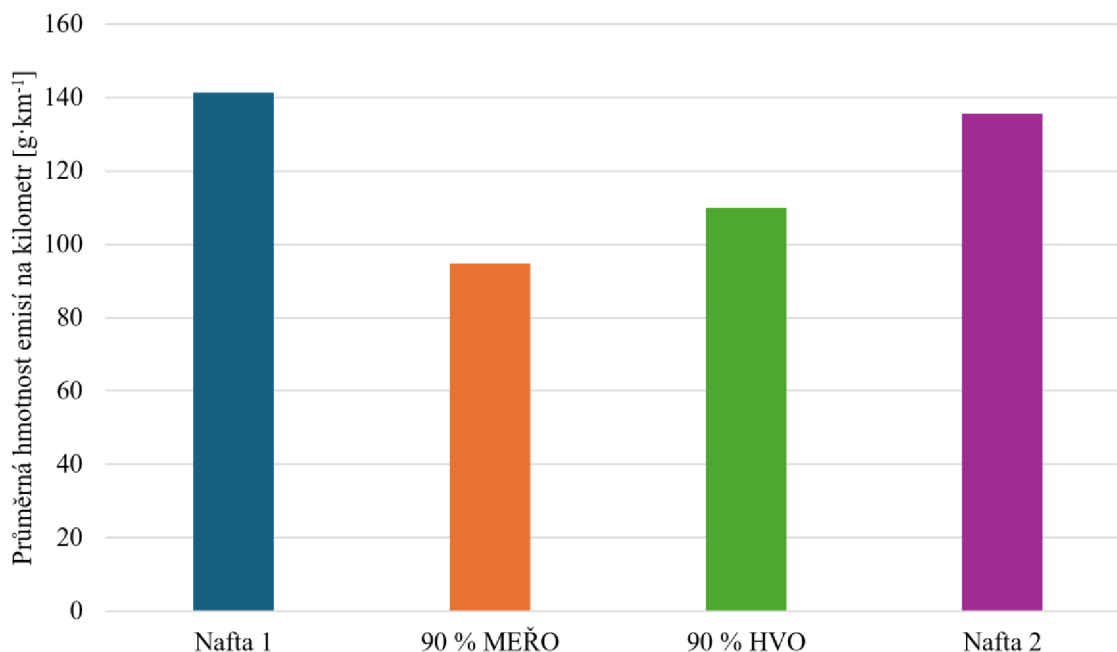
V souladu s teoretickými předpoklady byly při provozu na alternativní paliva naměřeny nižší hodnoty emisí oxidu uhličitého než u motorové nafty. Průměrná hodnota emisí oxidu uhličitého byla při provozu na 90 % MEŘO nižší o $28,5 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ (20,59 %) než v případě motorové nafty. U 90 % HVO byl pokles ještě výraznější, činil $43,66 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ (31,54 %).

Výsledky měření emisí oxidu uhličitého jsou uvedeny v tab. 10 a graficky znázorněny na obr. 16.

Tab. 10 Hodnoty emisí oxidu uhličitého pro jednotlivá paliva

	Nafta 1	MEŘO	HVO	Nafta 2
Počet naměřených hodnot [-]	3	3	3	3
Průměrná hmotnost emisí na kilometr [$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$]	141,355	94,772	109,931	135,503
Minimální hmotnost emisí na kilometr [$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$]	136,346	90,418	98,558	118,705
Maximální hmotnost emisí na kilometr [$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$]	154,109	102,546	117,896	147,715

Obr. 16 Emise oxidu uhličitého



6.1.2 Emise oxidu uhelnatého

Hodnoty emisí oxidu uhelnatého při provozu na naftu na začátku a konci měření se liší o 0,003 g·km⁻¹ (6,42 %), což je relativně malý rozdíl, proto lze měření považovat za opakovatelné.

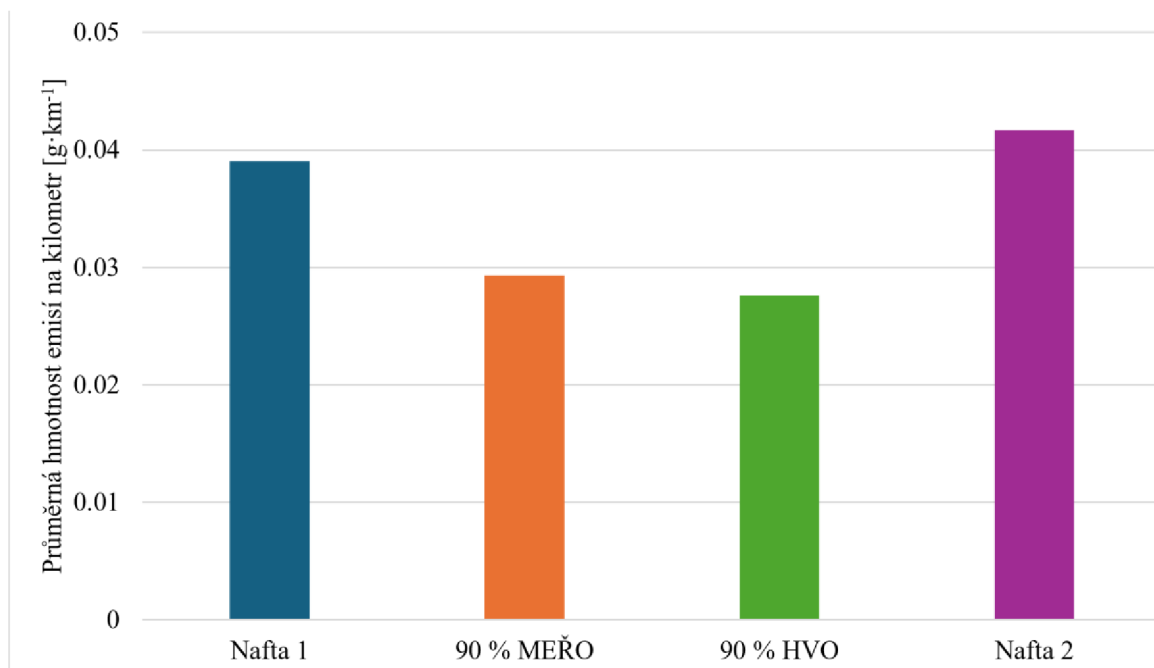
V souladu s teoretickými předpoklady byly při provozu na alternativní paliva naměřeny nižší hodnoty emisí oxidu uhelnatého než u motorové nafty. Průměrná hodnota emisí oxidu uhelnatého byla při provozu na 90 % MEŘO nižší o 0,011 g·km⁻¹ (27,4 %) než v případě motorové nafty. U 90 % HVO byl pokles ještě výraznější, činil 0,013 g·km⁻¹ (31,65 %).

Výsledky měření emisí oxidu uhelnatého jsou uvedeny v tab. 11 a graficky znázorněny na obr. 17.

Tab. 11 Hodnoty emisí oxidu uhelnatého pro jednotlivá paliva

	Nafta 1	MEŘO	HVO	Nafta 2
Počet naměřených hodnot [-]	3	3	3	3
Průměrná hmotnost emisí na kilometr [g·km ⁻¹]	0,039	0,029	0,028	0,042
Minimální hmotnost emisí na kilometr [g·km ⁻¹]	0,036	0,026	0,026	0,039
Maximální hmotnost emisí na kilometr [g·km ⁻¹]	0,042	0,032	0,030	0,044

Obr. 17 Emise oxidu uhelnatého



6.1.3 Emise oxidů dusíku

Hodnoty emisí oxidů dusíku při provozu na naftu na začátku a konci měření se liší o 0,01 g·km⁻¹ (6,6 %), což je stále rozdíl, při kterém lze měření považovat za opakovatelné.

Teoretický předpoklad byl, že hodnoty emisí oxidů dusíku při provozu na HVO budou obdobné nebo mírně nižší než v případě nafty. Tento předpoklad se naplnil, protože průměrné hodnoty pro 90 % HVO jsou nižší o 0,007 g·km⁻¹ (4,39 %).

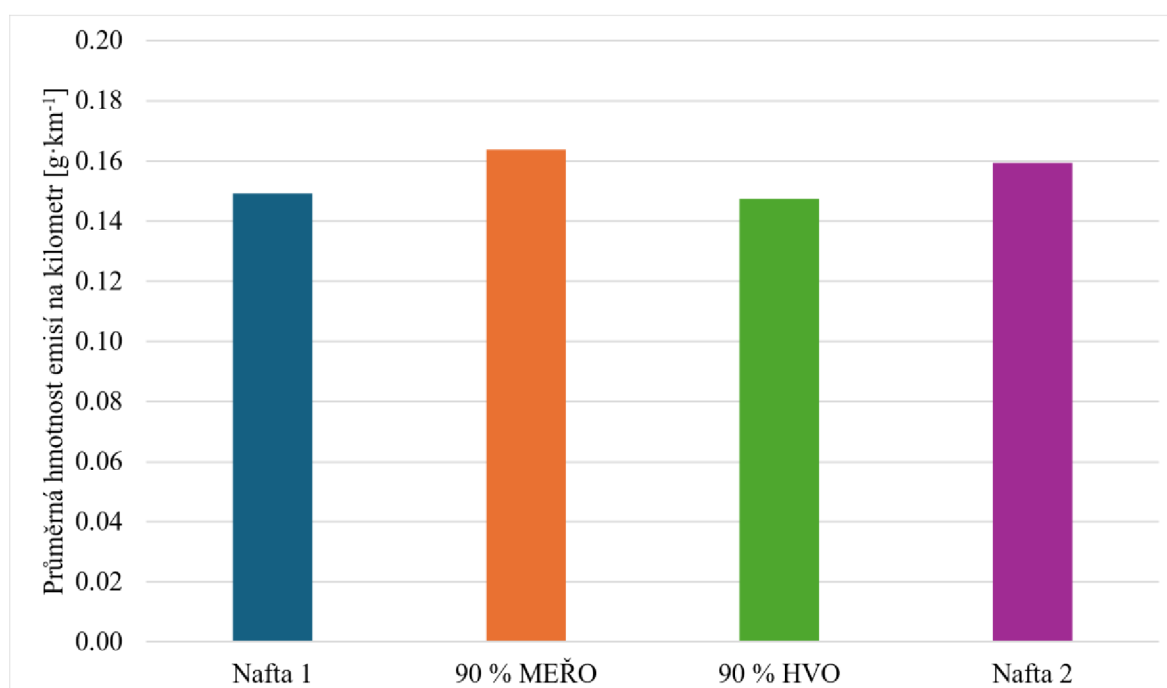
V rozporu s teoretickým předpokladem byly nejvyšší hodnoty naměřeny při provozu na MEŘO. Průměrná hodnota emisí oxidů dusíku byla při provozu na MEŘO o 0,009 g·km⁻¹ (6,15 %) vyšší než v případě nafty. MEŘO má ve srovnání s naftou vyšší koncentraci kyslíku a rychlost tlakové vlny, která u běžných motorů zpravidla přivodí dřívější vstřík, tedy i dřívější vznícení paliva, což může být příčinou vyšších hodnot emisí oxidů dusíku.

Výsledky měření emisí oxidů dusíku jsou uvedeny v tab. 12 a graficky znázorněny na obr. 18.

Tab. 12 Hodnoty emisí oxidů dusíku pro jednotlivá paliva

	Nafta 1	MEŘO	HVO	Nafta 2
Počet naměřených hodnot [-]	3	3	3	3
Průměrná hmotnost emisí na kilometr [$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$]	0,149	0,164	0,147	0,159
Minimální hmotnost emisí na kilometr [$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$]	0,138	0,146	0,135	0,138
Maximální hmotnost emisí na kilometr [$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$]	0,165	0,183	0,157	0,176

Obr. 18 Emise oxidů dusíku



6.2 Spotřeba paliva

Spotřeba paliva při provozu na naftu na začátku a konci měření se liší o $19 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$ (4,1 %), což je relativně malý rozdíl, proto lze měření považovat za opakovatelné.

V souladu s teoretickým předpokladem byly nejnižší hodnoty naměřeny při provozu vozidla na 90 % HVO. Průměrná hodnota spotřeby paliva byla při provozu na HVO o $24,93 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$ (5,28 %) nižší než v případě nafty.

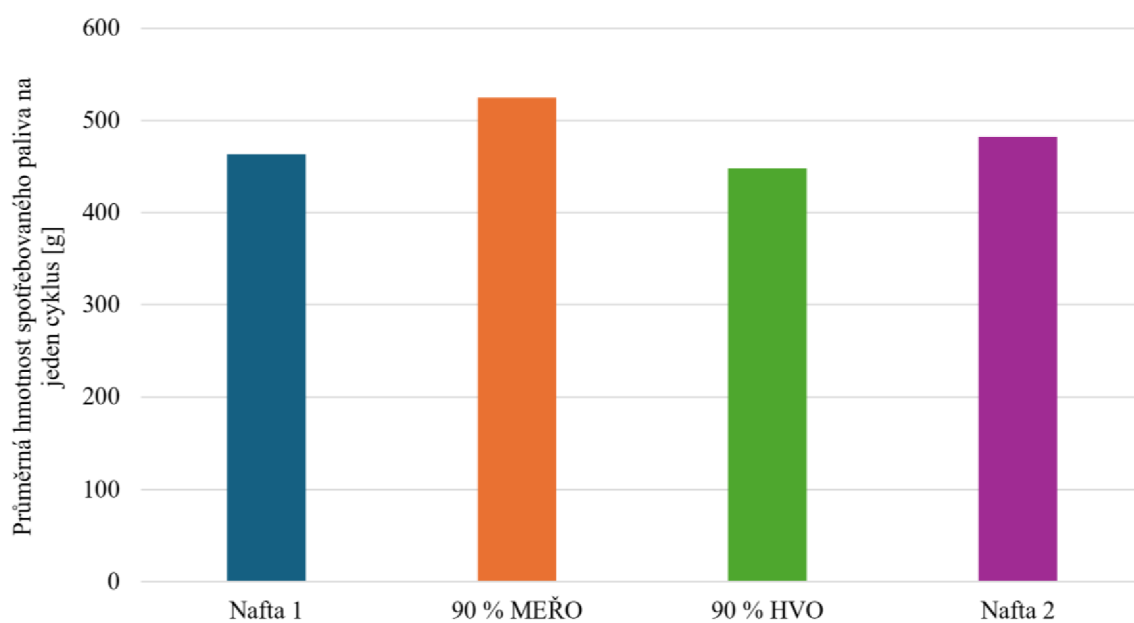
V souladu s teoretickým předpokladem byly nejvyšší hodnoty naměřeny při provozu vozidla na MEŘO. Průměrná hodnota spotřeby paliva byla při provozu na 90 % MEŘO o $52,28 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$ (11,07 %) vyšší než v případě nafty. Nárůst byl zřejmě způsoben vyšší koncentrací kyslíku v MEŘO a z ní vyplývající nižší výhřevnosti.

Výsledky měření spotřeby paliva jsou uvedeny v tab. 13 a graficky znázorněny na obr. 19.

Tab. 13 Hodnoty spotřeby paliva za jeden cyklus

	Nafta 1	MEŘO	HVO	Nafta 2
Počet naměřených hodnot [-]	3	3	3	3
Průměrná hmotnost spotřebovaného paliva na cyklus [g]	463,0	524,7	447,5	482,0
Minimální hmotnost spotřebovaného paliva [g]	442,6	491,4	404,2	445,4
Maximální hmotnost spotřebovaného paliva [g]	498,2	570,1	474,8	509,7

Obr. 19 Hmotnost spotřebovaného paliva za jeden cyklus



7 Závěr

Diplomová práce se zabývala vlivem vybraných alternativních paliv na provozní parametry osobního vozidla a vyhodnocením možnosti jejich využití v reálném provozu. Cílem rešeršní části bylo seznámit čtenáře s problematikou alternativních paliv obecně a detailněji s těmi palivy, která mají potenciál plně nahradit fosilní paliva jakožto zdroj energie pro pohon silničních vozidel. Konkrétně se jedná o biopaliva, elektrickou energii a vodík. V závěru rešeršní části byly popsány a porovnány jízdní cykly používané pro schvalování silničních vozidel v rámci EU.

Cílem praktické části bylo posouzení vlivů vybraných alternativních paliv na provozní parametry konkrétního osobního vozidla. Měření bylo provedeno na půdě KVPD TF ČZU s využitím jejího přístrojového a programového vybavení. Jako zkoušená paliva byly vybrány metylester řepkového oleje (MEŘO) a hydrogenovaný rostlinný olej (anglicky hydrotreated vegetable oil, HVO), referenčním palivem byla motorová nafta. MEŘO i HVO byly součástí směsí, ve kterých bylo 90 % alternativního paliva a 10 % motorové nafty.

Měření emisí a spotřeby paliva byla provedena během jízdního cyklu NEDC. Nejprve se uskutečnily 3 cykly při provozu na referenční palivo (motorovou naftu), následně 3 měření při provozu na 90 % MEŘO, poté byly provedeny 3 cykly s využitím 90 % HVO a na závěr se uskutečnila 3 měření při provozu na referenční palivo, aby byla zjištěna opakovatelnost měření. Celkem bylo provedeno 12 jízdních cyklů, při kterých byly měřeny hodnoty emisí oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a oxidů dusíku a spotřeby paliva.

V případě 90 % HVO byly naměřeny nejnižší hodnoty spotřeby paliva a emisí oxidu uhelnatého a oxidů dusíku. Nejnižší hodnoty emisí oxidu uhličitého byly naměřeny při použití 90 % MEŘO. Z hlediska spotřeby paliva i emisí skleníkových plynů se jako perspektivnější palivo jeví HVO, ale i při použití MEŘO lze dosáhnout významného snížení emisí skleníkových plynů ve srovnání s motorovou naftou. MEŘO se v EU vyrábí zejména z řepkového a slunečnicového oleje, proto představuje konkurenci pro potravinářský průmysl. Pro výrobu HVO lze využít i odpady, proto je s ohledem na udržitelnost rozvoje společnosti vhodnější.

Stávající konvenční fosilní paliva bude v budoucnu třeba plně nahradit pro jejich vysokou produkci emisí skleníkových plynů, neobnovitelnost a častou nutnost dovážení z nespojeneckých zemí. Zkoušená paliva mohou být provozována ve zkoušeném spalovacím motoru bez úprav. Jedná se o relativně rychle a levně implementovatelné dočasné řešení. Z dlouhodobého hlediska bude zřejmě nutné spalovací motory upravit tak, aby mohly spalovat další alternativní paliva nebo vyšší koncentrace těch stávajících. Dalším možným řešením je náhrada spalovacího motoru jako zdroje mechanické práce pro pohon silničních

vozidel. V současné době se jeví jako nejvíce perspektivní elektromobily poháněné elektrickou energií z trakčních akumulátorů a elektrická vozidla s palivovými články.

8 Použitá literatura

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Ambient (outdoor) air pollution* [online]. 2022. [cit. 2024-3-26] Dostupné z: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [2] EVROPSKÝ PARLAMENT A EVROPSKÁ RADA. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady EU 2014/94 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva*. 2014
- [3] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Alternative Fuels* [online]. [cit. 2023-12-9] Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/current.shtml>
- [4] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. *Nářízení Evropského parlamentu a Rady EU 2023/1804 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva*. 2023
- [5] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *All-Electric Vehicles* [online]. [cit. 2024-3-4] Dostupné z: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_ev.html
- [6] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Plug-In Hybrid Electric Vehicles* [online]. [cit. 2024-3-3] Dostupné z: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_phev.html
- [7] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Electricity* [online]. [cit. 2024-3-4] Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/electricity.shtml#/find/nearest?country=US&fuel=ELEC>
- [8] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *All-Electric Vehicles* [online]. [cit. 2024-3-4] Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>
- [9] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Where the Energy Goes: Electric Cars* [online]. [cit. 2024-3-4] Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>
- [10] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *How Do All-Electric Cars Work?* [online]. [cit. 2024-3-4] Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>

- [11] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Plug-in Hybrids* [online]. [cit. 2024-3-3] Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/phevtech.shtml>
- [12] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *How Do Plug-In Hybrid Electric Cars Work?* [online]. [cit. 2024-3-3] Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>
- [13] EUROPEAN PARLIAMENT; JOINT RESEARCH CENTRE; DIRECTORATE-GENERAL FOR INTERNAL POLICIES OF THE UNION; INSTITUTE FOR ENERGY AND TRANSPORT. *The impact of biofuels on transport and the environment, and their connection with agricultural development in Europe* [online]. 2015. Dostupné z: doi:10.2861/775
- [14] NAIK, S. N., Vaibhav V. GOUD, Prasant K. ROUT a Ajay K. DALAI. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2010, **14**(2), 578–597. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2009.10.003
- [15] WOJCIESZYK, Michał, Yuri KROYAN, Ossi KAARIO a Martti LARMI. Prediction of heavy-duty engine performance for renewable fuels based on fuel property characteristics. *Energy* [online]. 2023, **285**(October), 129494. ISSN 03605442. Dostupné z: doi:10.1016/j.energy.2023.129494
- [16] ROQUE, L. F.A., R. B.R. DA COSTA, T. A.Z. DE SOUZA, C. J.R. CORONADO, G. M. PINTO, A. J.A. CINTRA, O. O. RAATS, B. M. OLIVEIRA, G. V. FREZ a L. F.R. ALVES. Experimental analysis and life cycle assessment of green diesel (HVO) in dual-fuel operation with bioethanol. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2023, **389**(September 2022), 135989. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2023.135989
- [17] PINTO, G. M., R. B.R. DA COSTA, T. A.Z. DE SOUZA, A. J.A.C. ROSA, O. O. RAATS, L. F.A. ROQUE, G. V. FREZ a C. J.R. CORONADO. Experimental investigation of performance and emissions of a CI engine operating with HVO and farnesane in dual-fuel mode with natural gas and biogas. *Energy* [online]. 2023, **277**(April), 127648. ISSN 03605442. Dostupné z: doi:10.1016/j.energy.2023.127648

- [18] VALEIKA, Gintaras, Jonas MATIJOŠIUS a Alfredas RIMKUS. Research of the impact of EGR rate on energy and environmental parameters of compression ignition internal combustion engine fuelled by hydrogenated vegetable oil (HVO) and biobutanol – Castor oil fuel mixtures. *Energy Conversion and Management* [online]. 2022, **270**(September). ISSN 01968904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2022.116198
- [19] PECHOUT, Martin, Martin KOTEK, Petr JINDRA, David MACOUN, Jan HART a Michal VOJTISEK-LOM. Comparison of hydrogenated vegetable oil and biodiesel effects on combustion, unregulated and regulated gaseous pollutants and DPF regeneration procedure in a Euro6 car. *Science of the Total Environment* [online]. 2019, **696**, 133748. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133748
- [20] CHHETRI, Arjun B., K. Chris WATTS a M. Rafiqul ISLAM. Waste cooking oil as an alternate feedstock for biodiesel production. *Energies* [online]. 2008, **1**(1), 3–18. ISSN 19961073. Dostupné z: doi:10.3390/en1010003
- [21] DEBNATH, Deepayan a Abhispita DAS. *Third-generation biofuels and food security* [online]. B.m.: Elsevier Inc., 2022. ISBN 9780323909716. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-90971-6.00041-3
- [22] ANANTHI, V., Rathinam RAJA, Isabel S. CARVALHO, Kathirvel BRINDHADEVI, Arivalagan PUGAZHENDHI a A. ARUN. A realistic scenario on microalgae based biodiesel production: Third generation biofuel. *Fuel* [online]. 2021, **284**(March 2020), 118965. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2020.118965
- [23] GÓMEZ-OCHOA, Manuel, Karina OJEDA, Eduardo Luis SÁNCHEZ-TUIRÁN a Vyacheslav KAFAROV. Topology analysis of the third-generation biofuels. *3rd Generation Biofuels: Disruptive Technologies to Enable Commercial Production* [online]. 2022, 345–366. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-90971-6.00011-5
- [24] OFORI-BOATENG, Cynthia. *Global profile and market potentials of the third-generation biofuels* [online]. B.m.: Elsevier Inc., 2022. ISBN 9780323909716. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-90971-6.00018-8
- [25] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Hydrogen Basics* [online]. [cit. 2023-12-6] Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_basics.html

- [26] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global Hydrogen Review 2023* [online]. 2023. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1787/cb2635f6-en>
- [27] RAWAT, Atul, Chandra Prakash GARG a Priyank SINHA. Analysis of the key hydrogen fuel vehicles adoption barriers to reduce carbon emissions under net zero target in emerging market. *Energy Policy* [online]. 2024, **184**(September 2023), 113847. ISSN 03014215. Dostupné z: doi:10.1016/j.enpol.2023.113847
- [28] XIN, Gu, Changwei JI, Shuofeng WANG, Hao MENG, Chen HONG a Jinxin YANG. Effect of direct injection of small amounts of ethanol on port-injected hydrogen internal combustion engines. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2023, (xxxx). ISSN 03603199. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijhydene.2023.09.300
- [29] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?* [online]. [cit. 2023-12-9] Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>
- [30] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Fuel Cell Electric Vehicles* [online]. [cit. 2024-3-5] Dostupné z: https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html
- [31] TATRA TRUCKS A.S. *V Ostravě se ve světové premiéře představil vůz Tatra Force e-Drive s vodíkovými palivovými články* [online]. 2023. [cit. 2023-11-23] Dostupné z: <https://www.tatra.cz/o-spolecnosti/tisk-a-media/novinky-a-clanky/v-ostrove-se-ve-svetove-premiere-predstavil-vuz-tatra-force-e-drive-s-vodikovymi-palivovymi-clanky-1/>
- [32] SŮRA, Jan. Vlak na vodík vezl poprvé cestující, Coradia iLint vyjíždí do pravidelného provozu. *zdopravy.cz* [online]. 2018. [cit. 2023-11-23] Dostupné z: <https://zdopravy.cz/vlak-na-vodik-vezl-poprve-cestujici-coradia-ilint-vyvizdi-do-pravidelneho-provozu-16153/>
- [33] SŮRA, Jan. Vlaky na vodík? Další už nechceme, oznámil jejich první zákazník. Nakoupí bateriové jednotky. *zdopravy.cz* [online]. 2023. [cit. 2023-11-23] Dostupné z: <https://zdopravy.cz/vlaky-na-vodik-dalsi-uz-nehceme-oznamil-jejich-prvni-zakaznik-nakoupi-bateriove-jednotky-171604/>
- [34] BEDNÁŘ, Marek. Česko má čtvrtou veřejnou plnicí stanici na vodík. Stojí v Litvínově. *Novinky.cz* [online]. 2023. [cit. 2024-3-31] Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/auto-cesko-ma-ctvrtou-verejnou-plnici-stanici-na-vodik-stoji-v-litvinove-40436228>

- [35] KOTEK, Martin. *Měření emisí spalovacích motorů – homologace, přístrojové vybavení, legislativa [přednáška]*. Praha: ČZU v Praze, 1. 11. 2023
- [36] G KADIJK, N LIGTERINK, P VAN MENSCH, R Smokers. NO_x emissions of Euro 5 and Euro 6 diesel passenger cars-test results in the lab and on the road Edited books View project Many-body physics View project [online]. 2016, (September). Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.30386.61126
- [37] *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC)* [online]. [cit. 2024-3-17] Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- [38] ORECCHINI, Fabio, Adriano SANTIANGELI a Fabrizio ZUCCARI. Real drive well-to-wheel energy analysis of conventional and electrified car powertrains. *Energies* [online]. 2020, **13**(18). ISSN 19961073. Dostupné z: doi:10.3390/en13184788
- [39] LAŽANSKÝ, Milan. WLTP: Noční měra výrobců aut je tady. Co znamená pro nové motory? *autorevue.cz* [online]. 2018. [cit. 2024-3-7] Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/wltp-wiki-cyklus-rozdil-nedc>
- [40] FERLITO, Gabriele. Adaptation of low cost hybrid architecture to a general purpose platform [online]. 2018. [cit. 2024-3-31] Dostupné z: <https://webthesis.biblio.polito.it/7121/1/tesi.pdf>
- [41] KOTTÁS, Hugo. Škoda Rapid 1.6 TDI (105 k). *autoweb.cz* [online]. 2013. [cit. 2024-3-17] Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/skoda-rapid-1-6-tdi-105-k/>
- [42] KVPD TF ČZU. *Válcová zkušebna* [online]. [cit. 2024-3-17] Dostupné z: <https://katedry.czu.cz/kvpd/uvod/laboratore-katedry/vyukova-hala-m10-iv/valcova-zkusebna>
- [43] ŠKODA AUTO. *ŠKODA RAPID SPACEBACK MONTE CARLO* [online]. 2016. [cit. 2024-3-31] Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/s_xso_0028/
- [44] *ODSÁVACÍ VENTILÁTOR FILCAR AL-1500/C (11 KW - 15 HP)* [online]. [cit. 2024-3-17] Dostupné z: https://www.technology-garage.cz/odsavaci-ventilator-filcar-al-1500-c-11-kw-15-hp_z261/
- [45] *MATRIX-MG Series* [online]. [cit. 2024-3-20] Dostupné z: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/infrared-and-raman/gas-analysis/matrix-mg-series.html>
- [46] *Laboratorní váha VIBRA AJ-6200CE* [online]. [cit. 2024-3-20] Dostupné z: <https://www.gapa-vahy.cz/produkty-laboratorni-vaha-vibra-aj-6200ce-detail-8003>

- [47] *Přesná váha VIBRA SJ-4200CEN* [online]. [cit. 2024-3-20] Dostupné z: <https://www.hepnar.cz/presna-vaha-vibra-sj-4200cen-p1267>
- [48] *OPUS GA* [online]. [cit. 2024-3-20] Dostupné z: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/infrared-and-raman/gas-analysis/opus-ga-gas-analysis-software.html>

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma zapojení měřících přístrojů.....	4
Obr. 2 Hlavní součásti elektromobilu (upraveno).....	12
Obr. 3 Hlavní součásti plug-in hybridu (upraveno)	15
Obr. 4 Hlavní součásti FCEV (upraveno).....	26
Obr. 5 Spotřeba vodíku (upraveno).....	28
Obr. 6 Spotřeba vodíku v silniční dopravě (upraveno).....	29
Obr. 7 Produkce vodíku (upraveno).....	32
Obr. 8 Průběh jízdního cyklu NEDC (upraveno).....	34
Obr. 9 Průběh jízdního cyklu WLTC třída 3b (upraveno)	35
Obr. 10 Porovnání jízdních cyklů NEDC a WLTC class 3 (upraveno).....	36
Obr. 11 Škoda Rapid	38
Obr. 12 Válcová zkušebna	39
Obr. 13 Ventilátor FILCAR AL – 1500/C	40
Obr. 14 Program VCDS a sledované veličiny	42
Obr. 15 Grafické znázornění naměřených hodnot v programu OPUS GA.....	43
Obr. 16 Emise oxidu uhličitého	46
Obr. 17 Emise oxidu uhelnatého.....	47
Obr. 18 Emise oxidů dusíku.....	48
Obr. 19 Hmotnost spotřebovaného paliva za jeden cyklus	49

Seznam tabulek

Tab. 1 Teoretická produkce biopaliva v závislosti na vstupní surovině a ploše.....	22
Tab. 2 Jízdní cykly WLTC	35
Tab. 3 Porovnání jízdních cyklů NEDC a WLTC class 3	36
Tab. 4 Technické parametry zkušebního vozidla Škoda Rapid 1,6 TDI	37
Tab. 5 Technické parametry válcové zkušebny	39
Tab. 6 Technické parametry ventilátoru FILCAR AL – 1500/C.....	40
Tab. 7 Technické parametry plynového analyzátoru MATRIX MG-5	41
Tab. 8 Technické parametry laboratorní váhy VIBRA AJ-6200CE.....	41
Tab. 9 Vlastnosti zkoušených paliv	44
Tab. 10 Hodnoty emisí oxidu uhličitého pro jednotlivá paliva	45
Tab. 11 Hodnoty emisí oxidu uhelnatého pro jednotlivá paliva.....	46
Tab. 12 Hodnoty emisí oxidů dusíku pro jednotlivá paliva.....	48
Tab. 13 Hodnoty spotřeby paliva za jeden cyklus	49

Seznam vzorců

Vzorec 1 Průměrná hodnota.....	4
Vzorec 2 Poměr výkonu motoru ku pohotovostní hmotnosti vozidla PMR.....	35

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
a	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	zrychlení
F	N	síla
f	Hz	frekvence
H	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	výhřevnost
I_e	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	intenzita záření
k	m^{-1}	vlnové číslo
l	m	délka
L_p	dB	hladina akustického tlaku
m	kg	hmotnost
M_k	Nm	točivý moment
n	s^{-1}	otáčky
p	Pa, bar	tlak
P	W	výkon
Q_v	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	objemový průtok
t	s	čas
T	K, °C	teplota
v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	rychlost
V	m^3	objem
ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	hustota
ν	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	kinematická viskozita
-	$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	hmotnost na délku
-	$\text{GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	energetický výnos na plochu
-	kWh	kilowatthodina

Seznam zkratk

AC	Střídavý proud (Alternating current)
CCUS	zachytávání, využívání a skladování oxidu uhličitého (carbon capture, utilisation and storage)
CNG	Stlačený zemní plyn (Compressed natural gas)
DC	Stejnoseměrný proud (Direct current)
DDGS	Sušené lihovarnické výpalky s rozpustnými složkami (Dried Distillers Grains with Solubles)
FAME	Metylester řepkového oleje (Fatty acid methyl ester)
FTIR	Infračervený spektrometr s Fourierovou transformací (Fourier-transform infrared spectroscopy)
FCEV	Elektrické vozidlo s vodíkovými palivovými články (Fuel Cell Electric Vehicle)
HVO	Hydrogenovaný rostlinný olej (Hydrotreated vegetable oil)
IEA	Mezinárodní agentura pro energii (International Energy Agency)
KVPD TF	Katedra vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty ČZU v Praze
LNG	Zkapalněný zemní plyn (Liquefied natural gas)
LPG	Zkapalněný ropný plyn (Liquefied petroleum gas)
MEŘO	Metylester řepkového oleje
NEDC	Nový evropský jízdní cyklus (New European Driving Cycle)
OBD	Palubní diagnostika (On-board diagnostics)
ULSD	Motorová nafta s výrazně sníženým obsahem síry (Ultra-low-sulfur diesel)
VCDS	VAG-COM Diagnostic System
WLTC	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure