



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# POROVNÁNÍ EMISÍ OSOBNÍCH VOZIDEL Z HLEDISKA JEJICH ŽIVOTNÍHO CYKLU

COMPARISON OF LIFE-CYCLE EMISSION PRODUCED BY CARS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Patrik Plott

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kateřina Fridrichová

BRNO 2022



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Patrik Plott**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Kateřina Fridrichová**  
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Porovnání emisí osobních vozidel z hlediska jejich životního cyklu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce rešeršní povahy zaměřená na porovnání emisí jednotlivých typů pohonů osobních vozidel z hlediska celého jejich životního cyklu.

### Cíle bakalářské práce:

Popsat současné emisní limity osobních vozidel. Blíže popsat různé typy paliv a pohonů. Porovnat typy pohonných jednotek z hlediska emisí vznikajících při výrobě, používání a zpracování materiálů po ukončení životnosti vozidla. Vysvětlit v souvislosti s elektromobilitou problematiku energetického mixu. V závěru vše zhodnotit s přihlédnutím k aktuální situaci.

### Seznam doporučené literatury:

CANDELARESI, Daniele, Antonio VALENTE, Diego IRIBARREN, Javier DUFOUR a Giuseppe SPAZZAFUMO. Comparative life cycle assessment of hydrogen-fuelled passenger cars. International Journal of Hydrogen Energy [online]. 2021. ISSN 03603199. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijhydene.2021.01.034.

COX, Brian, Christian BAUER, Angelica MENDOZA BELTRAN, Detlef P. VAN VUUREN a Christopher L. MUTEL. Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios. Applied Energy [online]. 2020, 269. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2020.115021.

DAI, Qiang, Jarod C. KELLY, Linda GAINES a Michael WANG. Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications. Batteries [online]. 2019, 5(2). ISSN 2313-0105. Dostupné z: doi:10.3390/batteries5020048.

TERNEL, Cyprien, Anne BOUTER a Joris MELGAR. Life cycle assessment of mid-range passenger cars powered by liquid and gaseous biofuels: Comparison with greenhouse gas emissions of electric vehicles and forecast to 2030. Transportation Research Part D: Transport and Environment [online]. 2021, 97. ISSN 13619209. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2021.102897.

KIM, Hyung Chul, Timothy J. WALLINGTON, Renata ARSENAULT, Chulheung BAE, Suckwon AHN a Jaeran LEE. Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis [online]. 2016, 50(14), 7715-7722. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.6b00830.

DUNN, Jennifer B., Linda GAINES, Jarod C. KELLY a Kevin G. GALLAGHER. Life Cycle Analysis Summary for Automotive Lithiumion Battery Production and Recycling. Rewas 2016: Towards Materials Resource Sustainability [online]. Hoboken, NJ, USA, 2016, 2016-02-02, 73-79. ISBN 9781119275039. Dostupné z: doi:10.1002/9781119275039.ch11.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Táto bakalárska práca rešeršnej povahy sa zaoberá porovnaním emisií jednotlivých typov pohonov osobných vozidiel z hľadiska ich celého životného cyklu. Cieľom bolo popísať súčasné emisné limity vozidiel, rôzne typy pohonných jednotiek a ich emisie vznikajúce pri výrobe, používaní a likvidácii vozidla. Boli porovnávané nie len rôzne typy automobilov so spaľovacím motorom, ale taktiež elektrifikované vozidlá. V závere sú pohonné jednotky na základe emisií zhodnotené s prihliadnutím na aktuálnu situáciu.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

emisie, globálne otepľovanie, pohonná jednotka, alternatívne palivo, životný cyklus

## ABSTRACT

This bachelor's thesis of research nature deals with comparison of emissions of individual types of passenger car's powertrains in terms of their entire life cycle. The goal was to describe current emission regulations of passenger vehicles, various types of power units they use, and emissions that are created in manufacturing, using and disposal of these vehicles. The comparison includes not only different types of internal combustion engine vehicles, but also electric vehicles. In conclusion were these power units evaluated based on emission considering current situation.

## KEYWORDS

emissions, global warming, power unit, alternative fuel, life cycle

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

PLOTT, P. *Porovnání emisí osobních vozidel z hlediska jejich životního cyklu*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Kateřina Fridrichová. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140809>.

## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Kateřiny Fridrichové a s použitím informačných zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa 20. mája 2022

.....

Patrik Plott

## POĎAKOVANIE

Rád by som touto cestou poďakoval pani Ing. Kateřině Fridrichové za cenné pripomienky a rady k tejto práci. Ďalej by som chcel poďakovať svojej rodine za podporu pri štúdiu.

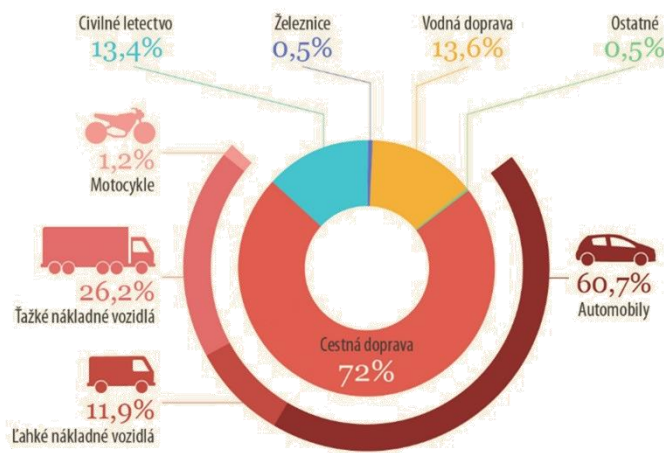


# OBSAH

|                                                                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvod .....</b>                                                                                                                                          | <b>10</b> |
| <b>1 Emisie dopravných prostriedkov .....</b>                                                                                                              | <b>11</b> |
| 1.1 Rozbor jednotlivých emisných zložiek a ich vplyv na ľudský organizmus a životné prostredie .....                                                       | 11        |
| 1.1.1 Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) .....                                                                                                               | 11        |
| 1.1.2 Oxidy dusíka (NO <sub>x</sub> ) .....                                                                                                                | 11        |
| 1.1.3 Oxid uhoľnatý (CO) .....                                                                                                                             | 11        |
| 1.1.4 Nespálené uhl'ovodíky (CH <sub>x</sub> ) .....                                                                                                       | 11        |
| 1.1.5 Oxidy síry (SO <sub>x</sub> ) .....                                                                                                                  | 11        |
| 1.1.6 Ozón (O <sub>3</sub> ) .....                                                                                                                         | 11        |
| 1.1.7 Pevné častice (PM) .....                                                                                                                             | 12        |
| 1.2 Výfukové emisie elektrického vozidla, plug-in hybridného elektrického vozidla a vozidla poháňaného vodíkom .....                                       | 12        |
| <b>2 Emisné normy .....</b>                                                                                                                                | <b>13</b> |
| 2.1 Emisná norma Euro a jej postupný vývoj .....                                                                                                           | 13        |
| 2.2 Súčasná európska emisná norma Euro 6 .....                                                                                                             | 14        |
| 2.2.1 Rozdiel medzi NEDC a WLTP .....                                                                                                                      | 15        |
| 2.2.2 Testovacia metóda RDE .....                                                                                                                          | 16        |
| <b>3 Pohonné jednotky automobilov .....</b>                                                                                                                | <b>17</b> |
| 3.1 Motor s vnútorným spaľovaním .....                                                                                                                     | 17        |
| 3.1.1 Alternatívne palivá pre motory s vnútorným spaľovaním .....                                                                                          | 17        |
| 3.1.2 Zážihový motor a jeho alternatívne palivá .....                                                                                                      | 18        |
| 3.1.3 Vznetový motor a jeho alternatívne palivá .....                                                                                                      | 23        |
| 3.2 Vodíkový pohon s využitím vodíkových článkov .....                                                                                                     | 26        |
| 3.3 Batériový elektrický pohon .....                                                                                                                       | 28        |
| 3.4 Hybridný pohon .....                                                                                                                                   | 29        |
| <b>4 Porovnanie emisií osobných vozidiel z hľadiska ich životného cyklu .....</b>                                                                          | <b>33</b> |
| 4.1 Hodnotenie životného cyklu osobných automobilov poháňanými kvapalnými a plynými palivami, a ich porovnanie s hybridnými a elektrickými vozidlami ..... | 33        |
| 4.1.1 Stanovenie hmotnosti .....                                                                                                                           | 34        |
| 4.1.2 Posúdenie životného cyklu .....                                                                                                                      | 35        |
| 4.1.3 Výsledky po posúdení životného cyklu .....                                                                                                           | 45        |
| 4.2 Hodnotenie životného cyklu osobných automobilov poháňanými vodíkom .....                                                                               | 48        |
| 4.2.1 Technické parametre vozidiel .....                                                                                                                   | 48        |
| 4.2.2 Posúdenie životného cyklu .....                                                                                                                      | 49        |
| 4.2.3 Výsledky po posúdení životného cyklu .....                                                                                                           | 52        |
| 4.3 Zhrnutie výsledkov hodnotenia LCA .....                                                                                                                | 53        |
| <b>Záver .....</b>                                                                                                                                         | <b>55</b> |
| <b>Použité informačné zdroje .....</b>                                                                                                                     | <b>56</b> |
| <b>Zoznam použitých skratiek a symbolov .....</b>                                                                                                          | <b>61</b> |

## Úvod

Pri akejkol'vek činnosti ľudstva sa v dnešnej dobe čoraz viac kladie dôraz na dopad na životné prostredie. Auto ako dopravný prostriedok a automobilový priemysel neodmysliteľne patrí k súčasnému civilizovanému spôsobu života. Automobil však jednoznačne vo veľkej miere prispieva k znečisťovaniu životného prostredia.



Obr. 1 Pomer emisií podľa spôsobu dopravy [2]

Snahy obmedziť emisie sa vydávajú dvomi cestami. Jednou je zvyšovanie účinnosti spaľovacích motorov a druhou je prechod na alternatívne palivá a pohony. Súčasným trendom je vytvárať efektívne dopravné prostriedky, ktoré budú dostupné pre ľudí a nebudú mať negatívny dopad na našu planétu. Z tohto dôvodu automobilky vyvíjajú veľké úsilie a mŕňajú mnoho prostriedkov na výskum a vývoj alternatívnych druhov pohonu. Uvedomujú si, že budúcnosť je v dopravných prostriedkoch, ktoré sú šetrné k životnému prostrediu. Ako alternatíva k fosílnym palivám sa vyvíjajú najmä elektromobily, autá na vodík s využitím ICE (motor s vnútorným spaľovaním) alebo vodíkových článkov, a ďalej automobily kombinujúce spaľovací motor s elektromotorom, teda hybridné vozidlá. Ďalšou možnosťou sú alternatívne palivá kompatibilné so súčasnými spaľovacími motormi. Patria sem napríklad vodík, zemný plyn, etanol, metanol, bionafta, atď.

V diskusii o ekologickejšej doprave sa však veľmi často zabúda na to, koľko emisií vyprodukuje automobil nie len počas aktívneho používania spotrebiteľom, ale nakoľko znečisťuje životné prostredie jeho samotná výroba, či následná likvidácia celého automobilu. A tu sa dostávame k otázke, aká je teda budúcnosť alternatívnych pohonov, a či sú jednotlivé alternatívne pohony naozaj ekologickejšie ako ich predchodcovia so spaľovacím motorom pri posudzovaní celého životného cyklu automobilu.

V tejto práci budeme pojednávať o rôznych pohonných jednotkách, ktoré na základe produkcie emisií počas celého životného cyklu na záver porovnáme.

# 1 EMISIE DOPRAVNÝCH PROSTRIEDKOV

Emisie dopravných prostriedkov sú sprievodné produkty bežnej a každodennej prevádzky vozidiel. Vo väčšine prípadov majú negatívny účinok na životné prostredie a ľudský organizmus.

## 1.1 ROZBOR JEDNOTLIVÝCH EMISNÝCH ZLOŽIEK A ICH VPLYV NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS A ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

### 1.1.1 OXID UHLIČITÝ ( $\text{CO}_2$ )

Ide o bezfarebný, nehorľavý a málo reaktívny plyn. Vzniká ako produkt biologických procesov, ako dýchanie či kvasenie, a ďalej aj ako produkt horenia zlúčenín uhlíka vo vzduchu. [3] Ľudskému organizmu škodí až v tom prípade, keď jeho koncentrácia začne vytláčať kyslík z vdychovaného vzduchu. Nárast  $\text{CO}_2$  v ovzduší je považovaný za jednu z hlavných príčin globálneho otepľovania. Je to spôsobené najmä spaľovaním fosílnych palív a úbytkom lesov. [4]

### 1.1.2 OXIDY DUSÍKA ( $\text{NO}_x$ )

Vznikajú pri spaľovacích procesoch. Medzi najvýznamnejšie oxidy dusíka patrí oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) a oxid dusnatý ( $\text{NO}$ ).  $\text{NO}_2$  spôsobuje zužovanie dýchacích ciest a jedná sa tak o veľmi dráždivý plyn pre ľudský organizmus. Oxidy dusíka sa ďalej podieľajú aj na tvorbe letného smogu a kyslých dažďov. [4]

### 1.1.3 OXID UHOĽNATÝ ( $\text{CO}$ )

Jedná sa o toxický bezfarebný plyn, ktorý je bez chuti a zápachu. Vzniká pri nedokonalom spaľovaní a je tak súčasťou výfukových plynov motorových vozidiel. Do krvného obehu preniká dýchacím traktom, a ďalej sa viaže na červené krvné farbivo. Následkom toho je znížený prívod kyslíka do tkanív. [4]

### 1.1.4 NESPÁLENÉ UHLĽOVODÍKY ( $\text{CH}_x$ )

Sú produktom oxidačného procesu, prípadne môžu vznikať pri nedokonalom spaľovaní paliva. Za najviac škodlivé uhľovodíky sú považované tie, ktoré vznikli ako medziprodukt pôvodnej oxidácie uhľovodíkovej molekuly, a u ktorých prebehne cyklus oxidačných reakcií len z časti. Veľa medziproduktov oxidačných reakcií je rakovinotvorná. Spájanie týchto medziproduktov s ďalšími výfukovými plynmi je preto veľmi nebezpečné. Čiastočne naoxidované uhľovodíky sa nazývajú aldehydy. Vznikajú najmä pri chode studeného motora, pri jazde s veľkým prebytkom vzduchu alebo pri malom zaťažení motora. [6] Aldehydy majú charakteristický zápach a ľudský organizmus ovplyvňujú najmä tým, že leptajú sliznicu a majú negatívny vplyv na dýchacie cesty. [4]

### 1.1.5 OXIDY SÍRY ( $\text{SO}_x$ )

Sú produkované hlavne vznetrovými motormi. Jedno z možných riešení pre elimináciu týchto oxidov je znížiť obsah síry v motorovej naftě, a tým pádom ich produkcia výrazne klesne. Z tohto dôvodu je ich množstvo zanedbateľné. [4]

### 1.1.6 OZÓN ( $\text{O}_3$ )

Vzniká pri reakciách  $\text{NO}_x$  a  $\text{CH}_x$ . Veľmi nebezpečný pre ľudský organizmus je tzv. prízemný ozón. Zvýšená koncentrácia je najmä počas horúcich dní v lokalitách s vysokou

koncentraciou výfukových plynov spaľovacích motorov. Tento plyn spôsobuje dráždenie dýchacích ciest, zvyšuje riziko astmatických záchvatov, podráždenie očí, či bolesti hlavy. 95 % ozónu vdýchnutého do pľúc ďalej pretrváva v pľúcach, a tým spôsobuje aj oslabenie organizmu a zvyšuje tak náchylnosť na infekciu dýchacích ciest. [4] Novo vyrábané automobily sú však vybavené katalyzátormi, ktoré premieňajú oxidy dusíka na inertný plyný dusík a toxický oxid uhoľnatý na oxid uhličitý, čím sa darí znížiť koncentraciu prízemného ozónu. [5]

### 1.1.7 PEVNÉ ČASTICE (PM)

Jedná sa o drobné, pevné alebo kvapalné častice rozptýlené vo vzduchu. Pevné častice, ktoré sú emitované spaľovacím motorom rozdeľujeme do dvoch skupín. Ide o nerozpustné častice (sadze) a rozpustné (poly-cyklické aromatické uhľovodíky). [7] Pevné častice majú nepriaznivé účinky na kardiovaskulárny systém, a tiež spôsobujú ochorenie dolných dýchacích ciest. [4]

## 1.2 VÝFUKOVÉ EMISIE ELEKTRICKÉHO VOZIDLA, PLUG-IN HYBRIDNÉHO ELEKTRICKÉHO VOZIDLA A VOZIDLA POHÁŇANÉHO VODÍKOM

Vozidlo pracujúce výlučne na elektrinu (EV) nebude pri jazde emitovať žiadne výfukové emisie.

Vozidlá, ktoré ku svojmu pohonu využívajú vodík za použitia vodíkových článkov alebo spaľovacieho motora, budú vo svojej podstate emitovať len vodnú paru.

Výpočet emisií, ktoré produkuje plug-in hybridné vozidlo (PHEV) je komplikovanejší. Vozidlá PHEV kombinujú elektrinu a klasický spaľovací motor, a tak tieto automobily môžu fungovať buď čisto na elektrický pohon alebo môžu poháňať kola klasickým spôsobom, a to prostredníctvom spaľovacieho motora. PHEV pracujúce iba na elektrinu (rovnako ako EV) nevytvára žiadne výfukové emisie, kdežto PHEV už za využitia spaľovacieho motora určité výfukové emisie vytvára, a z tohto dôvodu nemožno vypočítať celkové emisie bez podrobných informácií o tom ako dané PHEV funguje. Celkové emisie sa ďalej môžu výrazne líšiť v závislosti od kapacity batérie, spôsobu jazdy a frekvencie nabíjania. [9]

V tejto kapitole sme však hovorili len o emisiách, ktoré vznikajú pri jazde automobilu a teda pri bežnom využívaní dopravných prostriedkov spotrebiteľom. Je však nutné sa na problematiku pozrieť zo širšieho hľadiska a položiť si nasledujúce otázky, a to koľko emisií vznikne pri výrobe automobilu, pri jeho používaní a následnom spracovaní materiálov po ukončení životnosti vozidla. Nesmieme ani zabudnúť na to, koľko emisií vzniká pri výrobe, a následnej distribúcii jednotlivých palív pre daný pohon automobilu. Preto je nutné sa na problematiku znečisťovania ovzdušia spôsobeného automobilmi pozrieť a hodnotiť ju na základe celého životného cyklu vozidla pomocou tzv. metódy hodnotenia LCA (Life Cycle Assessment).

## 2 EMISNÉ NORMY

### 2.1 EMISNÁ NORMA EURO A JEJ POSTUPNÝ VÝVOJ

S postupne zvyšujúcim sa počtom osobných automobilov a ďalších dopravných prostriedkov bolo nutné riešiť emisie, ktoré pri spaľovaní vznikajú. Z dôvodu skúmania emisií a zistení negatívneho vplyvu na životné prostredie sa postupne začali zavádzať tzv. emisné normy, ktorých cieľom je zvyšovať požiadavky na novo vyvíjané spaľovacie motory. Postupným sprísňovaním týchto noriem musia automobilové spoločnosti, čím ďalej tým viac klásť dôraz na produkciu emisií a minimalizovať tak produkciu škodlivých látok.

Prvá emisná norma, ktorá sa zaoberala množstvom výfukových splodín vznikla v Kalifornii v roku 1968. V Európe začala platiť prvá Európska emisná norma v roku 1971, nazývaná EHK 15. Prvá emisná norma, ktorá mala označenie Euro sa objavila až v roku 1992. Od tohto roku pravidelne, každé 4 roky, je táto emisná norma aktualizovaná. S každou novou generáciou emisnej normy Euro sa znižujú emisné limity škodlivých látok vo výfukových plynch. Čím vyššie je číslo normy, tým väčšia je prísnosť normy. Za prelomovú normu sa považuje Euro 3 z toho dôvodu, že okrem pravidelného znižovania emisných limitov bola povinnosť automobiliek vybaviť novo vyrábané vozidlá so zážihovým motorom systémom palubnej diagnostiky OBD. Pre automobily so vznetovým motorom táto povinnosť prišla až s normou Euro 4. Ďalšou novinkou normy Euro 3 bolo, že limity pre oxidy dusíka a uhlíkovodíkov, ktoré boli do tej doby brané dohromady, boli s touto normou oddelené na samostatné hodnoty. [10]

Emisná norma Euro je norma vydávaná Európskou úniou a stanovuje limitné hodnoty škodlivín vo výfukových exhaláciách pre motorové vozidlá v závislosti hmotnosti škodliviny na prejdenej vzdialenosti. Norma stanovuje limity oxidu uhoľnatého (CO), oxidov dusíka (NO<sub>x</sub>), uhlíkovodíkov (HC) a pevných častíc (PM). Norma je vydávaná v postupne sa sprísňujúcich číslovaných verziách. Normy pre osobné automobily a ľahké úžitkové automobily sú číslované arabskými číslicami. [1]

V tabuľky 1 je možné vidieť, že emisná norma Euro nezahrnuje limity pre oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). Podľa uznesenia Európskej komisie v súčasnosti platí limit 95 g CO<sub>2</sub>/km. Jedná sa o priemernú hodnotu z emisií vozidiel výrobcu, ktorý je vážený podľa predaného počtu vozidiel za rok a ďalej je ešte modifikovaná hmotnosťou vozidiel tak, že pre ľahké vozidlá je prísnejšia a pre vozidlá ťažšie miernejšia. Pri prekročení tejto limitnej hodnoty hrozí pokuta až 95 € za každý prekročený gram CO<sub>2</sub> a vyrobené vozidlo. Je naplánované sprísňovanie limitnej hodnoty, a od roku 2030 by mal byť limit 59 g CO<sub>2</sub>/km. [20]

Tab. 1 Emisné normy Euro pre vznetové motory [8]

| NORMA  | PLATNOSŤ | CO<br>[g/km] | NO <sub>x</sub><br>[g/km] | PM<br>[g/km] | HC<br>[g/km] | HC + NO <sub>x</sub><br>[g/km] |
|--------|----------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| Euro 1 | 07. 1992 | 2,72         | -                         | 0,140        | -            | 0,97                           |
| Euro 2 | 01. 1996 | 1,00         | -                         | 0,080        | -            | 0,90                           |
| Euro 3 | 01. 2000 | 0,64         | 0,50                      | 0,050        | -            | 0,56                           |
| Euro 4 | 01. 2005 | 0,50         | 0,25                      | 0,025        | -            | 0,30                           |
| Euro 5 | 09. 2011 | 0,50         | 0,18                      | 0,005        | -            | 0,23                           |
| Euro 6 | 09. 2014 | 0,50         | 0,08                      | 0,005        | -            | 0,17                           |

Tab. 2 Emisné normy Euro pre zážihové motory [8]

| NORMA  | PLATNOSŤ | CO<br>[g/km] | NO <sub>x</sub><br>[g/km] | PM<br>[g/km] | HC<br>[g/km] | HC + NO <sub>x</sub><br>[g/km] |
|--------|----------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| Euro 1 | 07. 1992 | 2,72         | -                         | -            | -            | 0,97                           |
| Euro 2 | 01. 1996 | 2,20         | -                         | -            | -            | 0,50                           |
| Euro 3 | 01. 2000 | 2,30         | 0,15                      | -            | 0,20         | -                              |
| Euro 4 | 01. 2005 | 1,00         | 0,08                      | -            | 0,10         | -                              |
| Euro 5 | 09. 2009 | 1,00         | 0,06                      | 0,005        | 0,10         | -                              |
| Euro 6 | 09. 2014 | 1,00         | 0,06                      | 0,005        | 0,10         | -                              |

## 2.2 SÚČASNÁ EURÓPSKA EMISNÁ NORMA EURO 6

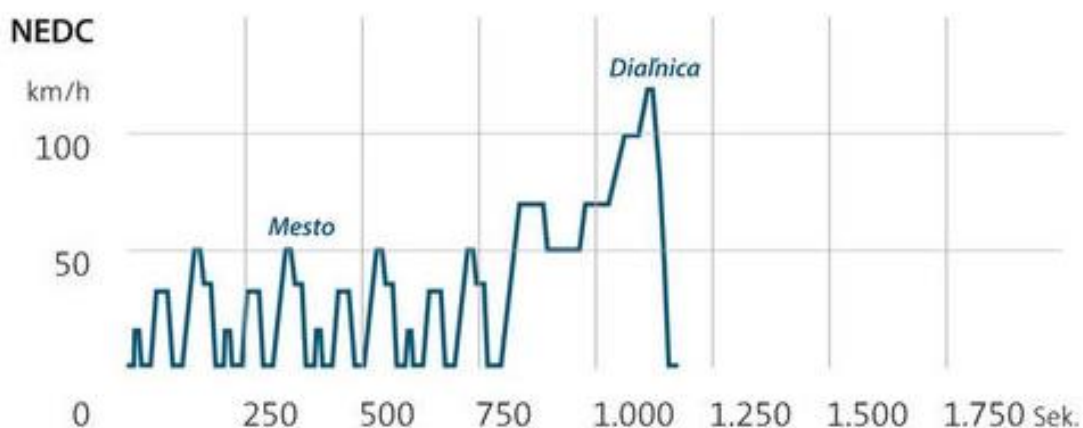
Európska emisná norma Euro 6 je environmentálna norma, ktorá vstúpila do platnosti v septembri v roku 2014. Cieľom tejto normy je obmedziť emisie určitých znečisťujúcich plynov produkovaných cestnými vozidlami. Konkrétne hodnoty emisií, ktoré požaduje norma Euro 6 sú uvedené v tabuľke 1 pre vznetové motory, a v tabuľke 2 pre motory zážihové. Táto emisná norma je zameraná najmä na vznetové motory, konkrétne na produkciu oxidov dusíka. [11]

Európska norma Euro 6 prechádzala istým vývojom, keďže sa zistilo, že existujú dramatické rozdiely medzi emisiami NO<sub>x</sub> meranými v laboratórnych podmienkach a meranými v reálnej doprave. Emisné limity, ktoré boli stanovené v roku 2014 zostali rovnaké, no metódy merania sa zmenili, a tým pádom prišlo k aktualizácii normy Euro 6. Tieto zmeny sa označovali písmenami b, c a d. Od septembra 2017 sa príslušné merania vykonávajú na základe WLTP (Worldwide Harmonized Light – Duty Vehicles Test Procedure), ktorý tak nahradil zastaralý

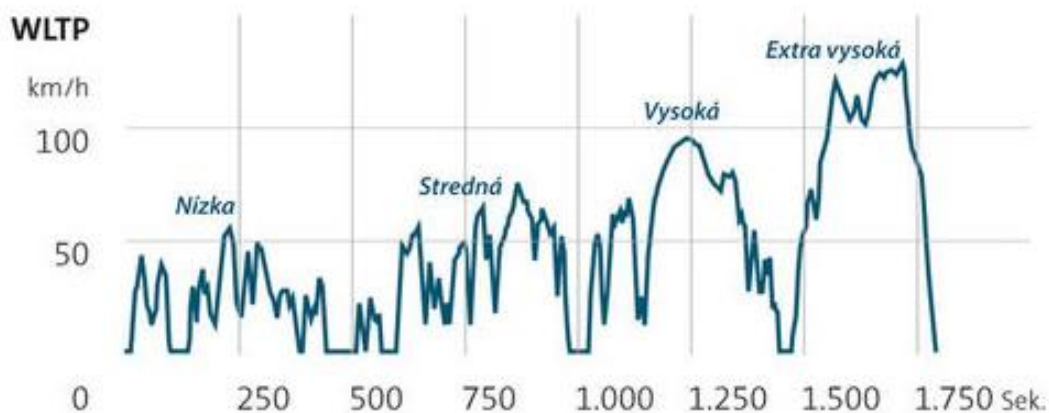
merací cyklus NEDC (New European Driving Cycle). Preto sa názov normy Euro 6b zmenil na Euro 6c. Nový štandard WLTP poskytuje realistickejšie meradlo na porovnávanie hodnôt emisií. Ďalším nástupcom normy Euro 6c je nová norma platná od septembra 2019, Euro 6d – TEMP, ktorá k WLTP doplnila ešte metódu RDE (Real Driving Emissions). Momentálne však platí norma Euro 6d. Rozdiel medzi týmito dvoma normami je ten, že norma Euro 6d -TEMP umožňuje odchýlku medzi meraním WLTP a RDE 110 % (tzv. faktor zhody 2,1), kdežto norma Euro 6d umožňuje odchýlku len 43 % (tzv. faktor zhody 1,43). [11]

### 2.2.1 ROZDIEL MEDZI NEDC A WLTP

Normovaný jazdný cyklus NEDC platí pre všetky osobné automobily a ľahké úžitkové vozidlá. Európska komisia ho zaviedla v roku 1992 s cieľom zistiť spotrebu paliva a emisií, a poskytnúť tak porovnateľné hodnoty. Tento test sa vykonáva v testovacej miestnosti, kde sa teplota pohybuje v rozsahu 20 až 30 °C. Dĺžka trasy, ktorú musí automobil prejsť je 11 km a celý cyklus merania trvá 20 minút. Tento cyklus tvoria dve fázy. Prvou je 13 minútová simulácia jazdy v meste a druhou 7 minútová simulácia jazdy mimo mesta. Priemerná rýchlosť je pri tom 33 km/h. Doba počas ktorej je vozidlo nečinné činí 25 %. Maximálna rýchlosť je 120 km/h. Pre modely s manuálnou prevodovkou je radenie rýchlostí presne definované. Táto simulácia nezohľadňuje doplnkovú výbavu a klimatizáciu. [12]



Obr. 3 Jazdný cyklus NEDC [12]



Obr. 2 Jazdný cyklus WLTP [12]

WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) je celosvetovo harmonizovaný štandard na testovanie osobných vozidiel a ľahkých úžitkových vozidiel zaisťujúci podstatne dynamickejšie testovacie parametre, ktorých výsledkom sú realistickejšie hodnoty spotreby paliva a emisií v porovnaní s NEDC. U tohto testovania je teplota v testovacej miestnosti 23 °C a dĺžka testovacej trasy je 23 km. Cyklus trvá až 30 minút a tvoria ho 4 fázy: pomalá, stredná, rýchla a extra rýchla. Priemerná rýchlosť je 47 km/h a podiel státia u tejto simulácie činí len 13 %. Maximálna dosahovaná rýchlosť je 130 km/h. Radenie rýchlostí je pre každé vozidlo vopred individuálne prepočítané. Hmotnosť vozidla a doplnková výbava sú do merania zahrnuté. Merané sú všetky možné kombinácie motorov a prevodoviek. Touto metódou je meraná aj spotreba a emisie hybridných, ale aj čisto elektrických vozidiel. [12]

## 2.2.2 TESTOVACIA METÓDA RDE

V Európe od septembra 2019 sa okrem jazdného cyklu WLTP meria spotreba paliva a emisií aj podľa testovacej metódy RDE (Real Driving Emissions). Na rozdiel od jazdných cyklov NEDC a WLTP sa meranie emisií nerealizuje v laboratórnych podmienkach, ale v skutočnej premávke. Emisie, ktoré boli namerané počas jazdy v reálnej premávke sa nazývajú skutočné emisie. [12]

Počas merania RDE prejde testované vozidlo trasu, ktorá je rozdelená do 3 častí. Jedná sa o jazdu v meste, jazdu mimo mesta a jazdu na diaľnici s náhodným zrýchlením a spomalením. Priemerná rýchlosť v meste sa pohybuje medzi 15 až 40 km/h a maximálne môže dosiahnuť až 60 km/h. Na ceste mimo mesta je to 60 až 90 km/h. Počas testovania na diaľnici môže ísť vozidlo rýchlosťou 145 km/h a na krátky čas môže dosiahnuť rýchlosti až do 160 km/h. [12]

Testované vozidlo je vybavené prenosným meracím systémom PEMS (Portable Emission Measurement System). Tento prístroj meria emisie výfukových plynov počas jazdy v skutočnej premávke a je montovaný priamo na vozidlo. Testovacia jazda trvá 90 až 120 minút, pričom vonkajšia teplota sa musí pohybovať v rozsahu medzi -7 až +35 °C. [12]



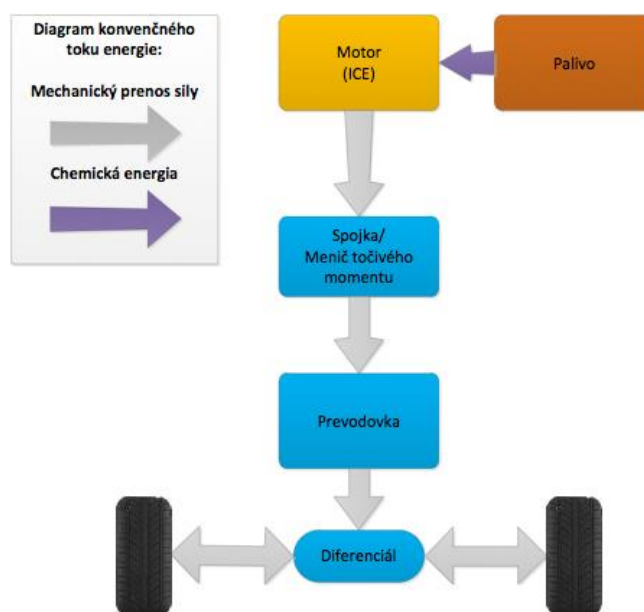
Obr. 4 Prenosný merací systém PEMS [12]



### 3 POHONNÉ JEDNOTKY AUTOMOBILOV

#### 3.1 MOTOR S VNÚTORNÝM SPAĽOVANÍM

Motor s vnútorným spaľovaním je stroj, ktorý premieňa teplo vznikajúce pri spaľovaní paliva na mechanickú prácu. Spaľovacie motory možno rozdeliť podľa viacerých kritérií. Medzi dva základné typy motorov s vnútorným spaľovaním patria zážihový motor, kde je palivo zapálené iskrou, a vznetrový motor, kde nárast teploty a tlaku počas kompresie spôsobí samovznietenie paliva. Oba tieto typy motorov môžu byť navrhnuté ako dvojdobé alebo ako štvordobé motory. Osobitnou kategóriou je Wankelov motor. [13]



Obr. 5 Schéma hnacieho ústrojenstva konvenčného automobilu s motorom s vnútorným spaľovaním [44]

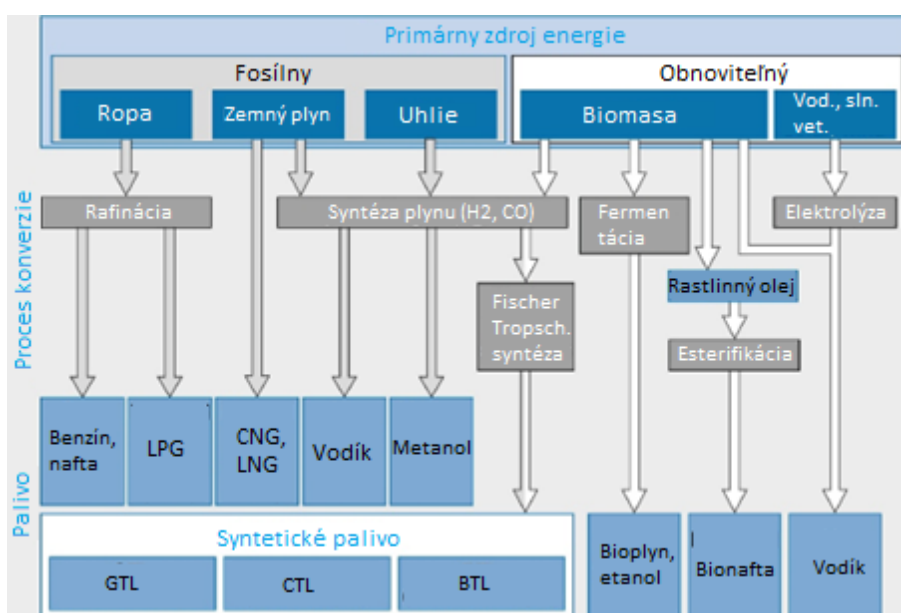
Konvenčné vozidlá teda premieňajú chemickú energiu z paliva na tepelnú, a tú na mechanickú, ktorá sa prenáša prostredníctvom spojky, prevodovky a diferenciálu na hnaciu nápravu.

##### 3.1.1 ALTERNATÍVNE PALIVÁ PRE MOTORY S VNÚTORNÝM SPAĽOVANÍM

V súčasnej dobe sa alternatívne palivá definujú ako palivá, ktoré sú iné ako konvenčne používaný benzín a nafta. Patria sem napríklad alkoholové palivo ako je etanol (vrátane zmesi s benzínom nad 85 %), zemný plyn, skvapalnený ropný plyn (LPG), vodík, bionafta a tak ďalej. Účelom používania alternatívnych palív je najmä zlepšenie účinnosti motora a zníženie emisií produkovaných pri spaľovaní, najmä prostredníctvom lepších fyzikálnych a chemických vlastností alternatívnych palív v porovnaní s vlastnosťami konvenčných palív. Ďalším motívom používania alternatívnych palív je to, že je možné ich získavať z obnoviteľných zdrojov a nebyť tak závislý na zdrojoch fosílnych. Hľadanie nových možností energie, palív a postupný posun k obnoviteľným zdrojom je nevyhnutelný, pretože v súčasnosti väčšina energetických zdrojov spoľieha práve na fosílna palivá, ktorých dostupnosť je však do značnej miery obmedzená. Využívanie fosílnych palív patrí medzi hlavných prispievateľov tvorby emisií CO<sub>2</sub>. Ľudská činnosť pritom vytvára približne 25 miliárd ton CO<sub>2</sub> ročne. [15]

Pri používaní alternatívnych palív treba brať do úvahy vlastnosti spaľovania (chemické vlastnosti ako sú oktánové a cetánové číslo), fyzikálne vlastnosti (tvorba zmesi na spaľovanie a prevádzkovú schopnosť motora v širokom rozsahu teplôt), nižšiu výhrevnosť (LHV), ktorá určuje účinnosť paliva ako nosiča energie, ďalej kompatibilitu, výrobné náklady a infraštruktúru. Na to aby mohli alternatívne paliva plnohodnotne nahradiť tie konvenčné je dôležitá materiálová kompatibilita so súčasnými motormi a celou infraštruktúrou zásobovania paliva. Rozdiely v mazaní sú jedným z typických problémov kompatibility. Nízke mazacie schopnosti paliva môžu viesť napríklad k poruche zariadenia slúžiaceho na vstrekovanie paliva. Výrobné náklady sú taktiež dôležitým faktorom pre zavedenie alternatívnych palív na trh. [15]

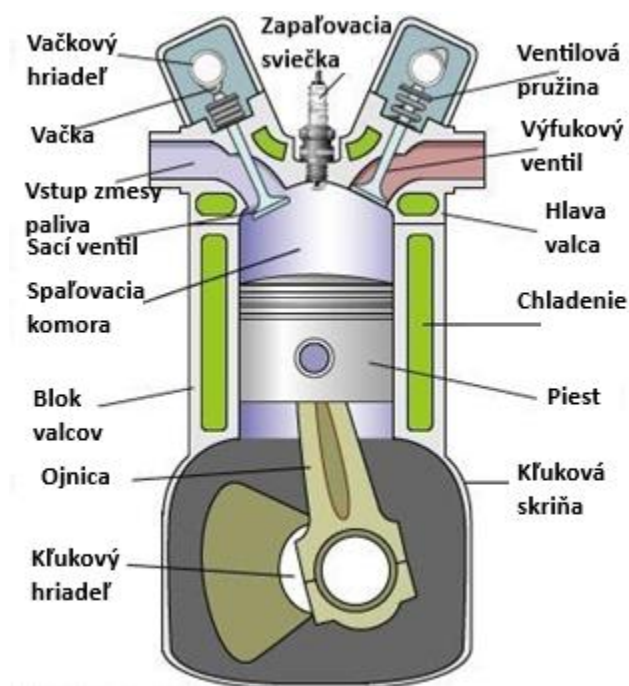
Na obrázku 6 je možné vidieť sumarizáciu dostupných spôsobov výroby kvapalných a plyných palív, či už zo zdrojov fosílnych alebo obnoviteľných. Je vidieť, že väčšina palív, ktoré sa v súčasnosti používajú v doprave pochádza najmä z rafinácie surovej ropy. [15]



Obr. 6 Prehľad dostupných spôsobov výroby alternatívnych palív [15]

### 3.1.2 ZÁŽIHOVÝ MOTOR A JEHO ALTERNATÍVNE PALIVÁ

Zážihový motor je piestový spaľovací motor, kde proces spaľovania prebieha tak, že zmes vzduch-palivo je zapálená iskrou zo zapalovacej sviečky. Ako palivo sa používa najmä benzín. [13] Ďalšími alternatívnymi palivami sú stlačený zemný plyn (CNG), vodík, skvapalnený ropný plyn (LPG), prípadne alkoholové palivá (metanol a etanol). [15]



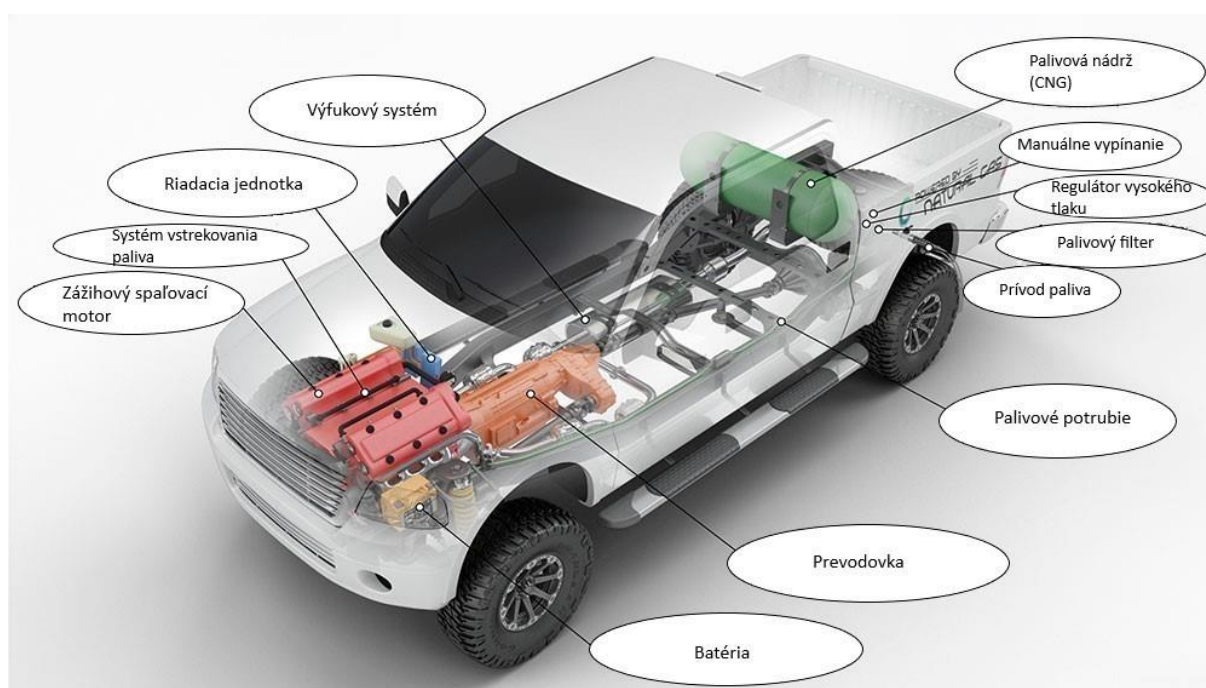
Obr. 7 Rez zážihovým motorom [14]

Tak ako bolo uvedené vyššie, v konvenčných zážihových motoroch je zmes vzduchu a paliva nasávaná do valca a stlačená až do blízkosti hornej úvrate, a tým je pripravená na zapálenie, ktoré je iniciované elektrickým výbojom zapaľovacej sviečky. U zážihových motorov môže dôjsť k nežiaducemu javu, ktorým je samovznietenie, inak nazývané aj klepanie. Vlastnosti paliva, ale taktiež aj konštrukčné parametre, tento nežiaduci jav do značnej miery ovplyvňujú. Z tohto dôvodu je prevencia voči klepaniu dôležitá požiadavka na alternatívne palivá zážihového motora. Ďalšími požiadavkami a dôležitými parametrami sú napríklad oktánové číslo, laminárna rýchlosť plameňa, LHV, atď. Oktánové číslo určuje odolnosť daného paliva voči klepaniu a je teda rozhodujúcim faktorom určujúcim to, či je dané alternatívne palivo vhodné pre použitie v zážihovom motore alebo naopak, nie je. Vysoko odolný voči klepaniu je izo-oktán, ktorému je priradené oktánové číslo 100. Na druhej strane je n-heptán, ktorému je priradené oktánové číslo 0 a je náchylný na klepanie. Oktánové číslo neznámeho paliva sa určuje na základe CFR (Cooperative Fuel Research). Podľa metódy merania môže byť oktánové číslo zobrazené ako výskumné oktánové číslo (RON), alebo ako oktánové číslo motora (MON). Pre bežne používaný benzín má RON hodnotu 91 a MON 82,5. Oktánové číslo benzínu bráni ďalej zvyšovať kompresný pomer, a tým pádom aj obmedzuje účinnosť motora. Z toho teda vyplýva, že oktánové číslo alternatívnych palív hrá dôležitú úlohu pri vývoji budúcich zážihových motorov. [15]

### STLAČENÝ ZEMNÝ PLYN

Zemný plyn sa získaval ako vedľajší produkt pri rafinácii ropy. Nežiaduci plyn sa zvyčajne spaľoval na ropných poliach. V súčasnosti sa však plyn zhromažďuje a prepravuje potrubím na výrobu energie, na domáce použitie, vrátane vývozu vo forme skvapalneného zemného plynu (LNG). LNG sa spravidla splyňuje na zemný plyn, a potom sa privádza potrubím do distribučnej siete. Tento plyn sa tiež používa v doprave a to hlavne z dôvodu jeho nízkej ceny v porovnaní s konvenčnými palivami. [15]

Zemný plyn pozostáva najmä z metánu (94,4 %) a za ním nasledujú ďalšie minoritné látky ako sú etán a propán. Zemný plyn má vyššiu LHV na jednotku hmotnosti v porovnaní s akýmkoľvek iným palivom. Vďaka nízkemu pomeru uhlíka ku vodíku v molekule paliva tiež umožňuje pri použití zemného plynu emitovať menšie množstvo oxidu uhličitého v porovnaní s inými uhlíkovodíkovými palivami. Ak však chceme zemný plyn použiť ako palivo v doprave sú potrebné nádoby na vysokotlakové skladovanie zemného plynu. Palivo sa teda používa v plynnej forme (CNG). Ďalšou možnosťou je skladovať v nádržiach zemný plyn aj v stave kvapalnom (LNG). Vzdialenosť, ktorú je možné prejsť vozidlom na zemný plyn je kratšia ako u bežne používaných automobiloch na benzín. Je to spôsobené tým, že zemný plyn má objemovú hustotu energie nižšiu ako benzín. Z tohto dôvodu sú vozidlá poháňané CNG najviac využívané hlavne v mestských a prímestských oblastiach, kde sú cestovné vzdialenosti relatívne krátke. Napríklad u autobusov je CNG veľmi dobrou alternatívou. Pre vozidlá jazdiace na dlhšie vzdialenosti je však LNG lepšou možnosťou. LNG je ďalej vhodnejšie pre nákladne vozidlá. Nevýhodou LNG paliva je vyššia cena nádrže v porovnaní s cenou nádrže na CNG. [15]



Obr. 8 komponenty CNG automobilu [17]

Vozidlá na stlačený zemný plyn fungujú relatívne podobne ako vozidlá so spaľovacím motorom využívajúce ako palivo benzín. Zemný plyn je uložený v palivovej nádrži, ktorá zvyčajne býva umiestnená v zadnej časti vozidla. Z palivovej nádrže sa palivovým systémom CNG prenáša vysokotlakový plyn cez palivové potrubia, kde sa nachádza regulátor tlaku a ten tak zníži tlak na takú úroveň, ktorá je kompatibilná so systémom vstrekovania paliva do motora. Následne sa palivo dostane do sacieho potrubia, prípadne do spaľovacej komory, kde sa zmieša so vzduchom, následne sa stlačí a nakoniec zapáli zapalovacou sviečkou. Medzi výhody automobilu na CNG alebo LNG oproti konvenčným benzínovým autám patrí najmä nižšia cena paliva. Medzi nevýhody je možné zaradiť napríklad zákaz parkovania v podzemných garážach. [17]

Keďže zemný plyn pozostáva najmä z metánu, ktorý má vyššie oktanové číslo ako benzín, tak u motorov využívajúce ako palivo CNG je možnosť použiť vyššie kompresné

pomery a zvýšiť tak účinnosť. Je tiež zabezpečená lepšia prevencia voči efektu klepania. Plynná fáza paliva je výhodná pre proces miešania zmesi vzduchu a paliva. Z tohto dôvodu je možné očakávať zníženie emisií v dôsledku tvorby homogénnejšej zmesi. Plynná fáza paliva však prináša aj isté problémy, a to najmä zníženie krútiaceho momentu motora v porovnaní s motorom využívajúcim benzín. Priame vstrekovanie CNG do valca po zatvorení sacieho ventilu, by mohlo však tento problém vyriešiť a zlepšiť tým krútiaci moment pri nízkych otáčkach motora. Podľa doposiaľ prevedených testov bolo oznámené, že pri použití systému priameho vstrekovania a optimálneho časovania iskier je možné kompenzovať približne dve tretiny strát krútiaceho momentu pri nízkych otáčkach motora, pri využívaní paliva CNG. [15]

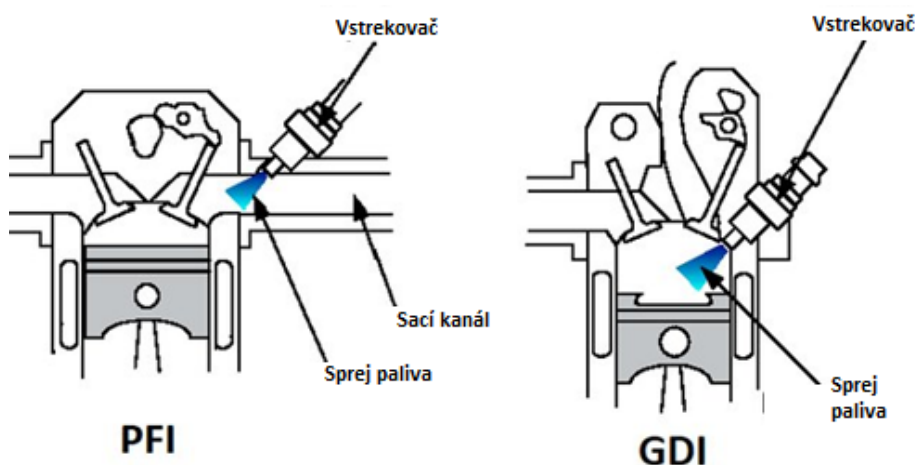
Motor využívajúci ako palivo zemný plyn produkuje menšie množstvo emisií oxidu uhličitého. Na druhú stranu však viac ako 90 % nespálených uhlíkovodíkov je metán, ktorý má potenciál globálneho otepľovania 20-krát vyšší ako oxid uhličitý. [15]

## VODÍK

Vodík ( $H_2$ ) je v širokom rozsahu využívané palivo pre spaľovanie. Využíva sa v mnoho priemyselných odvetviach vrátane letectva, ale aj cestnej dopravy. Vodík má vysokú hustotu energie v hmotnostnom základe, vysokú rýchlosť plameňa a široký rozsah horľavosti. Je ho teda možné využívať v rôznych spôsoboch spaľovania, od konvenčných až po pokročilé koncepcie spaľovania. Vodík je možné vyrábať z fosílnych zdrojov ako je zemný plyn a uhlie, ale aj z obnoviteľných zdrojov ako napríklad biomasa. V dnešnej dobe je však viac ako 90 % vodíku produkovaného z fosílnych zdrojov. [15]

Spaľovací motor využívajúci ako palivo vodík funguje na rovnakom princípe ako bežný spaľovací motor, ktorý spaľuje benzín.

Vysoké oktanové číslo vodíku nám poskytuje možnosť zvýšiť kompresný pomer, a tak následne zvýšiť účinnosť motora. Charakteristickou vlastnosťou vodíka je jeho vysoká rýchlosť laminárneho plameňa, ktorá je rádovo vyššia ako u uhlíkovodíkov. Práve preto motor s PFI (Port Fuel Injection), využívajúci ako palivo vodík, má vyššiu tepelnú účinnosť v porovnaní s konvenčným motorom, ktorý je poháňaný benzínom. [15]



Obr. 9 Schéma PFI (Port Fuel Injection) a GDI (Gasoline Direct Injection) [16]

Je však treba brať do úvahy možnosť väčších strát prenosu tepla stenou valca. Teplota samovznietenia vodíka je 858 K, kdežto teplota samovznietenia benzínu je 550 K.



Avšak minimálna zápalná energia vodíka je 0,02 mJ, zatiaľ čo pre ekvivalentnú zmes benzínu a vzduchu to je 0,24 mJ. Preto u automobilov, ktoré využívajú ako palivo vodík, je možnosť vzniku poruchy zapalovania a predzápalu. Predzápal je jav, pri ktorom dochádza k vznieteniu zmesi vzduchu a paliva pred zapálením sviečky, čo môže spôsobiť poškodenie motora. [15]

Spaľovanie vodíka neprodukuje emisie ako sú oxid uhoľnatý, oxid uhličitý a pevné častice z dôvodu absencie atómov uhlíka. Avšak pri stechiometrickom pomere vzduch-palivo je veľmi vysoká teplota spaľovania, ktorá má za následok to, že sa vytvorí veľké množstvo oxidov dusíka. Riešením tohto problému je, že motory využívajúce ako palivo vodík sú konštruované takým spôsobom, aby spotrebovali dvakrát toľko vzduchu než je teoreticky potrebné na úplne spaľovanie. Pri tomto pomere sa tvorba oxidov dusíka zníži skoro na nulu. Je však ďalej potrebné brať do úvahy uhlíkovú stopu, ktorá vznikne aj pri výrobe, prípadne distribúcie samotného vodíka na čerpace stanice. Je dobré poznamenať, že vodík sa dá získať aj šetrným spôsobom pomocou elektrolýzy, ale v súčasnej dobe sa však získava neekologickým spôsobom, prostredníctvom parného reformovania metánu. [15]

### SKVAPALNENÝ ROPNÝ PLYN

Existujú rôzne zdroje skvapalneného ropného plynu (LPG). Získava sa pri ťažbe zemného plynu a ropy, prípadne vzniká ako vedľajší produkt pri spracovaní ropy v rafinériách. [15]

Kvôli viacerým variáciám zdrojov LPG a procesov spracovania je jeho zloženie rôzne po celom svete. Vo všeobecnosti však platí, že sa jedná najmä o zmes propánu a butánu. Platí pri tom, že každá zložka má oktánové číslo vyššie v porovnaní s benzínom. Z tohto dôvodu je možný vyšší kompresný pomer, čo má za následok zvyšovanie účinnosti a znižovanie pravdepodobnosti výskytu efektu klepania. [15]

Vozidlá využívajúce LPG fungujú na rovnakom princípe ako motor spaľujúci benzín. Jediný rozdiel je v skladovaní paliva a v konštrukcii palivového systému. LPG je v porovnaní s benzínom ekonomickejšou alternatívou. Existujú dva druhy automobilov a to také, ktoré boli vybavené LPG systémom už pri výrobe a druhou variantnou, v dnešnej dobe častejšou, sú takzvané dvojpalivové automobily využívajúce rovnako benzín aj LPG. Jedná sa teda o prestavbu konvenčného automobilu. Vodič je schopný prepínať z plynu na benzín a naopak. V automobile sú prítomné dve nádrže, tá benzínová, a nádrž na LPG. Nevýhodou je zmenšenie batožinového priestoru, no na druhú stranu sa zvýši dojazd a má to takisto výhodu ušetrenia peňazí, keďže LPG je lacnejšou alternatívou benzínu. [15]

Pri vozidlách poháňaných LPG existujú 4 typy systémov prívodu paliva. Najstarším systémom je konvertorový zmiešavací systém. Funguje tak, že premieňa tekuté palivo na paru a potom sa zmieša so vzduchom predtým než vstúpi do sacieho potrubia. Druhým systémom je takzvaný VPI (Vapour Phase Injection) systém, čo je vlastne vstrekovanie paliva vo fáze pary. Plyn teda vystupuje z prevodníka pod tlakom, a ďalej sa vstrekuje do sacieho potrubia. Elektricky ovládané vstrekovacie zariadenia zlepšujú dávkovanie paliva do motora, a zlepšujú tak spotrebu paliva, výkon a znižujú sa tiež emisie. Tretím systémom je takzvaný LPI (Liquid Phase Injection) systém, kde vstrekovacie zariadenia vstreknú kvapalný stav LPG do sacieho potrubia. Odparovanie paliva v sacom potrubí ochladzuje a zvyšuje hustotu zmesi. V porovnaní so systémom VPI zlepšuje výkon a spotrebu paliva. Posledným systémom je najpokročilejší systém, ktorý vstrekuje kvapalný stav LPG priamo do spaľovacej komory. Jedná sa teda

o systém s názvom LPDI (Liquid Phase Direct Injection). Tento systém v porovnaní s ostatnými systémami vstrekovania poskytuje najlepší výkon a spotrebu paliva. [15]

### ALKOHOLOVÉ PALIVA – METANOL A ETANOL

Alkohol sprevádza dejiny ľudstva už veľmi dlho, no až vďaka priemyselnej revolúcii v 19. storočí a na začiatku 20. sa začal alkohol využívať ako palivo pre automobily. Medzi alkoholové paliva, ktoré môžu byť použité pre spaľovanie v automobile, radíme metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), propanol ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ) a butanol ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ). Z technických a ekonomických dôvodov sú najmä etanol a metanol používané ako alternatívne palivá pre zážihové motory. [15]

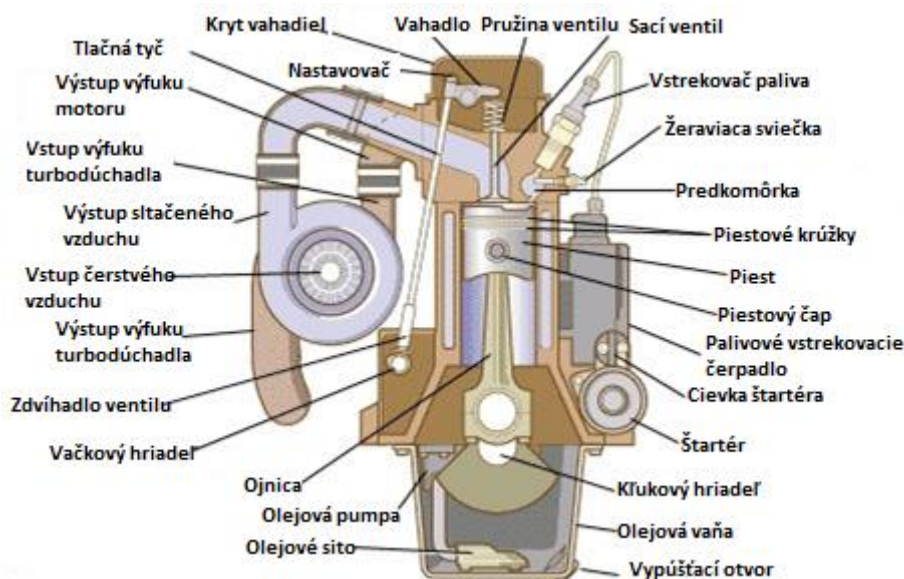
Metanol je možné vyrábať z uhlia, zemného plynu, koksárenského plynu, vodíka a biomasy. Ak sa však rozhodneme vyrábať metanol z biomasy, jeho cena bude približne dvojnásobná v porovnaní so syntetickým metanolom, ktorý je vyrobený napríklad zo zemného plynu. Väčšina metanolu sa však vyrába hydrogenáciou oxidu uhoľnatého za vysokého tlaku a teploty. Etanol môžeme získať dvomi spôsobmi. Prvým spôsobom je reakcia etánu s parou a druhým spôsobom je takzvaná fermentácia prebiehajúca na roztokoch cukru. Po 30 hodinách fermentácia obsahuje kaša asi 10 % alkoholu, ktorý sa odstráni napríklad destiláciou a je možné ho použiť ako kvapalné palivo. Etanolu sa tak aj často hovorí bio-etanol a to hlavne z dôvodu, že sa vyrába z obnoviteľných bio-organických materiálov. [15]

Metanol a etanol sa radia do kategórie oksyločených kvapalných uhl'ovodíkových palív. LHV týchto alkoholových palív je výrazne nižšia ako u benzínu. Ďalej tiež vykazujú vyššie oktánové číslo, čo nám umožňuje dosiahnutie vyššej tepelnej účinnosti. Alkoholové palivá taktiež majú vyššie latentné teplo vyparovania ako benzín, a vďaka tomu možno očakávať zvýšené účinky chladenia, čo môže spôsobiť lepšiu prevenciu voči efektu klepania. Tlak pár benzínu je vyšší a naopak bod varu je nižší ako u etanolu, a to v rozsahu teplôt 300 až 410 K. Z tohto dôvodu je potrebné venovať u etanolového paliva pozornosť problému s emisiami, ktoré vznikajú pri studenom štarte motora. Všeobecne platí, že palivo zmiešané s etanolom vykazuje vyššie emisie PM, čo je teda spôsobené hlavne kvôli nižším odparovacím charakteristikám etanolu pri okolitej teplote pod 300 K. [15]

### 3.1.3 VZNETOVÝ MOTOR A JEHO ALTERNATÍVNE PALIVA

Vo vznetovom motore sa palivo vstrekuje priamo do valca a následne dôjde k samovznieteniu pri konci kompresného zdvihu. [13] Schopnosť samovznietenia je tak dôležitým faktorom pre palivá používané vo vznetových motoroch. Existuje však viacero kritérií, ktoré rozhodujú o kvalite naftových palív, prípadne alternatívnych palív pre vznetové motory. Konkrétne sa jedná napríklad o bod varu alebo o cetánové číslo udávajúce jeho schopnosť vznietenia. Čím vyššie je cetánové číslo, tak tým lepšie sú zápalné vlastnosti paliva. Toto číslo ďalej ovplyvňuje viacero výkonných vlastností motora, ako napríklad spaľovanie, samotné jazdné vlastnosti, hluk a emisie CO či HC. Bionafta má vyššie cetánové číslo ako bežne používaná motorová nafta, čoho výsledkom je vyššia účinnosť spaľovania. Ako teda z charakteristiky vyplýva, cetánové číslo bude primárnym faktorom pri rozhodovaní, či je dané alternatívne palivo použiteľné pre vznetový motor alebo naopak, nie je. Cetánové číslo 100 je priradené n-hexadekánu, ktorý sa ľahko vznieti, na druhej strane cetánové číslo 0 je priradené metylnaftelenu, vyznačujúcim sa pomalým spaľovaním. V súčasnosti platí, že cetánové číslo presahujúce hodnotu 50 je vhodné pre optimálnu prevádzku moderných vznetových motorov.

Cetánové číslo samozrejme zohľadňuje aj všetky potrebné fyzikálne a chemické vlastnosti palív. [15]



Obr. 10 Rez vznetovým motorom [18]

## BIONAFTA

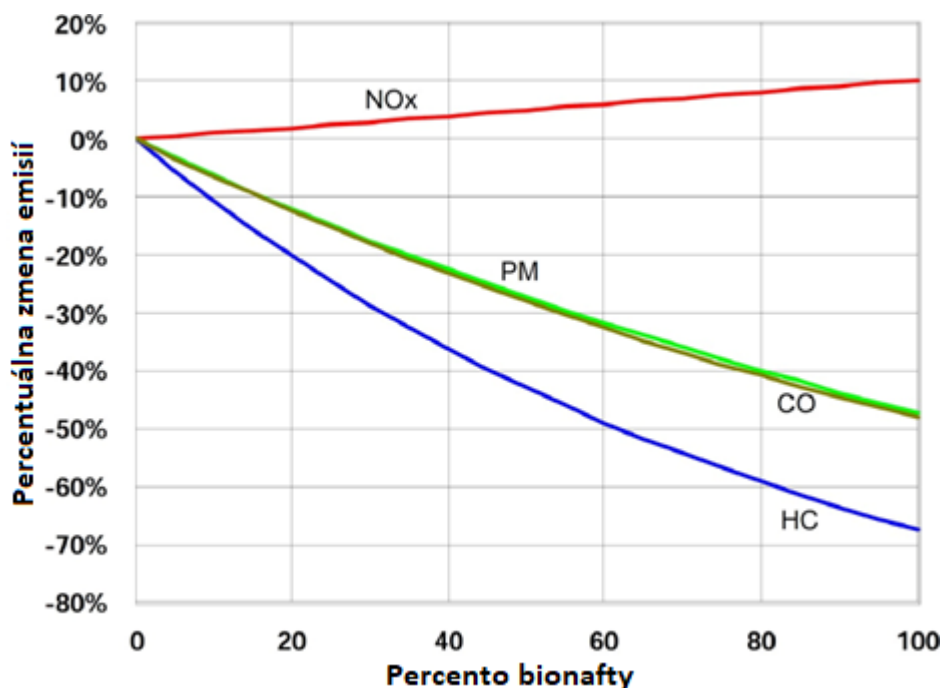
Bionafta sa radí medzi alternatívne paliva a je založená na surovinách, ktoré majú biologický pôvod. Na výrobu paliva je možné použiť rôzne ropné suroviny. Patria sem napríklad rastlinný olej, živočíšny tuk, prípadne odpadový kuchynský olej. Najčastejšie používané suroviny na výrobu bionafty sú repkový a sójový olej. [15]

Bionafta získaná z odpadového kuchynského oleja vykazovala najnižšie emisie skleníkových plynov podľa merania WTW s približne 82 % úsporou emisií skleníkových plynov v porovnaní s konvenčnou naftou. [15]

Bionafta má vo všeobecnosti vyššie cetánové číslo ako konvenčne používaná motorová nafta, ale má menšiu LHV. Bionafta takisto vykazuje vyšší bod vzplanutia, čo je výhodné najmä z hľadiska skladovania paliva, a tiež bezpečnosti pri distribúcii. Bionafta má vyšší bod zákalu a vyšší bod tuhnutia, z dôvodu vyššieho podielu mastných kyselín v porovnaní s bežne používanou motorovou naftou. Body zákalu a tuhnutia ukazujú najnižšie teploty, pri ktorých môže byť palivo čerpané predtým ako sa zmení na kryštály vosku. Vyšší bod zákalu a tuhnutia tiež spôsobujú určité nevýhody pri studenom štarte a takisto predstavujú prekážku pri použití zmesi s veľkým podielom bionafty. Bionafta je hustejšia, viskóznejšia a má taktiež vyššie povrchové napätie v porovnaní s konvenčnou motorovou naftou. Mikroskopické snímky sprejov bionafty odhalili problémy pri vstrekaní, a to konkrétne väčšie oneskorenie vstrekovania. Makroskopické snímky spreju bionafty v komore s konštantným objemom odhalili takisto väčšie oneskorenie vstreku, no na druhej strane uhol rozstreku, plocha a objem boli menšie ako u konvenčnej nafty. Nižšia LHV bionafty môže spôsobiť problémy pri dosiahnutí maximálneho krútiaceho momentu pri plnom zaťažení. Testy vykonané s rôznymi zmesami sójovej bionafty od B10 po B100 ukázali, že priemerné maximálne brzdné momenty (na dynamometre) sa znížili o 1,57 % až 4,7 %.



Merná spotreba paliva bionafty bola až o 15 % vyššia ako u motorovej nafty v dôsledku nižšej LHV. Na obrázku 11 môžeme vidieť údaje, ktoré vypracovala agentúra US EPA. Sumarizuje celkové výsledky emisií CO, HC, PM a NO<sub>x</sub>. Na ose x sa nachádza hodnota percenta bio zložky a na ose y je vynesená percentuálna zmena v emisiách. Z grafu možno vyčítať, že so zvyšujúcou sa koncentráciou bio zložky v naftě sa znižuje produkcia emisií CO a HC, ale na druhú stranu bol zaznamenaný mierny nárast emisií NO<sub>x</sub>. [15]



Obr. 11 Vplyv bionafty na emisie vznetových motorov [15]

### DIMETYLÉTER (DME)

DME sa používa ako prekurzor pri syntéze iných organických zlúčenín a už desaťročia sa používa ako aerosólový hnací plyn. Postupom času sa začal dimetyléter využívať ako alternatívne palivo pre vznetové motory. DME má veľmi podobné vlastnosti ako LPG. Má veľký potenciál nie len ako alternatívne palivo, ale takisto sa používa na výrobu elektrickej energie, a v domácnosti na vykurovanie. DME je možné získať z viacerých zdrojov vrátane fosílnych palív (zemný plyn a uhlie), ale takisto aj z obnoviteľných zdrojov (biomasa, poľnohospodárske produkty a odpad). Existujú dva spôsoby výroby DME. Prvý spôsob zahŕňa pridanie dehydratačného kroku do druhej časti priemyselného spracovania metanolu, jedná sa o nepriamu metódu. Druhým spôsobom je priama metóda, a jedná sa o získanie DME syntézou zo syntézneho plynu (H<sub>2</sub>, CO). Celkovo je však množstvo výroby obmedzené. Celosvetovo sa vyrobí dimetyléteri asi 150 000 ton. Účinnosť meraná podľa WTW je vo všeobecnosti porovnateľná s účinnosťou vozidiel poháňanými LPG a CNG, pohybuje sa okolo 18 % až 19 %, zatiaľ čo pre motorovú naftu to je 25,7 %. Výsledky merania emisií CO<sub>2</sub> podľa WTW pre DME pochádzajúce z fosílnych palív boli porovnateľné s emisiami pri používaní bežnej motorovej nafty alebo paliva CNG. Na druhej strane výsledky emisií pri využívaní paliva DME, ktoré pochádza z bioproduktov, boli takmer o 20 % nižšie v porovnaní s motorovou naftou. Pri využívaní dimetyléteri ako paliva vzniká problém hlavne v dôsledku niektorých jeho vlastností ako sú napríklad nízke mazacie schopnosti alebo vysoký objemový modul pružnosti. [15]

DME je pri štandardnej teplote a tlaku v plynnej fáze. Pri tlaku, ktorý je väčší ako 6 MPa alebo pri ochladení, sa zmení na kvapalinu. Toto ľahké skvapalnenie je výhodné z dôvodu, že sa tak uľahčuje preprava a skladovanie paliva. Tieto a ďalšie vlastnosti, vrátane vysokého obsahu kyslíka a nedostatku síry alebo iných škodlivých zlúčenín, robia z DME sľubnú náhradu motorovej nafty. Cetánové číslo je vyššie ako u nafty, čo ho ako palivo takisto predurčuje na použitie vo vznetrových motoroch. Pokusy o vývoj špeciálneho zariadenia na vstrekovanie paliva DME siahajú až do konca 90. rokov. Objemový modul pružnosti pre bežné uhl'ovodíkové palivá je 2 až 6 krát väčší než u DME. Z toho vyplýva, že pri použití dimetyléru je potrebná väčšia kompresia. Štruktúra spreja DME bola kategorizovaná vzhľadom na tri rôzne tlakové podmienky okolia. Konkrétne pod tlakom nasýtených pár DME, nad kritickým tlakom DME a nakoniec medzi týmito tlakmi. Keď sa palivo vstrekuje pri okolitom tlaku medzi tlakom nasýtených pár a kritickým tlakom, správanie rozprašovania DME je podobné ako pri naftě. DME má výhodu, že sadze vznikajúce pri jeho spaľovaní sú takmer nulové v dôsledku obsahu kyslíka 35 % a nedostatku väzieb uhlík – uhlík. To znamená, že motory poháňané DME, by nevyžadovali dodatočnú úpravu výfukových plynov v podobe filtra pevných častíc. [15]

## JP – 8

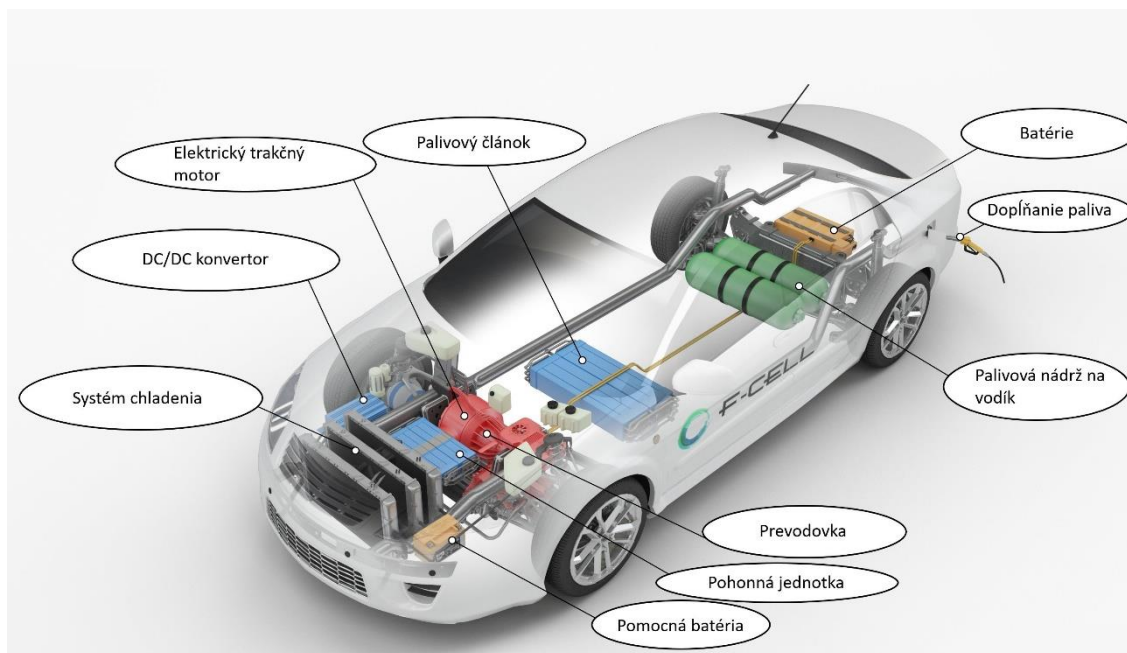
Štáty Severoatlantickej aliancie (NATO) zaviedli po 2.svetovej vojne nariadenie, ktoré zjednotilo všetky ropné palivá používané vo vojenskom priemysle do jedného paliva nazývaného ako koncept jedného paliva (SFC). Účelom SFC bolo zjednodušiť logistiku a distribúciu. Posun smerom k používaniu jedného vojenského paliva na bojisku sa začal v roku 1970, keď mnohé vzdušné sily NATO súhlasili s nahradením predtým používaného paliva, ktoré je známe ako F – 40 (JP – 4), bezpečnejším a menej horľavým palivom známym ako F – 34 (JP – 8 ). Tento posun vyústil aj do mnohých štúdií o účinkoch JP – 8 vo vznetrových motoroch. [15]

JP – 8 je komerčné palivo petrolejového typu, ktoré sa používa pre prúdové motory. Toto palivo sa vyrába v procese rafinácie ropy. Cena paliva je menšia ako u bežne používanej motorovej nafty, pretože nevyžaduje žiadne ďalšie procesy potrebné na zvýšenie cetánového čísla. Nižšia hustota JP – 8 by mohla mať za následok nižší maximálny výkon motora a ovplyvniť tak aj spotrebu paliva. Toto palivo má nižšiu destilačnú teplotu, čo znamená lepšie charakteristiky odparovania. Cetánové číslo paliva JP – 8 sa pohybuje v hodnotách od 39 do 45, čo je vo všeobecnosti nižšie ako u motorovej nafty. Oneskorenie vznietenia tohto paliva s cetánovým číslom 39 merané v nádobe s konštantným objemom bolo o 25 % až 50 % vyššie v porovnaní s motorovou naftou, ktoré mala cetánové číslo 46. Ak však je cetánové číslo väčšie, a dosahuje približne hodnotu cetánového čísla motorovej nafty, tak oneskorenie je minimálne. Množstvo produkovaných emisií  $\text{NO}_x$  sa líši v závislosti od prevádzkových podmienok motora. Pri použití paliva JP – 8 sa emituje menšie množstvo emisií  $\text{NO}_x$  v porovnaní s motorovou naftou v dôsledku nižšieho obsahu aromatických látok a nižšej teploty plameňa. Ak sa však zaťaženie motora zvýšilo na stredný rozsah zaťaženia, tak pri použití paliva JP – 8 sa emitovalo vyššie množstvo emisií  $\text{NO}_x$  ako u motorovej nafty. Dymivosť bola taktiež nižšia pri použití paliva JP – 8. [15]

## 3.2 VODÍKOVÝ POHON S VYUŽITÍM VODÍKOVÝCH ČLÁNKOV

Elektrické vozidlá s palivovými článkami (FCEV) patria medzi elektrifikované vozidlá, ktoré majú hnacie ústrojenstvo podobné ako BEV (batériové elektrické vozidlá), s tým rozdielom, že zdrojom energie je palivový článok. Elektrická energia poháňajúca vozidlo sa získava z chemickej reakcie medzi vodíkom z tlakových nádrží a kyslíkom z okolitého

vzduchu. FCEV sa považuje za vozidlo s nulovými emisiami, pretože jediným výfukovým plynom je vo svojej podstate voda a vodná para. [31]

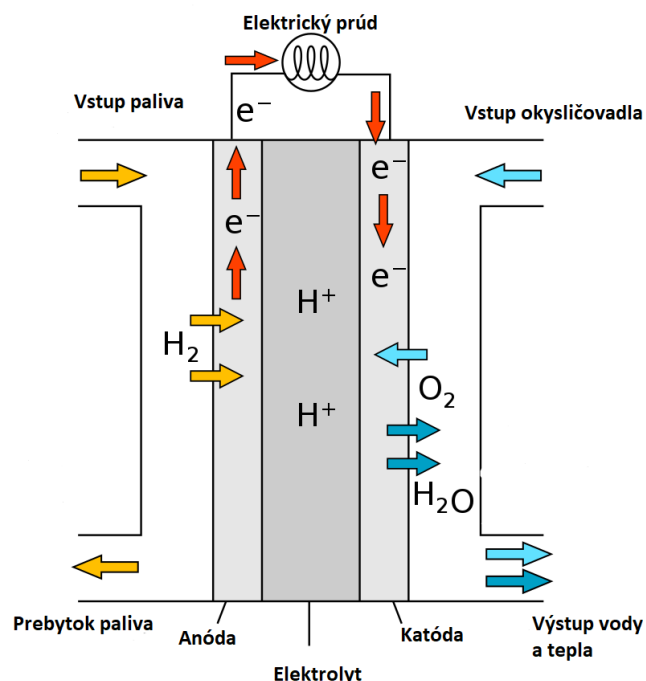


Obr. 12 Komponenty FCEV automobilu [32]

Na obrázku 12 môžeme vidieť komponenty elektrického vozidla s palivovým článkom. Ako úložisko plyného vodíka na palube vozidla je nádrž na vodík, ktorá ho ukladá do doby než ho palivový článok nepotrebuje. Vo vozidle sú ďalej prítomné vysokonapäťové batérie slúžiace na rekuperáciu energie generovanej brzdením, a poskytujú tak doplnkovú energiu elektrickému trakčnému motoru. Ďalej je prítomný palivový článok, ktorý premieňa chemickú energiu na elektrickú. Elektrický trakčný motor prostredníctvom energie z palivového článku a trakčnej batérie poháňa kolesá vozidla. Medzi motorom a kolesami je vložená ešte prevodovka slúžiaca k prenosu krútiaceho momentu. Vo vozidle je taktiež prítomný DC/DC konvertor premieňajúci vysokonapäťový jednosmerný prúd z trakčnej batérie na jednosmerný prúd s nižším napätím, potrebný pre prevádzku príslušenstva vozidla a dobíjanie pomocnej batérie slúžiacej na naštartovanie vozidla. Potrebný je takisto systém chladenia, ktorý udržiava správny rozsah prevádzkových teplôt palivového článku, elektromotora, výkonovej elektroniky a ďalších komponentov. [32]

Palivový článok je elektrochemické zariadenie, ktoré vďaka oxidačno-redukčnej reakcii mení chemickú energiu paliva na energiu elektrickú, prípadne vodu, teplo alebo vodnú paru. V automobilovom priemysle patrí medzi najčastejšie používaný palivový článok PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells). Tento typ palivového článku využíva ako elektrolyt pevnú polymerickú membránu v tvare tenkého filmu z plastu. Polymér sa napúšťa vodou, a to z dôvodu aby zabráňoval priechodu elektrónov, ale zároveň je nutné aby bol priepustný pre protóny. Keďže sa využíva v automobilovom priemysle tak palivom je vodík a ako nosič napätia je vodíkový ión. Na anóde je molekula vodíku rozštiepená na elektróny a vodíkové ióny, ktoré prechádzajú elektrolytom ku katóde, zatiaľ čo elektróny putujú vonkajším elektrickým obvodom a vytvárajú tak elektrickú energiu. Vo forme okolitého vzduchu prúdi kyslík na katódu, kde reaguje s iónmi vodíka a elektrónmi, čím vzniká voda. Výhoda tohto palivového článku v porovnaní s inými je tá, že generuje väčšie množstvo energie v závislosti na ich objeme a hmotnosti, čo robí z PEMFC ľahké a kompaktné zariadenie. Tento

palivový článok pracuje do teploty 100 °C, čo umožňuje jednoduché zapracovanie do prevádzky, a takisto sú schopné vďaka nízkej pracovnej teplote rýchlo meniť energetický výkon. Ďalšou výhodou je pevný charakter elektrolytu. Tento typ elektrolytu je menej citlivý na koróziu, čo dodáva tomuto palivovému článku dlhú životnosť. Medzi nevýhody môžeme zaradiť najmä to, že sa používajú drahé platinové katalyzátory a ďalej je takisto potrebná častá kontrola vlhkosti elektród, keďže sa používa elektrolyt nasýtený vodou. [34]



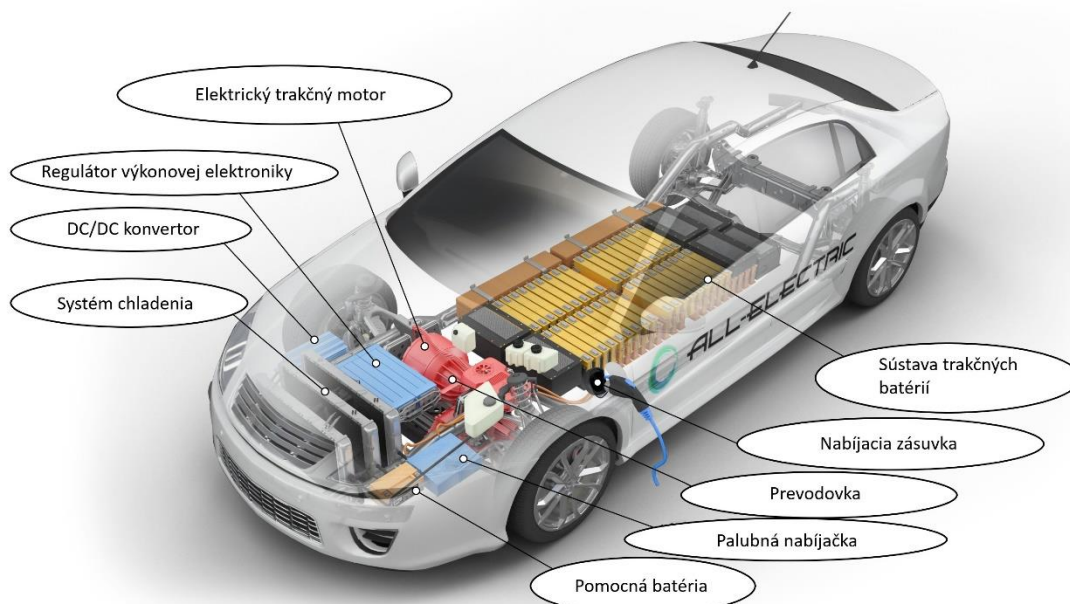
Obr. 13 Schéma fungovania PEMFC [33]

V automobilovom priemysle prišlo k istým úpravám hnacej sústavy FCEV, čím vznikla nová konfigurácia vozidla FCHEV (Hybridné elektrické vozidlo s palivovým článkom). Toto vozidlo obsahuje systém skladovania energie (ESS), slúžiaci na podporu palivového článku. V závislosti od spotreby energie a napájania je možné ako ESS použiť batériu alebo ultra kondenzátor, ktorý je možné nabíjať alebo vybíjať. [31]

### 3.3 BATÉRIOVÝ ELEKTRICKÝ POHON

Elektromobily využívajú vo všeobecnosti na pohon vozidla miesto spaľovacieho motoru batérie, čiže elektrický pohon. Batériové elektrické vozidlá (BEV) sú klasifikované ako čisto elektrické automobily využívajúce ako primárny zdroj energie batériu umiestnenú vo vozidle, ktorá získava svoju energiu zo siete, čo znamená, že sa musí dobíjať. Nabíjací systém môže byť umiestnený na palube vozidla alebo mimo nej. Výhodou elektromobilu je, že straty pri transformácii elektrickej energie na mechanickú sú pomerne nízke. Nevýhodou je, že elektrické vozidlá majú krátku vzdialenosť dojazdu, čo ich predurčuje najmä pre jazdu v meste, ktoré má taktiež vybudovanú lepšiu infraštruktúru dobíjajúcich staníc v porovnaní so situáciou mimo mestských oblastí. Trakčné motory s vysokým krútiacim momentom dokážu zvýšiť zrýchlenie automobilu, ale na druhú stranu je znížená účinnosť, pretože trakčné motory s vysokým krútiacim momentom majú veľký tok prúdu vo vinutí kotvy, čo vedie k tepelným stratám v motore. Vo vozidle môže byť prítomná aj prevodovka, ktorej funkcia je, aby sa zvýšil dojazd

a maximálna rýchlosť vozidla. Pridaním prevodovky sa však na druhú stranu znižuje účinnosť vozidla. [31]



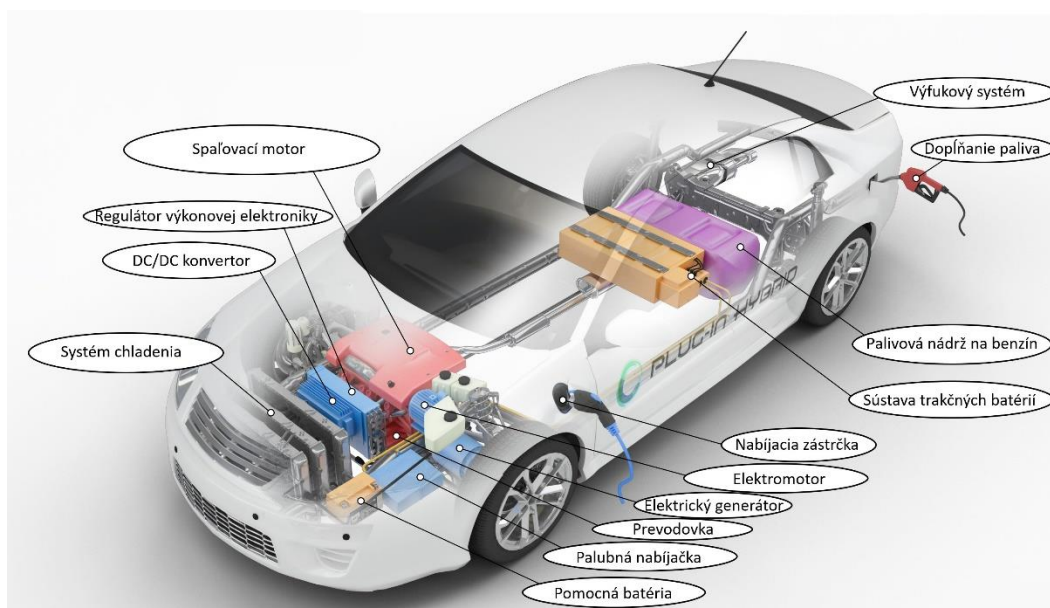
Obr. 14 Komponenty plne elektrického vozidla [35]

Vo vozidle je okrem trakčnej batérie prítomná aj pomocná batéria poskytujúca elektrickú energiu pre napájanie príslušenstva vo vozidle. Pred pomocnou batériou musí byť umiestnený DC/DC menič konvertujúci vysokonapäťový jednosmerný prúd z trakčnej batérie na jednosmerný prúd s nižším napätím, ktorý je potrebný na prevádzku príslušenstva vo vozidle a na dobíjanie pomocnej batérie. Nutný je samozrejme aj nabíjací port umožňujúci pripojiť vozidlo k externému zdroju napájania za účelom nabitia trakčnej batérie. Vo vozidle je ďalej prítomná palubná nabíjačka preberajúca prichádzajúci striedavý prúd dodávaný cez nabíjací port a premieňa ju následne na jednosmerný prúd, ktorý sa použije na nabíjanie trakčnej batérie. Taktiež komunikuje s nabíjacím zariadením a počas nabíjania batérie monitoruje základné charakteristiky batérie ako je napätie, prúd, teplota a stav nabitia. Ďalej súprava trakčných batérií uchováva elektrickú energiu, ktorá je ďalej využitá v elektrickom trakčnom motore, ktorý pomocou tejto energie z batérií poháňa kolesá vozidla. Niektoré vozidlá využívajú aj motor-generátor, ktorý plní funkciu pohonu aj regenerácie. Regulátor výkonovej elektroniky riadi tok elektrickej energie, ktorá je dodávaná trakčnou batériou. Môžeme ním riadiť aj krútiaci moment vytvárajúci elektrický trakčný motor. Dôležitý je taktiež systém chladenia udržiavajúci správny rozsah prevádzkových teplôt elektrického trakčného motora, výkonovej elektroniky a ostatných komponentov. [35]

### 3.4 HYBRIDNÝ POHON

Hybridné vozidlá sú vo všeobecnosti navrhnuté tak, že využívajú elektromotor ale aj spaľovací motor. Batéria, ktorá sa využíva v hybridných vozidlách je vo väčšine prípadov omnoho menšia ako v čisto elektrických vozidlách. Hybridy s možnosťou pripojenia do siete využívajú kombináciu elektrickej energie, regeneračnej energie z brzdenia a energie zo spaľovacieho motora, prípadne palivového článku, čo je taktiež veľkou výhodou. [31]





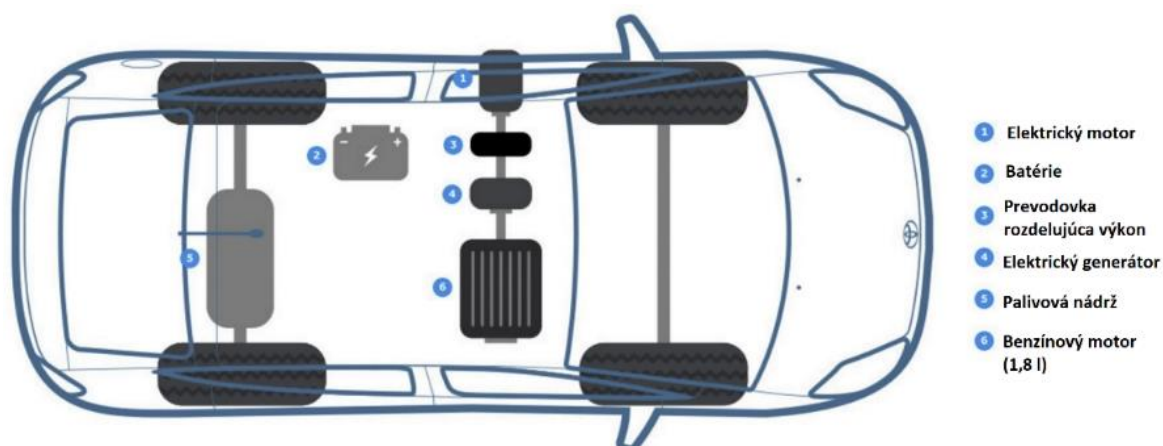
Obr. 15 Komponenty PHEV [31]

Hybridy rozdeľujeme podľa viacerých kritérií. Plug-in hybrid (PHEV) má vo väčšine prípadov zážihový motor a elektromotor, ktorý je napájaný z internej batérie. Medzi najväčšie výhody PHEV patrí, že je možné jazdiť na čisto elektrickú energiu väčšie vzdialenosti v porovnaní s inými typmi hybridných vozidiel, čo má za následok zníženie emisií počas jazdy. Batéria využívaná v PHEV má väčšiu kapacitu ako batérie v iných typoch hybridov, a preto je nutné ju dobíjať z externého zdroja. Po vybití batérie sa o pohon stará spaľovací motor. [31]

Podľa stupňa elektrifikácie poznáme full hybrid, ktorý funguje na rovnakom princípe ako PHEV, čo znamená, že využíva spaľovací motor, elektromotor, prípadne ich kombinuje. Rozdiel oproti plug-in hybridnému vozidlu je ten, že batériu nie je možné nabíjať z externého zdroja, teda domácej siete či nabíjačky. Batéria sa tak nabíja prostredníctvom rekuperačného systému a generátora elektrickej energie. Mild hybrid má pohon využívajúci za každých okolností spaľovací motor, elektromotor ho podporuje len v momentoch rozbiehania alebo zrýchľovania. Existuje aj micro hybrid, ktorý má na rozdiel od mild hybridu napájanie len 12 V (mild hybrid má napájanie 48 V). V súčasnej dobe sa mild hybrid a micro hybrid často vyradujú z kategórie hybridov. [44]

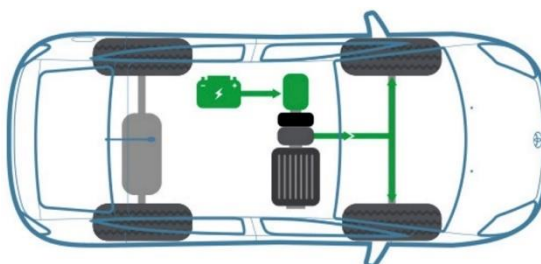
Podľa toku výkonu, usporiadania a prepojenia jednotlivých zdrojov energie v hnacom ústrojenstve poznáme sériový hybrid využívajúci na pohon kolies výlučne elektromotor čerpajúci energiu z batérie. Spaľovací motor ma len tú funkciu, že poháňa generátor striedavého prúdu, ktorý sa musí premeniť na prúd jednosmerný pomocou konvertora. Na druhej strane existuje hybrid paralelný, u ktorého sa na pohone kolies môže podieľať aj spaľovací motor. Elektromotor a generátor sú súčasťou rovnakej jednotky. Paralelný hybrid môže využívať elektromotor, ale aj obidva pohony súčasne. [44]

Na nasledujúcich obrázkoch je možné vidieť schému fungovania všeobecného hybridného vozidla.



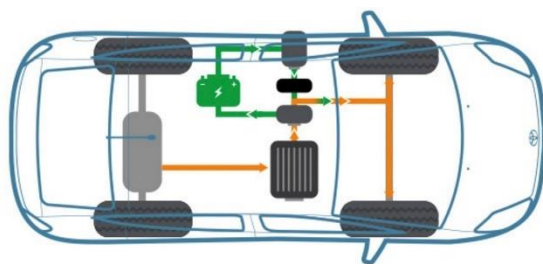
Obr. 16 Schematické znázornenie komponentov hybridného vozidla [31]

Do nízkych rýchlostí a pri rozbiehaní vozidlo využíva čisto elektrický motor, ktorý čerpá energiu z batérií, ako je to znázornené na obrázku 17. [31]



Obr. 17 Schematické znázornenie fungovania hybridného vozidla pri rozbiehaní a nízkych rýchlostiach [31]

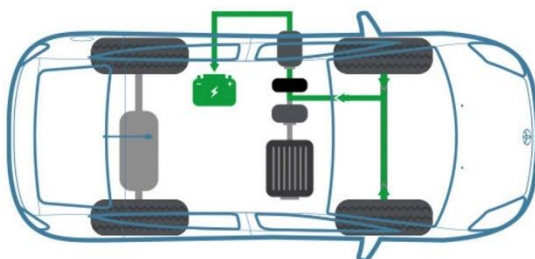
Z dôvodu efektívnosti sa spaľovací motor využíva až pri normálnej ustálenej jazde. Možnosťou takisto je, že motor počas jazdy poháňa generátor produkujúci elektrinu, ktorá môže byť následne uložená v batérii na neskoršie použitie. [31]



Obr. 18 Schematické znázornenie fungovania hybridného vozidla pri prudkej akcelerácii [31]

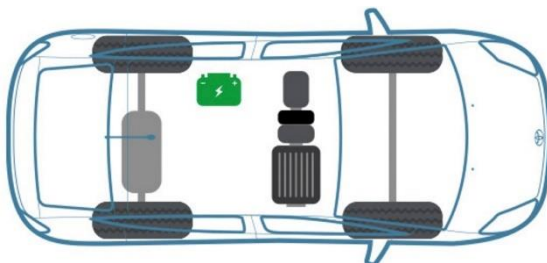
Počas prudkej akcelerácie pracujú spaľovací motor aj elektromotor súčasne takým spôsobom, aby sa maximalizoval výkon. Spaľovací motor taktiež poháňa generátor, zatiaľ čo elektromotor využíva energiu z batérie a generátora podľa potreby (viď obrázok 18). [31]

Pri brzdení, ako je možné vidieť na obrázku 19, sa používa systém nazývaný ako regeneratívne brzdenie. Pri brzdení a stále sa otáčajúcich kolesách je možné poháňať generátor vozidla, ktorý tak vyrába energiu a následne ju ukladá do batérie na neskoršie možné využitie. [31]



Obr. 19 Schematické znázornenie fungovania hybridného vozidla pri brzdení [31]

Pri zastavení sa spaľovací motor aj elektromotor vypnú, čím sa auto prepne na čisto batériové napájanie (pracuje len pomocná batéria vo vozidle, nie batéria slúžiaca na pohon vozidla počas jazdy), tak aby fungovalo všetko potrebné príslušenstvo ako je rádio, klimatizácia, svetlá, atď. [31]

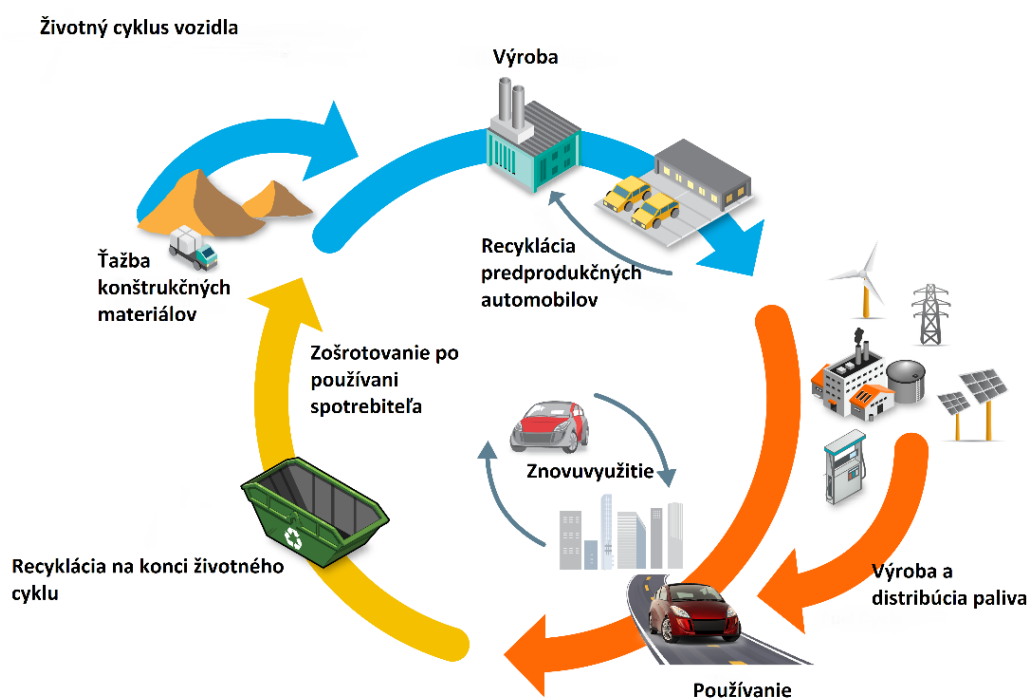


Obr. 20 Schematické znázornenie fungovania hybridného vozidla pri zastavení [31]



## 4 POROVNANIE EMISÍ OSOBNÝCH VOZIDIEL Z HĽADISKA ICH ŽIVOTNÉHO CYKLU

Metóda LCA (Life Cycle Assessment – analýza životného cyklu) sa vykonáva na základe medzinárodných noriem ISO a má pevne danú štruktúru. Pomocou tejto metódy sa zhromažďujú a vyhodnocujú vstupy, výstupy a možné dopady na životné prostredie počas celého životného cyklu sledovaného produktu. Na začiatku je nutné si definovať ciele a rozsah. To znamená, aká veľká časť životného cyklu daného produktu bude do hodnotenia zahrnutá, a na čo nám vlastne toto hodnotenie bude slúžiť. Ďalej je nutné popísať materiálové a energetické toky v rámci daného produktu alebo systému. To zahŕňa interakciu s okolím, emisie emitované do prostredia a spotrebované suroviny. Ďalej je nutné vyhodnotiť vplyv a vytvoriť tak tabuľkový súhrn všetkých vplyvov, ich významnosť, a možný dopad na životné prostredie. LCA vykonáva analýzu na základe WTW (Well To Wheels - od zdroja ku kolám), zahŕňajúca podskupiny známe ako WTT (Well To Tank – od zdroja do nádrže), ktorá posudzuje energetickú náročnosť a produkciu emisií skleníkových plynov pri výrobe paliva (zahrňuje ťažbu surovín, dopravu do rafinérie, výrobu paliva a distribúciu na čerpacie stanice) a TTW (Tank To Wheels - od nádrže ku kolám), ktorá posudzuje energetickú náročnosť a produkciu emisií skleníkových plynov pri spaľovaní paliva v samotnom automobile. LCA okrem fázy súvisiacich s palivom berie do úvahy aj fázu výroby, údržby a konca životnosti samotného automobilu, čím sa tak rozširujú hranice pozorovania a posudzovania emisií daných vozidiel. [19]



Obr. 21 Schéma metodiky LCA [19]

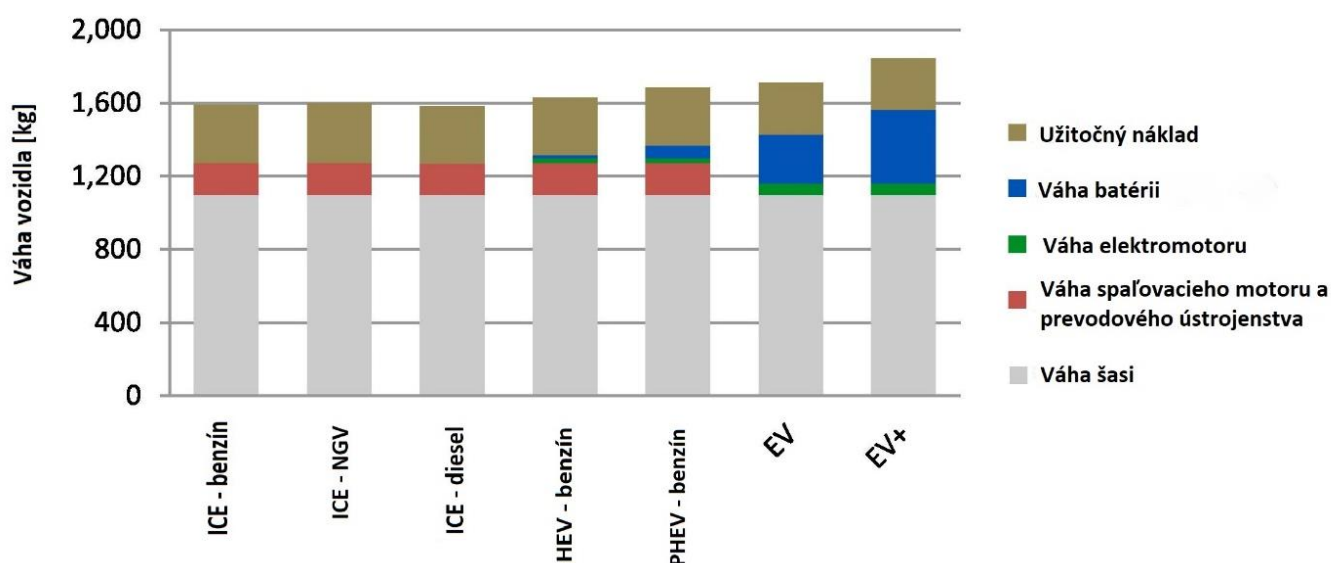
### 4.1 HODNOTENIE ŽIVOTNÉHO CYKLU OSOBNÝCH AUTOMOBILOV POHÁŇANÝMI KVAPALNÝMI A PLYNNÝMI PALIVAMI, A ICH POROVNANIE S HYBRIDNÝMI A ELEKTRICKÝMI VOZIDLAMI

Prvou fázou je vykonanie systematického hodnotenia spotreby energie vozidla zo segmentu C, ktorý je definovaný ako automobil strednej triedy. Každé vozidlo bolo

klasifikované podľa charakteristík jeho pohonnej jednotky, pričom bol zohľadnený aj rôzny pomer elektrifikácie. To znamená, že boli zahrnuté automobily so spaľovacím motorom, cez hybridné vozidlá až po plne elektrické. Každá hnacia sústava daného automobilu bola modelovaná na základe moderných trendov a takisto na predpovedané zlepšenia do roku 2030. Bolo zohľadnené možné zlepšenie v oblasti aerodynamiky, trenia pneumatík, odľahčenie karosérie, či podvozku a niekoľko ďalších možných zlepšení. Tieto modely automobilov teda umožnili vyhodnotiť súčasnú a budúcu spotrebu energie, a taktiež vyhodnotiť množstvo emisií CO<sub>2</sub> pomocou metodiky LCA. [21]

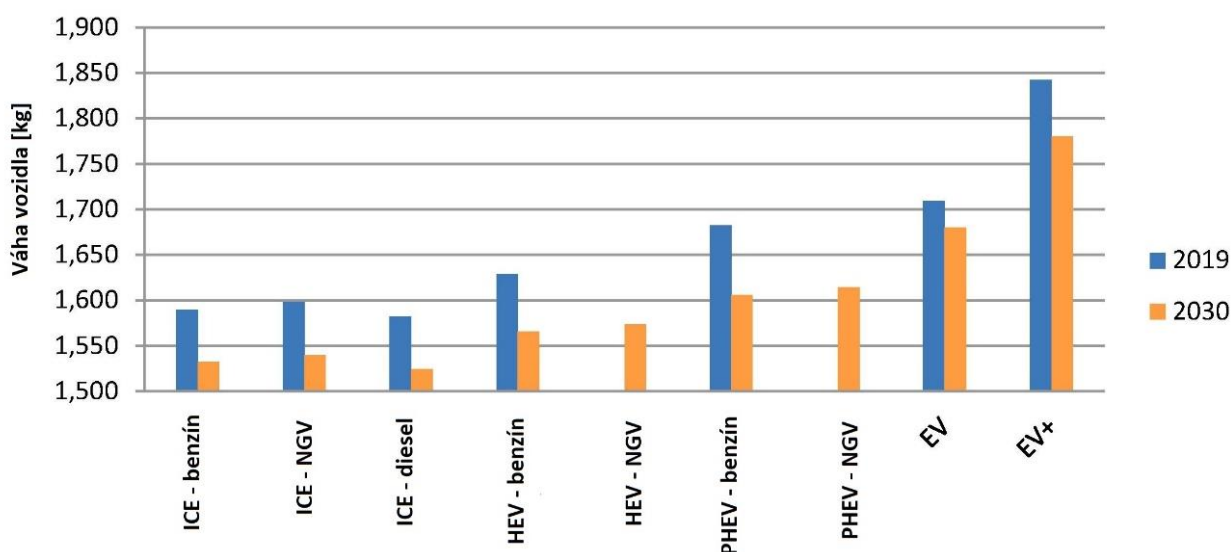
#### 4.1.1 STANOVENIE HMOTNOSTI

Zo všetkých vstupných parametrov potrebných pre simuláciu vozidiel je prvoradá najmä hmotnosť. V závislosti na architektúre vozidla sa mení hmotnosť hnacej sústavy každého vozidla. Pre segment C bola definovaná jednotná, tzv. škrupinová hmotnosť (hmotnosť komponentov, ktoré nie sú špecifické pre hnacie ústrojenstvo), ku ktorej boli prítčítané hmotnosti komponentov prítomne vo vozidle podľa jeho konštrukcie pohonnej jednotky. Elektrické vozidlá boli zastúpené v dvoch prevedeniach. Jednalo sa konkrétne o kategóriu EV (štandardná kapacita batérie) a EV+ (väčšia kapacita batérie). Batérie sú hlavnou zložkou hmotnosti elektrických vozidiel. Hustota celého balíka vrátane chladienia batérie a štruktúry batérie sa v súčasnosti odhaduje na 150 Wh/kg a predpokladá sa, že do roku 2030 vzrastie na 200 Wh/kg. Pre vozidlá, ktoré boli poháňané plynými palivami (NGV a bioNGV) bola hmotnosť plynových nádrží definovaná na základe najnovších noriem. Nádrže obsahujú plyn s tlakom 200 barov a sú vyrobené z ocele. Z tohto dôvodu sú tieto nádrže ťažšie oproti plastovým nádržiam na kvapalné palivo. Odhaduje sa zväčšenie hmotnosti o približne 30 až 40 kilogramov. V budúcnosti sa predpokladá inovácia v materiáloch nádrží pre vozidlá NGV. Uvažuje sa o použití kompozitných uhlíkových vlákien, pri ktorých sa očakáva zníženie prebytku hmotnosti o približne 50 %. Na obrázku 22 môžeme vidieť výpis vozidiel zo segmentu C a ich hmotnosť. Užitočné zaťaženie sa určuje podľa európskeho skúšobného protokolu WLTP. [21]



Obr. 22 Rozdelenie hmotnosti vozidla segmentu C z roku 2019 [21]

Do roku 2030 sa predpokladá redukcia hmotnosti o približne 4 %. V prípade elektrických vozidiel je uvažovaná redukcia hmotnosti o 3 % na základe 50 % zvýšenej kapacity batérie. Z dôvodu neustálej iniciatívy výrobcov zvyšovať dojazd je nutné zvyšovať kapacitu batérie, a preto sa predpokladá zníženie hmotnosti len o 3 %, inak by sa predpokladalo redukcia hmotnosti až o 8 %. Okrem redukcie hmotnosti jednotlivých komponentov sa predpokladá zníženie aerodynamického odporu o 10 % a zníženie valivého odporu približne o 20 %. Rovnako sa predpokladá zvýšenie účinnosti motoru a elektrického pohonu. Tieto predpoklady zlepšenia boli zistené v štúdiách Argonne [36] a Bauer [37], a ďalej boli overené Francúzskou agentúrou pre riadenie životného prostredia a energie (ADEME). [21]



Obr. 23 Hmotnosť vozidiel segmentu C z roku 2019 v porovnaní s hmotnosťou vozidiel s predpokladanou redukciou hmotnosti do roku 2030 [21]

#### 4.1.2 POSÚDENIE ŽIVOTNÉHO CYKLU

Posúdenie životného cyklu podľa LCA sa vykonáva v súlade s normami ISO 2006a, prípadne ISO 2006b, použitím určitého softwaru. Bežne využívaným softvérom je napríklad SimaPro (od firmy Siemens). Na začiatku hodnotenie bolo predpokladané, že výrobcovia sú voči životnému prostrediu za svoj odpad zodpovedný, čo znamená, že nedostávajú žiadne výhody za recykláciu. Táto požiadavka umožňuje nezávisle modelovať konečný scenár životnosti automobilu. Posúdenie životného cyklu metodikou LCA bolo prevedené pre rok 2019 a takisto pre rok 2030, kde uvažujeme určité aktualizácie v automobilovom priemysle, tak ako bolo spomenuté vyššie. Skúmal sa jeden cyklus (na základe WLTP). Hodnoty LHV a množstva CO<sub>2</sub> emitovaného spaľovaním benzínu alebo nafty sú od JRC (Európska komisia JRC, [38]). Hodnoty CO<sub>2</sub> vznikajúceho pri spaľovaní u NGV sú od Francúzskej agentúry pre životné prostredie a energiu (ADEME). Pri biopalivách bolo postupované podľa špecifikácií smernice o obnoviteľnej energii RED II (smernica EÚ 2018/2001). [21]

V štúdiu sa jednalo o vozidlá vyrábané a používané vo Francúzsku. V tabuľke 3 sú zhrnuté vlastnosti týchto vozidiel. [21]

Tab. 3 Technické špecifikácie pohonných jednotiek [21]

| Typ                                 | ICE - benzín | ICE - diesel | HEV - benzín | PHEV - benzín | EV     | EV+    |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------|--------|
| Maximálny výkon ICE                 | 96 kW        | 8 kW         | 72 kW        | 72 kW         | -      | -      |
| Maximálny výkon elektrického motora | -            | -            | 70 kW        | 70 kW         | 80 kW  | 80 kW  |
| Maximálny výkon generátoru          | -            | -            | -            | 30 kW         | 30 kW  | -      |
| Kapacita batérie                    |              |              |              |               |        |        |
| 2019                                | -            | -            | 2 kWh        | 10 kWh        | 40 kWh | 60 kWh |
| 2030                                | -            | -            | 2 kWh        | 10 kWh        | 60 kWh | 80 kWh |

Čo sa týka karosérií vozidiel tak sa predpokladá, že v roku 2030 bude 30 % ocele vo vozidle nahradená hliníkom, ktorý váži menej, a tým sa tak zredukuje hmotnosť. Špecifikácie vozidiel boli zostavené z údajov výrobcov a podľa odborníkov IFPEN. Životnosť vozidiel sa predpokladala na 10 rokov pri prejdených 15 000 kilometrov za rok, teda 150 000 kilometrov počas celého životného cyklu. [21]

#### KVAPALNÉ FOSÍLNE PALIVÁ

Medzi najčastejšie a bežne využívané palivá sa dnes považujú najmä benzín a motorová nafta. Emisie vznikajúce pri spaľovaní benzínu alebo motorovej nafty majú negatívny dopad na ľudské zdravie a životné prostredie. Je však nutné sa na problematiku pozrieť zo širšej perspektívy a neuvažovať len emisie vzniknuté pri spaľovaní paliva, ale treba brať do úvahy aj emisie, ktoré vzniknú počas celého životného cyklu automobilu využívajúceho motorovú naftu alebo benzín, a následne porovnať s inými alternatívami a vyvodiť tak závery o tom, čo je ekologickejšie.

Tab. 4 Podiel emisií skleníkových plynov v jednotlivých fázach životného cyklu fosílnych palív [20]

|               | Ťažba ropy | Doprava ropy | Výroba paliva | Distribúcia paliva | Čerpanie paliva | Použitie paliva |
|---------------|------------|--------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|               | %          |              |               |                    |                 |                 |
| <b>Benzín</b> | 1,3        | 2,3          | 6,3           | 0,3                | 0,8             | 89,0            |
| <b>Nafta</b>  | 0,7        | 1,3          | 6,5           | 0,3                | 0,8             | 90,4            |

Benzín a motorová nafta boli modelované za pomoci údajov z databázy Ecoinvent. Jednalo sa o údaje o emisiách CO<sub>2</sub> od ťažby ropy, dopravu do rafinérií, cez výrobu, až po distribúciu na čerpacie stanice a následne samotné čerpanie paliva. Pre benzín bola hodnota 17,5 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ a pre motorovú naftu 12,2 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ. Emisie spojené so samotným spaľovaním benzínu a motorovej nafty boli založené na hodnotách JRC (Joint Research Centre of the European Commission, EUCAR and CONCAWE). Pre benzín to bola hodnota 73,4 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ a pre motorovú naftu sa jednalo o hodnotu 73,2 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ. [21]

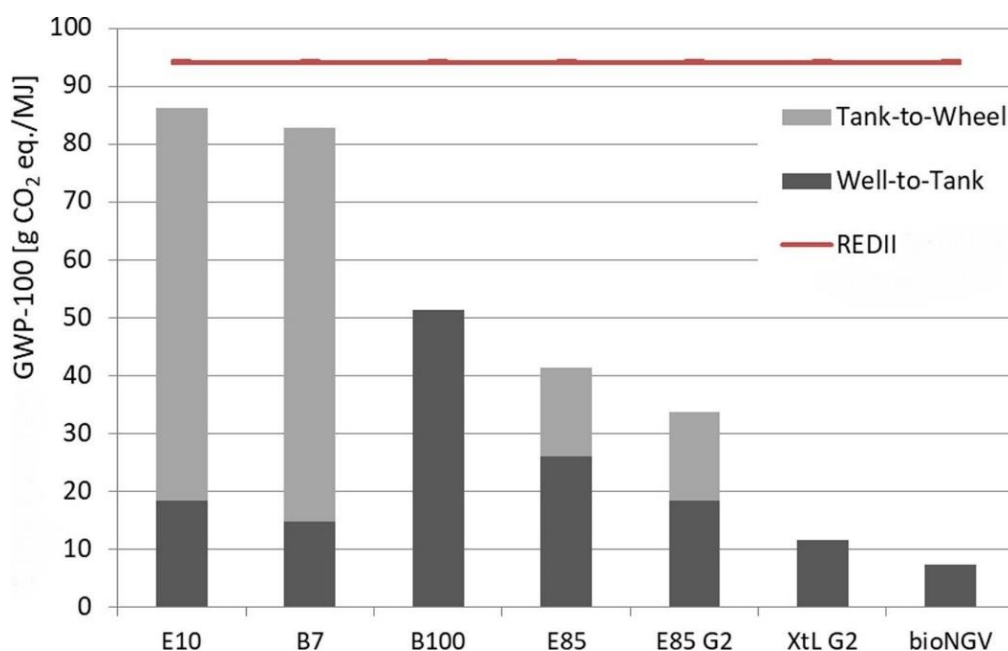
#### KVAPALNÉ BIOPALIVÁ

Jeden z hlavných dôvodov využitia biopalív sú ekologické výhody. V porovnaní s bežne využívanými pohonnými hmotami sa uvoľní menšie množstvo anorganických a organických škodlivín prítomných vo výfukových plynoch, ale taktiež sa vyprodukuje aj výrazne menšie množstvo skleníkových plynov. Ekologickú výhodnosť využitia biopalív nie je možné vyhodnotiť len finálnou produkciou škodlivín vznikajúcich pri spaľovaní samotného biopaliva, ale potrebné je zohľadniť celý životný cyklus.

Ako biopalivá boli uvažované bionafta na báze nenasýtených mastných kyselín rastlinného pôvodu (FAME), bionafta s hydrogenačne rafinovaným rastlinným olejom (HVO) a benzín s určitým obsahom etanolu. Emisie skleníkových plynov boli prebrané zo smernice z roku 2018 od Európskeho parlamentu (smernica RED II). Priemerná hodnota pre bionaftu vo Francúzsku bola 50,9 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ a pre etanol 44,2 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ. Pre toto štúdium boli použité bežne dostupné palivá na čerpacích staniaciach. Konkrétne sa jednalo o bezolovnaté palivo 98, palivo 95 – E10 obsahujúce 10 % etanolu, E85 obsahujúce až 85 % etanolu, ďalej sa jednalo o bionaftu B7, ktorá obsahuje 7 % bio-zložky v objeme, a B100 (100 % bionafta). Očakávali sa aj pokročilé biopalivá ako E85 G2 a syntetické palivá označované ako XtL G2. [21]

Tieto syntetické palivá sú vyrobené takzvanými XtL procesmi. Jedná sa o procesy premeny uhlia na kvapalinu (CTL), plynu na kvapalinu (GTL) a biomasu na kvapalinu (BTL). Písmeno X v skratke XtL teda značí variabilnú východziu zložku. Následne je využitá takzvaná Fischer – Tropsova syntéza, ktorá základnú surovinu získanú na základe XtL procesov premieňa na rôzne uhľovodíky. Hlavným účelom tejto syntézy je výroba umelej náhrady ropy. [48]

Na obrázku 24 je možné vidieť environmentálne dopady jednotlivých druhov kvapalných biopalív. Jedná sa o analýzu WTW skladajúcej sa z dvoch častí, WTT a TTW. [23]



Obr. 24 Produkcia emisií týkajúca sa kvapalných biopalív [21]

Index ekvivalent (ekv.) v jednotke g CO<sub>2</sub> ekv./MJ vyjadruje, že sa uvažuje nie len oxid uhličitý, ale aj ďalšie skleníkové plyny, ktorých príspevok k skleníkovému javu atmosféry sa prepočíta na jednotku CO<sub>2</sub>. Jedná sa teda o mieru potenciálneho príspevku daného plynu k skleníkovému javu. Jednotkou je príspevok k skleníkovému efektu jednej molekuly CO<sub>2</sub>. Prostredníctvom týchto koeficientov je možné určiť takzvaný ekvivalent CO<sub>2</sub>, čo je množstvo oxidu uhličitého, ktoré by malo ekvivalentný príspevok k skleníkovému javu atmosféry ako dané množstvo príslušného plynu.

## PLYN A BIOPLYN

Emisie súvisiace s výrobou a spaľovaním u vozidiel využívajúcich pre pohon zemný plyn (NGV) boli založené na emisných hodnotách databázy Ecoinvent a databázy ADEME. Obi dve tieto databázy majú rovnaký emisný faktor pre výrobu zemného plynu a to je 12,9 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ. [21]

Emisie GHG pre bioNGV boli založené na štandardných hodnotách emisií GHG RED II. Jednalo sa o 4 štandardné hodnoty pre bio-metán, pričom pri modelovaní bola uvažovaná horná hranica, a to konkrétne 22 g CO<sub>2</sub> ekv./MJ. [21]

## BATÉRIE

Pre pohon elektrického vozidla sa používa trakčná batéria, ktorá vo svojej podstate pri jazde elektromobilu produkuje nulové emisie. Na druhú stranu je však jedným z najväčších problémov, čo sa týka nástupu elektro-mobility. Trakčná batéria sa skladá z niekoľko batériových článkov, chladiaceho či vyhrievacieho systému, riadiacej elektroniky, nosnej štruktúry a plášťa. Ak zoberieme do úvahy celý životný cyklus batérie, tak sa jedná o súčasť elektromobilu, ktorá je zodpovedná za najväčšie množstvo emisií z celého hnacieho ústrojenstva BEV. Je nutné brať na vedomie ťažbu surovín, cez rafináciu materiálov, výrobu elektród, batériových článkov až po finálnu montáž trakčnej batérie, vrátane jeho chladiaceho systému, kontrolnej a riadiacej elektroniky, a taktiež samotného obalu. Je preto jasné, že

trakčná batéria je pomerne zložité zariadenie, ktoré obsahuje radu vzácnych prvkov ako je lítium, kobalt, prvky vzácnych zemín (neodym, samárium, atď.), nikel, mangán, meď, oceľ, hliník, ale aj plasty a niektoré ďalšie materiály. [20]



Obr. 25 Batéria elektromobilu [20]

V posledných rokoch bola publikovaná rada štúdií, ktoré hodnotia emisie skleníkových plynov batérií pre BEV. Pri hybridných automobiloch ako HEV a PHEV sa využívajú batérie s menšou veľkosťou a nižšou hustotou energie ako v BEV. Súčasným trendom je však najmä zvyšovanie kapacity batérie v snahe dosiahnutia čo najväčšieho dojazdu. Z pohľadu energie pre výrobu batérie, a z toho vyplývajúce emisie, sa BEV javí ako nie veľmi výhodný v porovnaní s inými elektrifikovanými vozidlami, ako je možné vidieť v tabuľke 5. [20]

Tab. 5 Energia potrebná pre výrobu batérií pre rôzne typy elektrifikovaných vozidiel [20]

| Druh elektrifikovaného vozidla | Obvyklá kapacita batérie [kWh] | Energia potrebná pre výrobu batérie [MJ] |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Mild-hybrid                    | 0,5                            | 150 až 250                               |
| Full-hybrid                    | 1,5                            | 450 až 750                               |
| Plug-in-hybrid                 | 10 až 15                       | 3 000 až 7 500                           |
| BEV                            | 30 až 100                      | 9 000 až 50 000                          |

V tabuľke 6 potom môžeme vidieť celkový prehľad emisií skleníkových plynov, ktoré sú súčtom všetkých výrobných operácií od ťažby potrebných materiálov, cez distribúciu, až po konštrukciu a montáž samotných trakčných batérií. Rôzne štúdiá z tabuľky 6 však uvádzajú aj emisie skleníkových plynov pre rôzne fázy výroby. Emisie skleníkových plynov sa pohybujú v rozmedzí od 0 do 107 kg CO<sub>2</sub> ekv./kWh batérie vo fáze výroby článkov, zatiaľ čo emisie vo výrobe materiálov a komponentov sa pohybujú v rozsahu od 37 do 143 kg CO<sub>2</sub> ekv./kWh batérie. [25]

Tab. 6 Prehľad emisií CO<sub>2</sub> a energie pri výrobe batérií pre BEV [25]

| Štúdia                                 | Katóda | Hmotnosť<br>[kg] | Celková<br>energia<br>[kWh] | Merná energia<br>[kWh/ kg<br>batérie] | Celkové emisie<br>skleníkových<br>plynov [kg<br>CO <sub>2</sub> ekv/kWh<br>batérie] |
|----------------------------------------|--------|------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Notter a kol.<br>(2010) [27]           | LMO    | 300              | 34,2                        | 0,114                                 | 53                                                                                  |
| Majeau-Bettez<br>a kol. (2011)<br>[28] | NCM    | -                | -                           | 0,112                                 | 196                                                                                 |
| Dunn a kol.<br>(2012) [29]             | LMO    | 210              | 28                          | 0,13                                  | 39                                                                                  |
| Ellingsen a kol.<br>(2014) [30]        | NCM    | 253              | 26,6                        | 0,11                                  | 172                                                                                 |

Je viditeľné, že výsledky rôznych štúdií (Notter [27], Majeau-Bettez [28], Dunn [29] a Ellingsen [30]), vykazujú určitú mieru nepresnosti. Závisí to najmä na fáze výroby, ktorej sa týkajú, a ďalej na technológii výroby, ktorú daná štúdia popisuje, ale tiež na tom, kde sa výroba uskutočňuje. Jednotiacim prvkom, podľa ktorého je možné posudzovať náročnosť jednotlivých štádií výroby je spotrebovaná energia (viď tabuľka 7). Emisie CO<sub>2</sub> sú ďalej závislé na energetickom mixe (z akého zdroja energia pochádza), ktorý teda je už u každej štúdie iný. Je taktiež nutné u použitej energie potrebnej k výrobe rozlišovať, či sa jedná o elektrickú energiu alebo teplo, pričom pomer elektriny a tepla sa takisto v rôznych štúdiách líši. Pre upresnenie napríklad štúdia Ellingsen udáva, že väčšina spotrebovanej energie je elektrina, Majeau-Bettez udáva 75 % elektriny, niektoré štúdie aj menej a to dokonca až do približne 40 %. Výsledky štúdií sú taktiež do značnej miery ovplyvnené uvažovanou hustotou energie v batérii. S väčšou hustotou energie vo všeobecnosti klesá energetická náročnosť výroby. Je zrejmé, že štúdie nie sú úplne zrovnateľné a prispieva k tomu aj fakt, že niektoré sa zabývajú len výrobou článkov (Majeau-Bettez, Ellingsen), na druhú stranu štúdia Dunn len výrobou elektród. Z hľadiska spotrebovanej energie je takisto dôležitý aj prístup samotných autorov štúdií. Takzvaný prístup zdola nahor (bottom-up) používa dáta spotreby energie z jednotlivých fáz výroby hotového výrobku. Pri metóde zhora nadol (top-down) sú dáta viac komplexné, pretože zahrňujú navyše aj spotrebu všetkých pomocných výrobných procesov. [20]



Tab. 7 Prehľad spotreby energie pri výrobe batérií pre BEV [20]

| Štúdia                           | Spotreba energie pre výrobu [MJ/kWh] | Prístup   |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| Notter a kol. (2010) [27]        | 3,1                                  | Bottom-up |
| Majeau-Bettez a kol. (2011) [28] | 371 až 473                           | Top-down  |
| Dunn a kol. (2012) [29]          | 10,7                                 | Bottom-up |
| Ellingsen a kol. (2014) [30]     | 586                                  | Top-down  |

Nepresnosti v štúdiách môžu ďalej prameniť aj z toho, že k dispozícii nie sú žiadne primárne údaje o emisiách a spotrebe energie, ktoré by boli zozbierané priamo z priemyslových prevádzok. Štúdie LCA často využívajú sekundárne zdroje ako sú napríklad hodnoty z rôznych literatúr, databáz, technických modelov, atď. Často tieto údaje sú upravené tak, aby sa čo najviac blížili skutočným prevádzkovým údajom. [20]

Z tabuľky 6 je ďalej možné vyčítať, že emisie CO<sub>2</sub> vznikajúce z batérií typu NCM, sú oveľa vyššie v porovnaní s batériami LMO. Je to najmä z dôvodu potreby vyššej energie počas fázy výroby článkov. [25]

V tejto štúdii, v ktorej porovnávame viac druhov automobilov, ako sú vozidlá s plynnými alebo kvapalnými palivami, spolu s hybridnými a elektrickými vozidlami, bol model batérie použitý na základe údajov, ktoré boli poskytnuté spoločnosťou ADEME na základe údajov od dvoch výrobcov batérií. Prvý typ batérie teda bola lítium – iónová batéria a ďalej to bola nikel – mangánová batéria. Emisie spojené s výrobou týchto dvoch batérií boli približne 102,7 kg CO<sub>2</sub> ekv./kWh v roku 2019 a pre rok 2030 sa predpokladajú určité zlepšenia, ktoré sa odzrkadlia znížením emisií CO<sub>2</sub>, a to konkrétne na 77,0 kg CO<sub>2</sub> ekv./kWh. Zlepšenia sa týkajú najmä rozdielov v technických špecifikáciách ako je napríklad hustota energie. Predpokladaná životnosť batérie v automobile bola 10 rokov. [21]

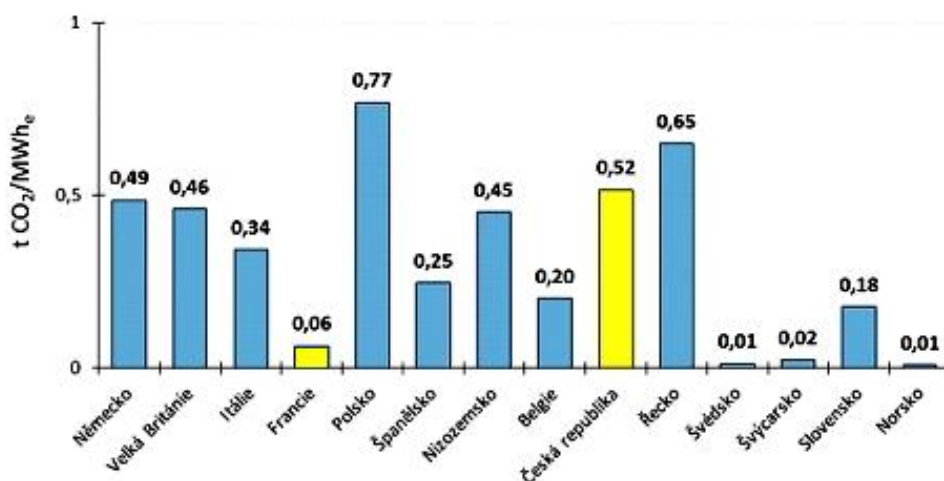
## ELEKTRINA

Emisie produkované pri výrobe elektriny vo Francúzsku boli modelované v súlade s hodnotami Ecoinvent z roku 2017. Pre Francúzsko bol priemerný emisný faktor 55,4 g CO<sub>2</sub> ekv./kWh pri použití metodiky GWP-100 (potenciál globálneho otepľovania počas sto ročného obdobia). Táto hodnota bola použitá pre modelovanie roku 2019. Pokiaľ ide o predikciu na rok 2030, tak sa zohľadnili ciele RED II (Európsky parlament a rada 2018/2001), ktoré sú o začlenení väčšieho percenta obnoviteľnej energie pri výrobe elektriny. [21]

Veľmi významným zdrojom emisií pri elektromobile je práve výroba elektriny slúžiaca na dobíjanie elektromobilu. IEA udáva pre jednotlivé zeme takzvaný emisný faktor, ktorý závisí na energetickom mixe. Emisný faktor udáva, koľko kg CO<sub>2</sub> vznikne na 1 kWh vyrobenej elektrickej energie. [20] Pod pojmom energetický mix je možné si predstaviť pomer, v akom sa k výrobe elektriny využívajú takzvané primárne a sekundárne zdroje. Ako primárne zdroje označujeme zdroje prírodné, ktoré ako ľudia nedokážeme vyrobiť. Primárne zdroje ďalej delíme na obnoviteľné (voda, vietor, slnko, biomasa, geotermálne zdroje) a neobnoviteľné

(jadrové palivo a fosílné palivá ako ropa, zemný plyn a uhlie). Ako sekundárne zdroje označujeme zdroje, ktoré vznikajú vďaka ľudskej činnosti. Medzi sekundárne zdroje patria komunálny odpad, oleje, skládkové plyny, odpadné teplo. [24] Množstvo emisií, ktoré je vyprodukované pri výrobe elektriny slúžiacej pre pohon elektromobilu je možné vypočítať z elektrickej energie potrebnej pre jazdu vozidla vynásobenej emisným faktorom, ktorý závisí na energetickom mixe krajiny. Pre porovnanie, emisný faktor v Českej republike je 0,52, v Nemecku 0,49 a vo Francúzsku len 0,06. Z pomedzi európskych krajín má najväčší emisný faktor Poľsko, a to konkrétne až 0,77. [20]

Priemerná spotreba elektromobilov (z batérie) je v rozmedzí 15 až 25 kWh/100 km. Konkrétna hodnota spotreby závisí na niekoľkých parametroch, ako je napríklad prevádzka elektromobilu, jeho veľkosti a na okolitej teplote. Pre porovnanie, 10 kWh odpovedá takmer presne energii v 1 litre nafty. Elektromobil však dokáže spracovať elektrickú energiu z batérie s účinnosťou takmer až dvakrát väčšou ako spaľovací motor. Záleží však na prevádzke samotného elektromobilu, možnosti rekuperácie a výkonu pri dobíjaní. [20]



Obr. 26 Emisný faktor rôznych krajín [20]



Obr. 27 Energetický mix Českej Republiky pre rok 2015 a 2020 [39]

Najväčší podiel na výrobe energie v Českej republike majú najmä fosílné zdroje. V roku 2015 dodávali 55 % elektrickej energie. V roku 2020 to je približne 52 % energie. Väčšina uholných elektrární však prešla modernizáciou z dôvodu, aby sa podarilo čo najviac zefektívniť využívanie zásob a zároveň sa snažiť o čo najmenší dopad na životné prostredie, čím tým pádom aj spôsobiť pozitívnu zmenu v energetickom mixe krajiny. Ďalším významným zdrojom sú jadrové elektrárne, ktoré v roku 2015 vyrábali viac ako 33 % elektriny. Jedná sa o zdroje so stabilným výkonom. Medzi ich výhody patrí najmä dlhodobá životnosť, malé výrobné náklady, spoľahlivá prevádzka a je tu možnosť vytvorenia si zásob paliva (približne na 2 roky). Ďalšou významnou výhodou je, že do ceny produkovanej elektrickej energie sa len veľmi málo prejavuje cena uránu, čo je veľká výhoda v porovnaní s inými fosílnymi palivami. Nevýhodou však sú vysoké počiatočné náklady. V roku 2020 sa podiel vyrobenej elektriny jadrovými elektrárnami zvýšil až na 41 %. Nemôžeme takisto zabudnúť ani na zemný plyn, ktorý sa využíva taktiež pre výrobu elektrickej energie. Nevýhodou však je, že väčšina sústav zásobovania teplom založených na zemnom plyne je závislá na dodávke bez možnosti nahradenia zemného plynu alternatívnym palivom. Veľké a výhodné využitie má zemný plyn najmä v kogeneračných jednotkách, ktoré dosahujú vysokých účinností. Čo sa týka obnoviteľných zdrojov, tak v Českej republike sa využívajú hlavne vodné, veterné a solárne elektrárne. Ďalej sa využívajú aj elektrárne spaľujúce biomasu a bioplyn, ktoré rovnako radíme medzi obnoviteľné zdroje. V roku 2015 sa obnoviteľné zdroje podieľali na 12 % vyrobenej elektriny, ale v roku 2020 už len približne 7 %. [40]



Obr. 28 Energetický mix Nemecka pre rok 2015 a 2020 [41]

Pre porovnanie, v Nemecku majú najväčší podiel na výrobe elektrickej energie uholné zdroje rovnako ako v Českej republike. V Nemecku sú prakticky nenahradiateľným zdrojom a ich dôležitosť rastie s postupným odstavovaním jadrových reaktorov. Rovnako však väčšina týchto uholných elektrární prešla modernizáciou. V Nemecku sa z obnoviteľných zdrojov najviac uplatňuje veterná energia, ktorá tvorila výrobu elektrickej energie v roku 2015 približne 13 %. V roku 2020 sa jednalo takmer o 27 %. Vodné elektrárne mali v roku 2015 zastúpenie len 3 %, a mierne sa zvýšil tento podiel (približne o 4 %) v roku 2020. Vďaka 10,4 % podielu na celkovom nemeckom energetickom mixe v roku 2020, je solárna energia piatym najdôležitejším zdrojom po zemnom plyne. Medzi ďalšie obnoviteľné zdroje radíme biomasu, ktorá sa podieľala na tvorbe energie približne 9,3 %. [40]



Obr. 29 Energetický mix Francúzska pre rok 2015 a 2020 [42]

Francúzska energetika je zameraná najmä na jadrové elektrárne. Jadrové zdroje sa v roku 2015 podieľali 73,3 % na výrobe elektrickej energie. Ďalším významným zdrojom sú vodné elektrárne, ktoré sa na výrobe elektrickej energie podieľali v roku 2015 približne 10 %. V roku 2020 to činí asi 12 %. Využívané sú aj veterné elektrárne (v roku 2015 približne 4 % a v roku 2020 to je približne 9 %). Veľmi malé zastúpenie má solárna energia a biomasa. [40]

Predpokladá sa, že podiel jadrovej energie vo francúzsku sa zníži zo 78,8 % v roku 2019 na 53,9 % do roku 2030, v súlade s cieľom dosiahnutia 40 % obnoviteľných zdrojov do roku 2030. S týmto cieľom dosiahnutia obnoviteľných zdrojov sa v krátkom horizonte do roku 2030 zvýšia emisie elektriny vo Francúzsku z pôvodných 55,4 g CO<sub>2</sub> ekv./kWh na 69,6 g CO<sub>2</sub> ekv./kWh. [21]

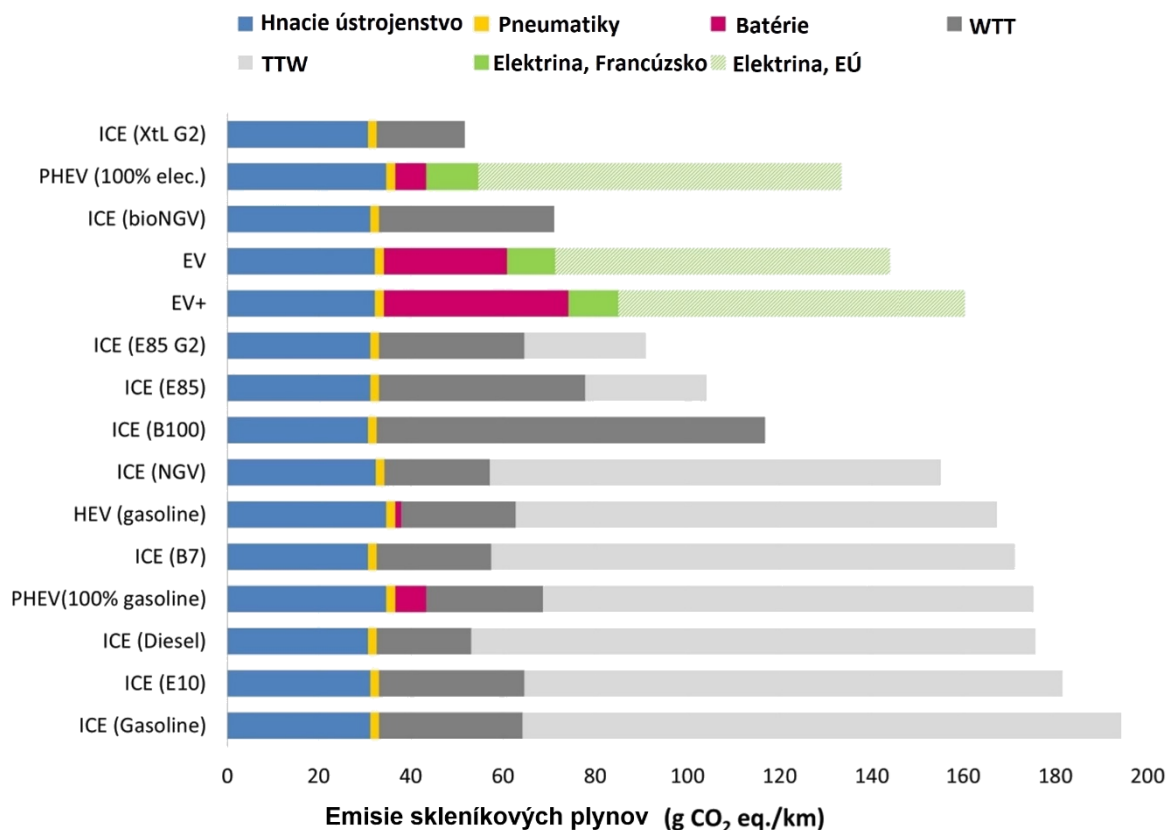
## KONIEC ŽIVOTNOSTI

Fáza konca životnosti bola simulovaná metodikou, ktorá produktu pripisuje určité výhody za potenciálne zahrnutý recyklovaný materiál. Koniec životnosti vozidiel vychádzal z údajov výrobcov a európskych smerníc. Koniec životnosti kolies a pneumatík bol modelovaný na základe údajov zo správy ADEME z roku 2017. [21]

Koniec životnosti a následná recyklácia batérií sa riadi európskou smernicou 2006/66/CE. Táto smernica zvažuje dve rôzne technológie recyklácie. Jedná sa o metódu pyrometalurgickú využívajúcu vysokých teplôt, pri ktorých sa batéria taví a následne sa tak separuje na jednotlivé kovy. Týmto spôsobom sa získava kobalt a nikel, prípadne aj meď, a všetko ostatné vrátane lítia končí v skládke. Táto metóda má tú nevýhodu, že je veľmi drahá a energeticky náročná. Druhou metódou je takzvaná hydrometalurgická metóda, ktorá je však zatiaľ len v stave prototypu a využíva rozpúšťanie kovov kyselinou a ich následné zrážanie z roztoku. V porovnaní s prvou metódou vyžaduje tento postup menšie množstvo energie, ale na druhú stranu má problémy s efektívnosťou, vysokou spotrebou chemikálií a následnými odpadmi. Ďalším pravidlom smernice je, že demontáž batérií a ich následné drvenie pred ďalším spracovaním musí prebiehať pod ochrannou atmosférou z dôvodu rizika požiaru. Určité druhy batérie, najmä tie s cylindrickými článkami (tento druh batérií využíva napríklad spoločnosť Tesla), sa recyklujú ťažšie. Recyklácie nie je ani ekonomická a za odber batérií k recyklácii sa platia relatívne vysoké finančné čiastky. [21]

### 4.1.3 VÝSLEDKY PO POSÚDENÍ ŽIVOTNÉHO CYKLU

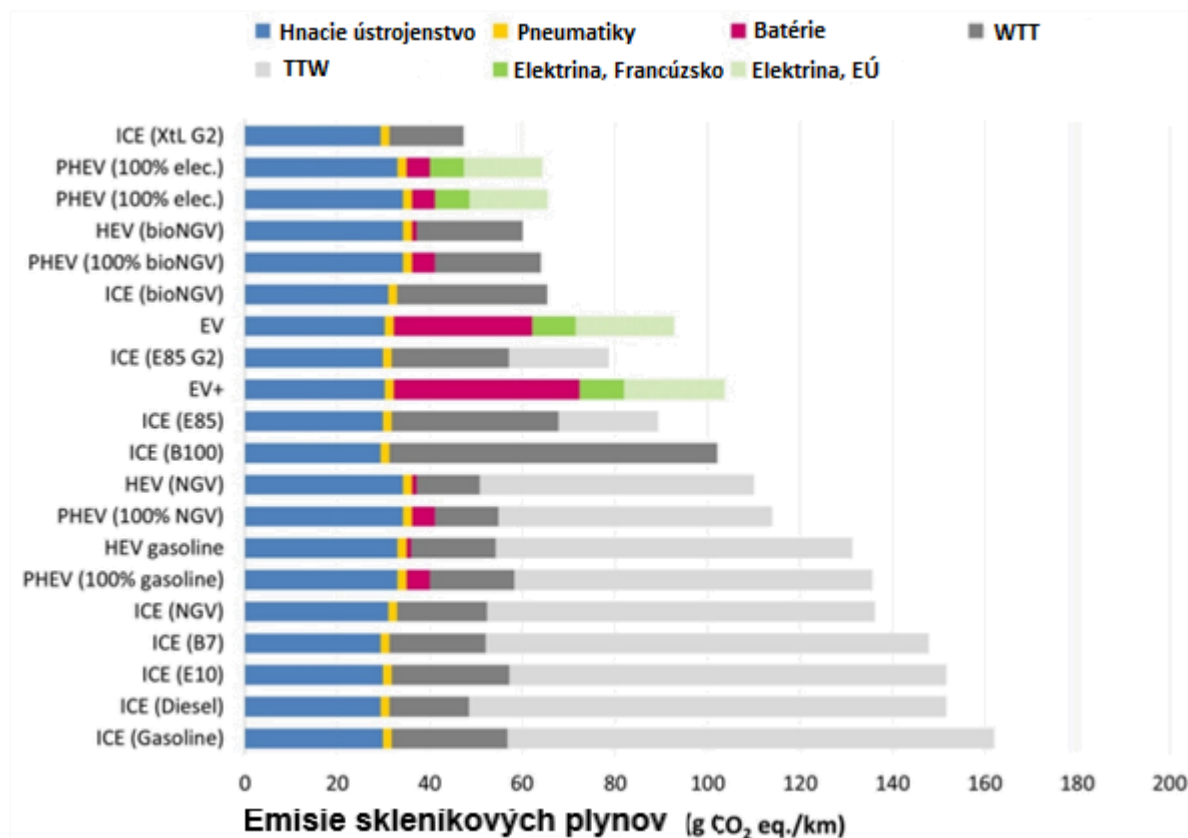
Bola hodnotená veľká vzorka rôznych druhov pohonov vozidiel. Na obrázku 30 a 31 môžeme vidieť výsledky tejto štúdie a to, aký vplyv majú jednotlivé druhy pohonov na emisie skleníkových plynov v g CO<sub>2</sub> ekv./km. Obrázok 30 reprezentuje súčasnosť (rok 2019).



Obr. 30 Vplyv na emisie skleníkových plynov vozidiel segmentu C pre rok 2019 [21]

Na obrázku 31 je naznačená predikcia vplyvu na emisie skleníkových plynov na rok 2030, kde sa uvažujú aj hybridné vozidlá využívajúce spaľovací motor, ktorý je poháňaný plynom (bioplynom). Na obrázku 30 a 31 je znázornené aj to, aký vplyv na emisie skleníkových plynov majú jednotlivé fáze životného cyklu automobilu.

Modrá časť predstavuje emisie súvisiace s konštrukciou vozidla a typom hnacieho ústrojenstva (motor, prevodovka, atď.). Je vidieť, že táto časť je relatívne rovnaká pre všetky pohonné jednotky. Nevýhodu majú hybridné vozidlá, pretože obsahujú dva motory, spaľovací aj elektrický. NGV vozidlá produkujú viac emisií z dôvodu ťažšej nádrže. [21]



Obr. 31 Vplyv na emisie skleníkových plynov vozidiel segmentu C pre rok 2030 [21]

Štádium životného cyklu s najvyššími emisiami skleníkových plynov pre vozidlá so spaľovacím motorom je spaľovanie paliva, prípadne jeho samotná výroba. Na obrázku 30 a 31 toto štádium predstavuje sivá farba. Emisie sú rozdelené na podskupiny TTW, čo predstavuje spaľovanie vo vozidle počas 150 000 km používania a predstavuje hlavnú časť vplyvu globálneho otepľovania pre spaľovacie motory, a na WTT, ktorá posudzuje energetickú náročnosť a produkciu emisií skleníkových plynov pri výrobe paliva (zahrnuje ťažbu surovín, dopravu do rafinérii, výrobu paliva a distribúciu na čerpace stanice). NGV produkujú v tejto časti menej CO<sub>2</sub> ako spaľovacie motory spaľujúce benzín či naftu z dôvodu nižšieho emisného faktoru. Vozidlá využívajúce bioplyn, ktorý sa získava bez procesu spaľovania odpadových plynov má emisný faktor približne o 75 % nižší ako NGV vozidlá. BioNGV produkujú len 71,2 g CO<sub>2</sub> ekv./km, čo je približne o 60 % menej ako ekvivalent vozidla so vznetovým motorom. [21]

Pre elektrifikované vozidlá PHEV a BEV sú problémom emisie vznikajúce pri výrobe batérií (červená oblasť na obrázkoch 30 a 31). Množstvo emisií závisí od kapacity batérie. So zvyšujúcou kapacitou sa zvyšujú aj emisie skleníkových plynov. Do roku 2030 sa predpokladá zvýšenie hustoty energie batérií, a z toho dôvodu je predpokladaný aj nižší emisný faktor pre batérie v roku 2030 ako v roku 2019. [21]

Pri nabíjateľných hybridoch môžeme pozorovať odlišné výsledky. Keď porovnáваме používanie na čisto elektrický pohon s PHEV, ktorý využíva len spaľovací motor, tak môžeme pozorovať, že pri 100 % elektrickom režime boli výsledky v roku 2019 54,7 g CO<sub>2</sub> ekv./km. Pri 100 % využívaní spaľovacieho motora sú emisie horšie, pretože emisie vznikajúce pri výrobe batérií sa pričítajú k emisiám vznikajúcim pri spaľovaní. [21]

Hybridizácia vozidiel znižuje spotrebu paliva, a tým pádom aj ich emisie CO<sub>2</sub>. V prípade benzínového HEV sú emisie (154 g CO<sub>2</sub> ekv./km) nižšie ako pri vozidlách HEV so spaľovacím motorom NGV (167 g CO<sub>2</sub> ekv./km). Do roku 2030, kedy uvažujeme hybridný automobil so spaľovacím motorom bioNGV, kde sa sčítajú výhody hybridizácie a bio-metánu, sa emisie produkované týmto typom pohonu predpokladajú približne na 60,1 g CO<sub>2</sub> ekv./km. [21]

Batériové elektrické vozidlá (EV a EV+) emitujú menšie množstvo CO<sub>2</sub> ako vozidlá s vnútorným spaľovaním, a dokonca menej aj ako hybridy. Záleží však najmä na tom, ako a kde sa elektrina vyrába. Záleží to na energetickom mixe danej krajiny. Na obrázku 30 môžeme vidieť emisie vznikajúce pri výrobe elektriny vo Francúzsku a v Európe (zelená farba). Tieto hodnoty môžeme interpretovať tak, že energetický mix a emisný faktor je vo Francúzsku menší a to hlavne z dôvodu, že väčšina elektriny sa vo Francúzsku vyrába v jadrových elektrárnach. Emisie CO<sub>2</sub> vznikajúce pri výrobe elektriny v celej Európe sú však oveľa väčšie, čo je spôsobené tým, že väčšina štátov Európy stále využíva uholné elektrárne. Keď teda porovnáme výrobu elektriny vo Francúzsku a v celej Európe, tak emisie CO<sub>2</sub> vznikajúce pri výrobe elektriny v Európe sú asi osemkrát väčšie v porovnaní s Francúzskom. V roku 2030 sa predpokladá pomalý prestup na obnoviteľné zdroje energie, čo sa odzrkadlí na znížení produkcií emisií pri výrobe elektriny (viď obrázok 31). Pre elektrické vozidlá s 40 kWh batériou sa v roku 2019 vyprodukuje za celý cyklus využívania elektromobilu približne 71,3 g CO<sub>2</sub> ekv./km, pri predpoklade jazdy vo Francúzsku. Pre EV+ s 60 kWh batériou sa produkcia emisií zvýši na 85 g CO<sub>2</sub> ekv./km. Tieto výsledky sú však horšie v porovnaní s vozidlami bioNGV alebo vozidlami využívajúcich syntetické palivá XtL G2. [21]

U elektrických vozidiel je takisto dôležité uvažovať straty pri dobíjaní. Je nutné si uvedomiť, že čas dobíjania, ktorý by bol zrovnateľný s časom tankovania nie je možné dosiahnuť. Je potrebné mať na pamäti, že hadicou prostredníctvom ktorej tankujeme palivo do nádrže, tečie výkon v megawattoch. Energia, ktorá je obsiahnutá v 1 l benzínu je približne 32 MJ/l. Záleží však na zložení, hlavne teda na obsahu bio-zložky. V motorovej naftě je energie viac a to z dôvodu, že má vyššiu hustotu a prídavok metylesteru rastlinného oleja neznižuje výhrevnosť ako napríklad etanol v benzíne. Ak by sme chceli prostredníctvom dobíjacieho kabeľu viesť elektrický výkon v megawattoch, tak pri dosiahnutí takého výkonu pri danom napätí batérie, by bol potrebný prúd v rádoch tisícov ampérov. To je však veľmi náročné dosiahnuť keďže platí, že straty sú druhou mocninou prúdu. Veľmi dôležité je chladenie batérií. Je nutné ich udržiavať na optimálnej teplote (približne 20 až 40 °C). Výkon, ktorý je batéria schopná ukladať pri nabíjaní silno závisí na teplote batérie. Pri vyššej, ale teda hlavne nižšej teplote, výkon batérie výrazne klesá. Ak by sme uvažovali dobíjanie na rýchlo nabíjajúcich staniciach, tak straty sú ešte väčšie. Je to z dôvodu, že s rastúcim výkonom rastie prúd a spolu s ním aj straty. K stratám pri dobíjaní dochádza v nabíjačke, nabíjacom kabeľu, palubnej inštalácii vozidla a v samotnej batérii. Z toho plynie veľká ekonomická nevýhoda, kedy vlastník elektrického automobilu alebo PHEV musí platiť nie len za energiu, ktorá sa uloží do batérie, ale aj straty v podobe tepla. [20]

V prípade biopalív (kvapalné alebo plynne) výsledky silno závisia od spôsobu spracovania. K menším emisiám viedli palivá E10 (benzín s 10 % etanolu) a B7 (nafta so 7 % bio zložky). Toto riešenie je veľmi rozšírené, a to najmä z dôvodu, že nie je nutná radikálna zmena pohonnej jednotky, hnacieho ústrojenstva či infraštruktúry distribúcie paliva. Čo sa týka palív E85 a B100 je pôsobivý pokles emisií CO<sub>2</sub>. Výsledky vozidiel s využitím spaľovania biopaliva E85 sa v roku 2019 blížili k BEV využívajúce batériu s vyššou kapacitou (EV+),

konkrétne 91 g CO<sub>2</sub> ekv./km oproti 83 g CO<sub>2</sub> ekv./km, ak však uvažujeme BEV jazdiace vo Francúzsku. [21]

Poslednou alternatívou boli kvapalné biopalivá, ktoré sú vyrobené výlučne modernými pokročilými spôsobmi spracovania. Palivo E85 vyrobené týmito metódami (E85 G2), v porovnaní so štandardným palivom E85, znižuje emisie skleníkových plynov o 15 %. Rozdeľ emisií medzi BEV s vyšším dojazdom (EV+) a vozidlami využívajúce palivo E85 G2 je veľmi malá. Konkrétne 91 g CO<sub>2</sub> ekv./km pre vozidlá s E85 G2 a pre BEV (EV+) 85 g CO<sub>2</sub> ekv./km. Navyše ak uvažujeme energetický mix Európy, tak vozidlá, ktoré spaľujú toto biopalivo produkujú oveľa menej emisií ako tie elektrické. Syntetické palivá teda ponúkajú dobrú príležitosť pre zníženie emisií skleníkových plynov. [21]

## 4.2 HODNOTENIE ŽIVOTNÉHO CYKLU OSOBNÝCH AUTOMOBILOV POHÁŇANÝMI VODÍKOM

Cieľom tejto štúdie LCA je porovnať rôzne vozidlá využívajúce vodík. Boli porovnávané vodíkové vozidlá využívajúce palivový článok (FCEV), vodíkové vozidlá využívajúce spaľovací motor (H2-ICE) a hybridné vodíkové elektrické vozidlá (HEV H2-ICE). [43]

### 4.2.1 TECHNICKÉ PARAMETRI VOZIDIEL

Ako referenčné vozidlo sa uvažuje automobil segmentu C s menovitým výkonom 80 kW. Uvažovaná hmotnosť sa pohybovala v rozmedzí 1200 kg až 1350 kg. Koniec životnosti automobilu uvažujeme pri 250 000 až 300 000 najazdených kilometrov, kde ročne sa s automobilom najazdí približne 12 000 km až 15 000 km. Vozidlá boli modelované na základe jednotných komponentov (karoséria, podvozok, atď.), a takisto na základe rozdielnych koncepcií pohonných jednotiek. Pri vozidlách so spaľovacím motorom bol uvažovaný zážihový motor s vnútorným spaľovaním, neuvažuje sa vznetový. Hlavné technické charakteristiky troch porovnávaných vodíkových vozidiel je možné vidieť v tabuľke 8. Hmotnosti a životnosť jednotlivých vozidiel sa líšia najmä kvôli rozdielom v pohonných jednotkách. U FCEV je možné vidieť, že uvažovaná životnosť je menšia v porovnaní s H2-ICE a HEV H2-ICE. Je to spôsobené tým, že životnosť FCEV závisí na životnosti palivových článkov, ktorá je obmedzená životnosťou membrán. Pre ostatné vozidlá sa uvažuje životnosť spaľovacieho motora, konkrétne 300 000 km. [43]



Tab. 8 Technické charakteristiky porovnávaných vodíkových vozidiel [43]

| Parametri                           | FCEV    | H2-ICE  | HEV H2-ICE |
|-------------------------------------|---------|---------|------------|
| Spotreba H <sub>2</sub> [kg/100 km] | 0,76    | 1,68    | 1,27       |
| Hmotnosť [kg]                       | 1800    | 1380    | 1550       |
| Životnosť [najazdené km]            | 190 000 | 300 000 | 300 000    |
| Výkon spaľovacieho motora [kW]      | -       | 80      | 58,4       |
| Výkon elektromotora [kW]            | 80      | -       | 48,6       |
| Dojazd [km]                         | 600     | 300     | 400        |
| Skladovací tlak [bar]               | 700     | 700     | 700        |
| Objem nádrže [l]                    | 120     | 120     | 120        |
| Množstvo vodíka [kg]                | 5       | 5       | 5          |

Vo všetkých troch typoch je uvažovaný rovnaký typ nádrže pre vodík, ktorý je skladovaný pri tlaku 700 bar. Nádrž je z kompozitných materiálov a pri plnej 120 litrovej nádrže, pri 700 baroch sa do nádrže zmestí asi 5 kg H<sub>2</sub>. Distribúcia vodíka bola uvažovaná prostredníctvom cestnej dopravy (predpokladaná vzdialenosť bola 100 km). [43]

Vozidlo H2-ICE spaľuje vodík a vzduch v zážihovom motore. Hybridné vozidlo poháňané vodíkom (HEV H2-ICE), o ktorom v tomto porovnaní uvažujeme, spaľuje vodík a vzduch v spaľovacom motore rovnako ako v predchádzajúcom prípade, ale hlavný rozdiel spočíva v hybridizácii pohonného systému. V tomto porovnaní LCA sa uvažuje full-hybrid.

#### 4.2.2 POSÚDENIE ŽIVOTNÉHO CYKLU

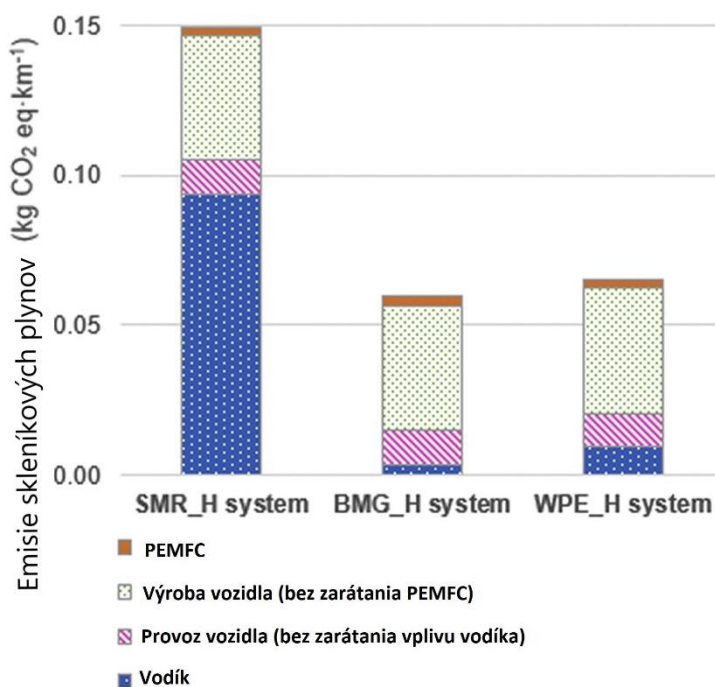
Údaje potrebné pre zhodnotenie emisií pri výrobe, prevádzke a údržbe vozidla boli čerpané najmä z databázy Ecoinvent, z dostupných štúdií, ale taktiež z technických správ výrobcov automobilov. Tieto údaje boli následne použité v simulovaní cyklu v programe SimaPro. [43]

Pre údaje o emisiách produkovaných počas životného cyklu spaľovacieho motora sa vychádzalo zo štúdie Notter [27], a využívala sa taktiež databáza Ecoinvent. [43]

Pri FCEV uvažujeme palivový článok PEMFC, kde pri emisiách produkovaných týmto typom palivového článku počas celého životného cyklu, vychádzame zo štúdie Evanelisti a kol. ([45]). [43]

Táto štúdia sa zaoberala porovnaním životného cyklu osobného automobilu, ktoré využíva palivový článok PEM. Pre vodíkové palivo sa uvažovali tri rôzne spôsoby výroby. Konvenčné párne reformovanie metánu (SMR\_H), splyňovanie biomasy (BMG\_H) a alkalická elektrolýza vody pri využití veternej energie pre realizáciu tohto procesu (WPE\_H). V tejto

štúdií bolo vykonané hodnotenie emisií výroby vodíkového paliva, výroby vozidla a prevádzky automobilu. Do hodnotenia neboli zahrnuté fázy ako je skladovanie a distribúcia vodíka, koniec životnosti, čo je tak značné obmedzenie. V tejto štúdií bol rovnako uvažovaný automobil s výkonom 80 kW. Hmotnosť vozidla sa uvažovala 2 000 kg. Pre obe etapy boli ako hlavné zdroje údajov databáza Ecoinvent a technické správy výrobcov automobilov využívajúce PEMFC. Pri SMR\_H sa štúdia opiera o harmonizované výsledky od Valente a kol. ([46]), a pri WPE\_H boli implantované vstupy z databáz, a simulácia sa realizovala v programe SimaPro. [45]



Obr. 32 Výsledky emisií vozidiel využívajúcich PEMFC pri uvažovaní rôznej výroby vodíku [45]

Z obrázku 32 je možné vyčítať, že hlavný vplyv na emisie vozidiel využívajúce palivový článok PEM má najmä spôsob výroby vodíku. Najlepšie na tom je spôsob výroby BMG\_H, a o niečo horšie spôsob WPE\_H. Pri viditeľných rozdieloch v porovnaní so systémom výroby vodíku SMR\_H, je možné vyčítať akú dôležitú rolu hrá výroba vodíka z obnoviteľných zdrojov. [45]

Pri finálnom hodnotení a porovnaní s H2-ICE a HEV H2-ICE budeme uvažovať výrobu vodíku alkalickou elektrolyzou, pri využití veternej energie pre tento proces (WPE\_H). [43]

Emisie produkované počas životného cyklu batérie boli uvažované podľa štúdie Ellingsen a kol. [30]

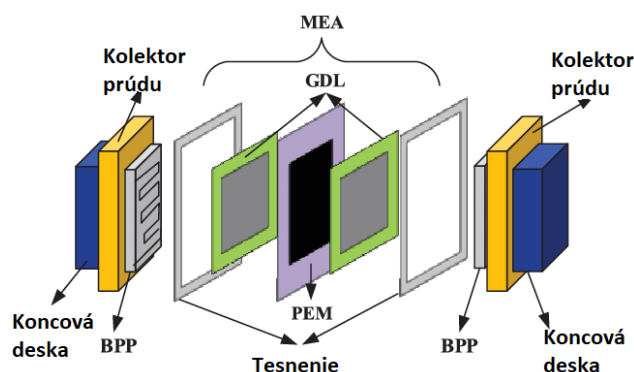
Prevádzkové parametre sa týkali najmä údajov o spotrebe paliva a emisiách. V tabuľke 9 môžeme vidieť hodnoty spotreby paliva a výfukových emisií pre každé z analyzovaných vozidiel. Informácie o priamych vozidlách boli získané z úžitkových vozidiel, ktoré boli podobné zvolenému referenčnému vozidlu, pomocou údajov deklarovaných výrobcami, technických údajov a databázy Ecoscore. Hodnoty spotreby paliva sa vzťahujú na NEDC v kombinovanom cykle (to znamená jazdu v meste aj mimo mesta). [43]

Tab. 9 Tabuľka spotreby paliva vodíkových automobilov a ich produkcia emisií počas jazdy [43]

| Vozidlo    | Spotreba paliva<br>[km/kg] | CO <sub>2</sub><br>[g/km] | CO<br>[g/km] | HC<br>[g/km] | NO <sub>x</sub><br>[g/km] |
|------------|----------------------------|---------------------------|--------------|--------------|---------------------------|
| FCEV       | 131,58                     | -                         | -            | -            | -                         |
| H2-ICE     | 59,230                     | -                         | 0,05851      | 0,0082       | 0,0205                    |
| HEV H2-ICE | 78,085                     | -                         | 0,05851      | 0,0082       | 0,0172                    |

Je nutné poznamenať, že hodnoty v tabuľke 9 zodpovedajú konzervatívnemu prístupu. V skutočnosti je však vodík palivo bez uhlíkovej a jediným možným zdrojom uhlíkových emisií je mazací olej, ktorý môže čiastočne horieť v malých množstvách. [43]

### RECYKLÁCIA PALIVOVÝCH ČLÁNKOV



Obr. 33 Štruktúra PEMFC [51]

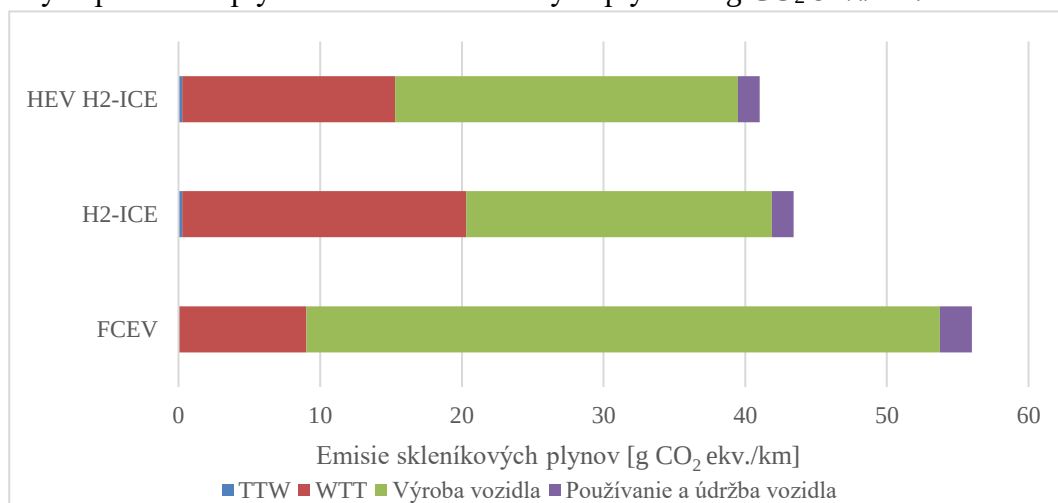
Hlavnou zložkou PEMFC je zostava membránovej elektródy (MEA), ktorá zahŕňa anódickú vrstvu a katódovú vrstvu oddelenú polymérovou membránou ako elektrolyt. Najpoužívanejšou protónovou výmennou membránou je protónová výmenná membrána perfluórsulfónovej kyseliny. Hlavným elektro-katalyzátorom používanými v palivových článkoch PEM je platina (Pt). Nové prístupy sa zameriavajú na použitie zlúčenín bez obsahu Pt, pre ktoré je hlavnou požiadavkou nízka cena a dlhodobá stabilita. Podstatným problémom u platiny je jej cena a je taktiež nutný vysoký obsah platiny. MEA sú naskladané do viacerých sérií prepojených bipolárnymi doskami, až kým sa nedosiahne požadovaného výkonu. Tieto dosky tvoria hlavný reťazec palivového článku. Umožňujú vedenie vody a tepla cez palivový článok a poskytujú kanálom reakčné plyny (vodík a kyslík). Štandardným materiálom pre bipolárne dosky PEMFC je grafit, prípadne grafitové kompozitá. Distribútor plynu v palivovom článku PEM (GDL) má zaistiť vhodný transport reaktantov (kyslík, vodík) a odvod tepla. Najčastejšie používaným materiálom je pórovitý uhlík a jeho kompozitá. Dve koncové dosky, ktoré sú zvyčajne vyrobené z hliníka, dopĺňajú zostavu PEMFC. Zabezpečujú rovnomerné rozloženie tlaku medzi vrstvami, správne utesnenie, tepelnú stabilitu, odolnosť proti korózií a mechanickú tuhosť. U PEMFC je z environmentálneho hľadiska najkritickejší materiál platina, a preto je dôležité sa zaoberať jej recykláciou. [50]

Pre získanie platiny z palivového článku PEM sa využíva hydrometalurgický proces. Tento proces je tvorený fyzikálnymi a chemickými metódami prebiehajúcimi v kvapalnom prostredí, ktoré umožňujú vysokú výťažnosť kovov. Hydrometalurgické procesy na získanie platiny z PEMFC vo všeobecnosti zahŕňajú určitú predúpravu recyklovaných článkov, lúhovanie, separáciu a čistenie. Lúhovanie obsahuje rozpúšťanie alebo vylúhovanie cenných kovov kyslým činidlom v oxidačnom médiu vo vylúhovacích nádržiach. Po vylúhovaní sa v kroku filtrácie odstráni častice uhlíka z roztoku obsahujúceho platinu. [50]

Je možné využitie aj pyro-hydrometalurgického spracovania, ktoré zahŕňa proces kalcinácie, v ktorom sa GDL, membrány a elektródy spaľujú. Popol vznikajúci pri spaľovaní sa spracováva rozpúšťaním v kyseline a platina sa následne získava zrážaním. V porovnaní s hydrometalurgickým procesom, pyro-hydrometalurgické procesy nevyžadujú mechanickú predúpravu, no na druhú stranu majú vyššiu spotrebu energie. [50]

#### 4.2.3 VÝSLEDKY PO POSÚDENÍ ŽIVOTNÉHO CYKLU

Boli hodnotené tri druhy vodíkových pohonov vozidiel tak ako bolo uvedené vyššie. Na obrázku 34 môžeme vidieť výsledky tejto štúdie, a taktiež aký vplyv majú jednotlivé druhy vodíkových pohonov vplyv na emisie skleníkových plynov v g CO<sub>2</sub> ekv./km.

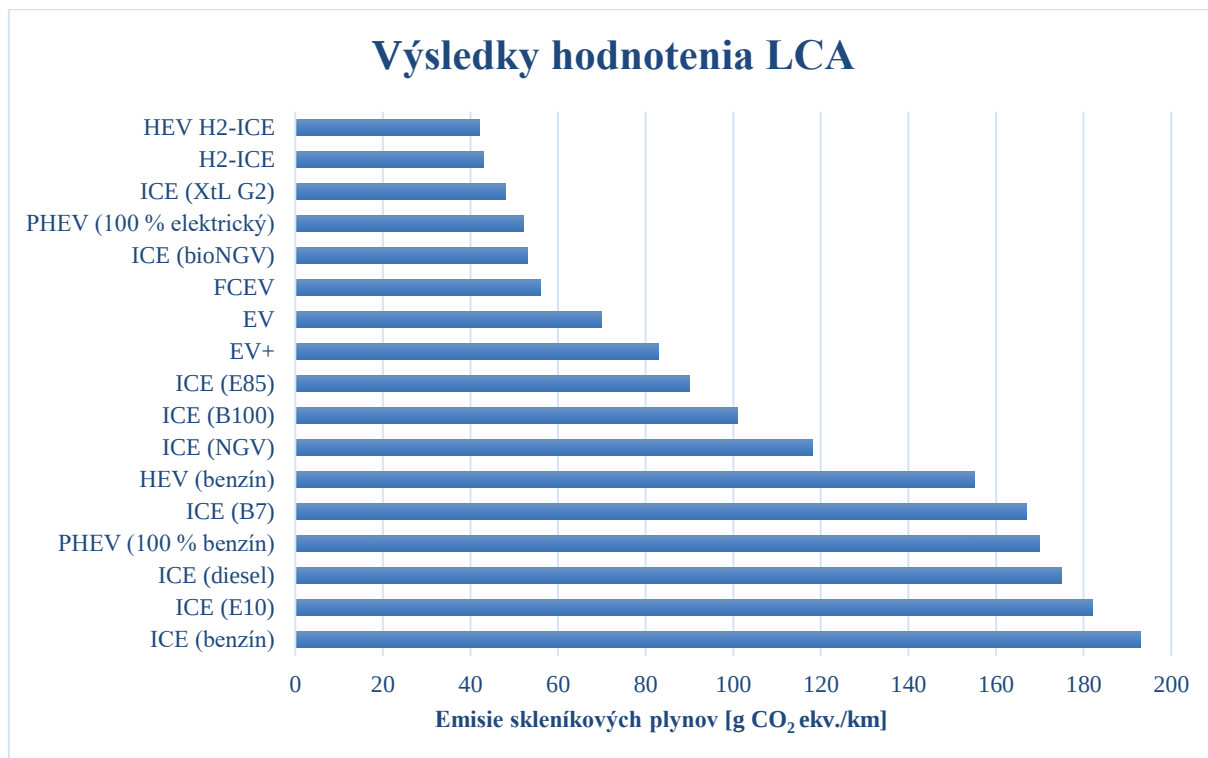


Obr. 34 Výsledky emisií po posúdení životného cyklu vodíkových automobilov [43]

Z obrázku 34 je možné vidieť, že čo sa týka emisií, tak najhoršie je na tom vodíkový automobil využívajúci palivový článok FCEV (56 g CO<sub>2</sub> ekv./km). Naopak, najlepšie je na tom hybridné elektrické vozidlo využívajúce zážihový motor spaľujúci vodík (41 g CO<sub>2</sub> ekv./km). Tesne za týmto vozidlom je automobil, ktorý takisto využíva konvenčný zážihový motor spaľujúci vodík (43 g CO<sub>2</sub> ekv./km). Tento automobil je podobný ako bežne využívané vozidlo so zážihovým spaľovacím motorom, len s menšími úpravami motoru, palivovej nádrže a rozvodu paliva. Z toho vyplýva, že ide o relatívne jednoduchú alternatívu k dnes bežne využívaným automobilom. Z výsledkov a dostupných štúdií k vozidlám využívajúcich palivový článok (FCEV) je jasné, že emisie závisia najmä na výrobe samotného vodíku tak ako bolo uvedené v kapitole 4.2.2, čo je možné vidieť aj na obrázku 32, kde sú tieto možné spôsoby výroby a ich vplyv na emisie CO<sub>2</sub> u FCEV znázornené. Ak by sme uvažovali napríklad výrobu vodíka prostredníctvom párneho reformovania metánu, výsledky emisií by sa rapídne zmenili k horšiemu, a to až približne na hodnotu 150 g CO<sub>2</sub> ekv./km.

### 4.3 ZHRNUTIE VÝSLEDKOV HODNOTENIA LCA

Na obrázku 35 je možné vidieť výsledky hodnotenie pre rôzne typy pohonných jednotiek a alternatívnych palív, ktoré boli v práci uvažované. Tieto údaje boli čerpané najmä z dostupných štúdií a zahraničných odborných článkov.



Obr. 35 Výsledky hodnotenia LCA [21], [43]

U výsledných hodnôt produkcie emisií je nutné poznamenať, že keďže sa jednalo o údaje z rôznych štúdií, tak výsledky nie sú úplne presné a porovnateľné, keďže každá štúdia uvažovala rôzne vstupné premenné a rôzny rozsah hodnotenia.

Základná kostra vozidla (hnacie ústrojenstvo) bola relatívne rovnaká pre všetky typy vozidiel a rozdiel v produkcii emisií je zanedbateľný. Rozdielovým faktorom sú rôzne konštrukcie pohonných jednotiek.

U konvenčných automobilov so zážihovým a vznetovým spaľovacím motorom, ktoré využívajú ako palivo benzín alebo motorovú naftu, je hlavným problémom palivo produkujúce najväčšie množstvo emisií, či už pri jeho samotnej rafinácii, distribúcii, ale aj následnom spaľovaní vo vozidle. Vhodnou alternatívou sú vozidlá využívajúce zemný plyn (NGV), bio-metán (bioNGV), prípadne konvenčné vozidlá so zážihovým spaľovacím motorom spaľujúce benzín s určitým obsahom etanolu (E10, E85), a u vozidiel so vznetovým motorom bionaftu (B7, B100). U týchto alternatív emisie klesajú a nevyžadujú ani tak veľký zásah do súčasnej infraštruktúry vozidiel a samotnej dopravy. Ako najlepšie alternatívne palivo pre konvenčné spaľovacie motory z hľadiska produkcie emisií počas celého životného cyklu sa však ukazujú syntetické palivá (XtL G2), pri ktorých výrobe, ak uvažujeme použitie čistej elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov, tak emisie rapídne klesnú. Výroba týchto palív však spotrebováva veľké množstvo elektrickej energie, čo výrazne komplikuje ich nástup.

Možnosťou je tiež hybridizácia automobilov (HEV), čo kombinuje výhody vozidiel so spaľovacím motorom a elektrických automobilov, a pri ktorých sa znižuje spotreba paliva, a tým pádom aj produkcia emisií s palivom spojených. Pre nabíjateľné hybridné vozidlo (PHEV) a batériové elektrické vozidlá (EV, EV+), je najväčším problémom batéria, ale taktiež elektrina, ktorú je potrebné vyrobiť pre jazdu elektromobilu. Záleží najmä na energetickom mixe, ktorý súvisí s krajinou v ktorej elektrinu vyrábame. S klesajúcim emisným faktorom zeme, ktorý súvisí s energetickým mixom danej krajiny, klesajú aj hodnoty emisií produkovaných pri výrobe elektriny použitej pre jazdu elektromobilu, prípadne výrobu batérií alebo palivových článkov. Vo výsledných hodnotách je uvažovaný energetický mix Francúzska. Ak by sme však napríklad uvažovali energetický mix celej Európy, tak emisie vznikajúce pri výrobe elektriny sa asi osemkrát zväčšia, čo je spôsobené najmä vysokou produkciou elektriny uhoľnými elektrárnami, kdežto vo Francúzsku je produkcia elektrickej energie sústredená najmä v jadrových elektrárnach.

Z výsledkov by sa mohlo zdať, že vodíkové vozidlá (FCEV, H2-ICE, HEV-H2 ICE) sú na tom s emisiami najlepšie. Je však potrebné mať na pamäti rozdielnosť štúdií. Pri vodíkových automobiloch nebol uvažovaný koniec životnosti, ale najmä bola uvažovaná tá najekologickejšia cesta výroby vodíka (alkalická elektrolyza vody za využitia veternej energie). Ak by sme však uvažovali výrobu vodíku napríklad párnym reformovaním metánu, tak emisie rapídne vzrastú.

## ZÁVER

V dnešnej dobe sa čoraz viac kladie dôraz na produkciu emisií a ich možný dopad na globálne otepľovanie. Automobilový priemysel patrí medzi významných emitentov škodlivých látok, ktoré znečisťujú životné prostredie, a preto prechádza toto odvetvie významnou reformou. To ako jednotlivé škodlivé látky vznikajú, čo spôsobujú ľudskému organizmu, prípadne aký vplyv majú na životné prostredie, je vysvetlené v prvej kapitole.

Spolu so sprísňujúcimi emisnými normami, ktoré sú bližšie popísané v druhej kapitole, sú automobilky nútené vyvíjať a prechádzať na nové alternatívne pohony, ktoré by dopad emisií na životné prostredie znížili.

Jednotlivé pohonné jednotky a ich výhody, nevýhody a princíp fungovania sú bližšie vysvetlené v tretej kapitole.

Na túto problematiku je však nutné sa pozeráť zo širšej perspektívy a neuvažovať len emisie vznikajúce pri samotnej jazde automobilu, ale uvažovať produkciu škodlivín počas celého životného cyklu vozidla, a to od výroby až po spracovanie materiálov po ukončení životnosti. Vhodným nástrojom pre porovnanie rôznych typov pohonných jednotiek je metodika LCA, pomocou ktorej sa zhromažďujú a vyhodnocujú vstupy, výstupy a ich možné dopady na životné prostredie počas celého životného cyklu daného vozidla. Hodnotenie LCA je bližšie popísané v štvrtej kapitole, kde sú taktiež vyobrazené aj celkové výsledky emisií rôznych typov pohonných jednotiek, ktoré dané štúdie obsahovali.

Rôzne štúdie sa vo výsledných hodnotách emisií rozchádzajú, čo je spôsobené napríklad uvažovaním iných technológií výroby vodíka, batérií, prípadne rôznych krajín pri výrobe elektriny, atď. Pre všetky však platí, že tieto alternatívne pohony majú vysoký potenciál v znižovaní emisií oproti konvenčným automobily, ale je veľmi dôležitá výroba elektriny a samotnej energie, ktorá je potrebná či už pre jazdu elektromobilu, hybridného vozidla alebo pre výrobu vodíka, batérií, atď. Ak však dokážeme zvýšiť produkcia energie z obnoviteľných zdrojov, čím tak znížime aj emisný faktor jednotlivých zemí, a následne tým znížime aj produkované emisie pre výrobu paliva pre tieto automobily. Tento problém spája všetky potenciálne najlepšie alternatívy v znižovaní emisií. Konkrétne batériové elektrické vozidlá, hybridné vozidlá (vrátane PHEV), automobily využívajúce vodík a palivový článok, ale taktiež automobily spaľujúce syntetické palivá. Dočasným riešením preto môžu byť automobily, ktoré nevyžadujú tak zásadný zásah do infraštruktúry dopravy. Jedná sa napríklad o využití alternatívnych palív (benzín s určitým obsahom etanolu, bionafta, zemný plyn, vodík) pre dnes používané konvenčné spaľovacie motory. Tieto alternatívne palivá, by nám tak uľahčili postupný prechod na alternatívne pohonné jednotky a elektrifikované vozidlá, u ktorých treba brať do úvahy to, že ak chceme rapídne znížiť produkciu emisií počas celého životného cyklu automobilu, je nutné aby krajiny postupne prestupovali na ekologickejšiu výrobu elektrickej energie. Dôležitým faktorom môže byť aj progres v oblasti recyklácie batérií, prípadne palivových článkov, čím je možné taktiež znížiť produkciu škodlivých látok a znížiť tak tvorbu emisií skleníkových plynov počas celého životného cyklu.

## POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] HOOFTMAN, Nils, Maarten MESSAGIE, Joeri VAN MIERLO a Thierry COOSEMANS. A review of the European passenger car regulations – Real driving emissions vs local air quality, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Renewable and Sustainable Energy Reviews [online]. 2018, 2018(86), 1-21 [cit. 2022-03-31]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012>.
- [2] Emisie CO<sub>2</sub> z automobilov: fakty a čísla (infografika) [online]. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/sk/headlines/society/20190313STO31218/emisie-co2-z-automobilov-fakty-a-cisla-infografika>
- [3] Oxid uhličitý. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_uhli%C4%8Dit%C3%BD](https://sk.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD)
- [4] Znečisťujúce látky a ovzdušie. Slovenský hydrometeorologický ústav [online]. Bratislava [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: [https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko\\_info\\_nu](https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko_info_nu)
- [5] Ozón. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Oz%C3%B3n>
- [6] Nespálené uhl'ovodíky. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Nesp%C3%A1len%C3%A9\\_uh%C4%BEovod%C3%ADky](https://sk.wikipedia.org/wiki/Nesp%C3%A1len%C3%A9_uh%C4%BEovod%C3%ADky)
- [7] Pevné častice (emisie). Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Pevn%C3%A9\\_%C4%8Dastice\\_\(emisie\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Pevn%C3%A9_%C4%8Dastice_(emisie))
- [8] Emission standards. Emission standards [online]. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php#stds>
- [9] EPA [online]. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>
- [10] Emise výfukových plynů [online]. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [11] Do you know your Euro 6 from your 6c and 6d-TEMP? Fleet Europe [online]. 2018 [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.fleeteurope.com/fr/new-energies-fiscalite-et-legislation/europe/features/do-you-know-your-euro-6-your-6c-and-6d-temp?a=DQU04&t%5B0%5D=Diesel&t%5B1%5D=RDE&t%5B2%5D=Euro%206d&t%5B3%5D=WLTP&t%5B4%5D=Euro%206d%20TEMP&t%5B5%5D=EVAP&t%5B6%5D=Taxation%20Guide&curl=1>



- [12] WLTP. Volkswagen Slovensko [online]. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.vw.sk/wltp>
- [13] Introduction to Internal Combustion Engines [online]. 4th ed. London: Palgrave Macmillan, 2012 [cit. 2021-9-17]. ISBN 978-0-230-57633-6. Dostupné z: [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=afYcBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=internal+combustion+engines&ots=ClUms\\_\\_zHN&sig=0tDOoT7\\_3\\_0ggNU3ioZnMZ6aPF8&redir\\_esc=y#v=onepage&q=internal%20combustion%20engines&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=afYcBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=internal+combustion+engines&ots=ClUms__zHN&sig=0tDOoT7_3_0ggNU3ioZnMZ6aPF8&redir_esc=y#v=onepage&q=internal%20combustion%20engines&f=false)
- [14] SI Engine : Working, Application, Advantages and Disadvantages. Mech4study [online]. 2020 [cit. 2021-9-17]. Dostupné z: <https://www.mech4study.com/2020/03/si-engine-working-application-advantages-and-disadvantages.html>
- [15] Alternative fuels for internal combustion engines [online]. 2017, , 3389-3413 [cit. 2021-9-28]. ISSN 1540-7489. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.09.009>.
- [16] KALWAR, Ankur a Avinash Kumar AGARWAL. Overview, Advancements and Challenges in Gasoline Direct Injection Engine Technology. SINGH, Akhilendra Pratap, Nikhil SHARMA, Ramesh AGARWAL a Avinash Kumar AGARWAL, ed. Advanced Combustion Techniques and Engine Technologies for the Automotive Sector [online]. Singapore: Springer Singapore, 2020, 2020-10-11, s. 111-147 [cit. 2021-9-28]. Energy, Environment, and Sustainability. ISBN 978-981-15-0367-2. Dostupné z: [doi:10.1007/978-981-15-0368-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0368-9_6)
- [17] Natural Gas Vehicles. Alternative Fuels Data Center [online]. [cit. 2021-10-1]. Dostupné z: [https://afdc.energy.gov/vehicles/natural\\_gas.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas.html)
- [18] Diesel engine. Britanica [online]. Florida: Encyclopedia Britannica, 2021 [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/diesel-engine>
- [19] LCA - Life cycle assessment - analýza životného cyklu. NARA [online]. Zvolen, 2020 [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://www.narask.sk/lca/>
- [20] Kam kráčiš elektromobilito?. Fakulta strojní ČVUT v Praze [online]. Praha [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/verejnost/pr-media/pribehy-z-ustavu/kam-kracis-elektromobilito/>
- [21] TERNEL, Cyprien, Anne BOUTER a Joris MELGAR. Life cycle assessment of mid-range passenger cars powered by liquid and gaseous biofuels: Comparison with greenhouse gas emissions of electric vehicles and forecast to 2030. Transportation Research Part D: Transport and Environment [online]. 2021, 97. ISSN 13619209. Dostupné z: [doi:10.1016/j.trd.2021.102897](https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102897).
- [22] COX, Brian, Christian BAUER, Angelica MENDOZA BELTRAN, Detlef P. VAN VUUREN a Christopher L. MUTEL. Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios. Applied Energy [online]. 2020, 269. ISSN 03062619. Dostupné z: [doi:10.1016/j.apenergy.2020.115021](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115021).
- [23] HROMÁDKO, Jan: Hodnocení životního cyklu fosilních paliv a bioetanolu. Listy cukrovarnické a řepařské, www.cukr-listy.cz [online], ISSN: 1210-3306

- [24] Co je to energetický mix?. Eon.cz [online]. [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/zelena-elektrina/co-je-to-energeticky-mix/>
- [25] KIM, Hyung Chul, Timothy J. WALLINGTON, Renata ARSENAULT, Chulheung BAE, Suckwon AHN a Jaeran LEE. Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis [online]. 2016, 50(14), 7715-7722. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.6b00830.
- [26] DAI, Qiang, Jarod C. KELLY, Linda GAINES a Michael WANG. Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications. Batteries [online]. 2019, 5(2). ISSN 2313-0105. Dostupné z: doi:10.3390/batteries5020048.
- [27] Notter, D. A.; Gauch, M.; Widmer, R.; Wagner, P.; Stamp, A.; Zah, R.; Althaus, H.-J. Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles Environ. Sci. Technol. [online] 2010, 44, 6550– 6556. Dostupné z: doi: 10.1021/es903729a
- [28] Majeau-Bettez, G.; Hawkins, T. R.; Strømman, A. H. Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles Environ. Sci. Technol. [online] 2011, 45, 4548– 4554. Dostupné z: doi: 10.1021/es103607c
- [29] Dunn, J. B.; Gaines, L.; Sullivan, J.; Wang, M. Q. Impact of Recycling on Cradle-to-Gate Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Automotive Lithium-Ion Batteries Environ. Sci. Technol. [online] 2012, 46, 12704– 12710. Dostupné z: doi: 10.1021/es302420z
- [30] Ellingsen, L. A.-W.; Majeau-Bettez, G.; Singh, Bhawna; Srivastava, A. K.; Valøen, L. O.; Strømman, A. H. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack J. Ind. Ecol. [online] 2014, 18 (1) 113– 124. Dostupné z: doi: 10.1111/jiec.12072
- [31] Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. International Journal of Hydrogen Energy [online]. 2017, 2017, 25695-25734 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.054>
- [32] How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?. Energy.gov [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>
- [33] Proton-exchange membrane fuel cell. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Proton-exchange\\_membrane\\_fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Proton-exchange_membrane_fuel_cell)
- [34] KÚRTHY, M. Palivový článek jako alternativní zdroj el. energie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [35] How Do All-Electric Cars Work?. Energy.gov [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>

- [36] An Extensive Study on Sizing, Energy Consumption, and Cost of Advanced Vehicle Technologies. United States, 2018 [cit. 2022-03-14].. Dostupné z: <https://doi.org/10.2172/1463258>.
- [37] The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life Cycle Assessment based on a novel scenario analysis framework Appl. 2015 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: 10.1016/j.apenergy.2015.01.019
- [38] Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, International reference life cycle data system (ILCD) handbook : general guide for life cycle assessment: provisions and action steps, Publications Office, 2013 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/33030>
- [39] Národní energetický mix. OTE [online]. 2020 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [40] Porovnání energetického mixu v České republice a v zahraničí. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ. Vedoucí práce Doc. Ing. Vašíčkovi CSc.
- [41] Germany. IEA [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.iea.org/countries/germany>
- [42] ECO2mix - Power generation by energy source. RTE [online]. Francie, 2020 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.rte-france.com/en/eco2mix/power-generation-energy-source>
- [43] CANDELARESI, Daniele, Antonio VALENTE, Diego IRIBARREN, Javier DUFOUR a Giuseppe SPAZZAFUMO. Comparative life cycle assessment of hydrogen-fuelled passenger cars. International Journal of Hydrogen Energy [online]. 2021 [cit. 2022-03-14]. ISSN 03603199. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijhydene.2021.01.034.
- [44] JURAJ, Matej. Perspektívne alternatívne pohony automobilov. Posterus [online]. 2011, 1.8.2011, 4(8) [cit. 2022-03-17]. ISSN 1338-0087. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=11179>
- [45] EVANGELISTI, Evangelisti, Carla TAGLIAFERRI, Dan J.L BRETT a Paola LETTIERI. Life cycle assessment of a polymer electrolyte membrane fuel cell system for passenger vehicles. Journal of Cleaner Production [online]. 2017, 2917(142), 4339-4355 [cit. 2022-03-25]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.159>.
- [46] VALENTE, Antonio, Diego IRIBARREN a Javier DUFOUR. Harmonising methodological choices in life cycle assessment of hydrogen: A focus on acidification and renewable hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy [online]. 2019, (44), 19426-19433 [cit. 2022-03-27]. ISSN 0360-3199. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.101>.
- [47] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions. Draft Technical Rep. EPA 420-P-02-001, 2002. [cit. 2022-03-31]

- [48] Anthony N. Stranges: Synthetic Fuel Production in Prewar and World War II Japan: A Case Study in Technological Failure. [www.fischer-tropsch.org](http://www.fischer-tropsch.org) [online]. [cit. 10-06-2007]. Dostupné z: [http://www.fischer-tropsch.org/primary\\_documents/presentations/AIChE 2003 Spring National Meeting/Paper 80d Stranges Japan.pdf](http://www.fischer-tropsch.org/primary_documents/presentations/AIChE_2003_Spring_National_Meeting/Paper_80d_Stranges_Japan.pdf)
- [49] RIDJAN, Iva, Brian VAD MATHIESEN a David CONNOLY. Terminology used for renewable liquid and gaseous fuels based on the conversion of electricity. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2016, 2017(112), 3709-6526 [cit. 2022-03-31]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.117](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.117).
- [50] VALENTE, Antonio, Diego IRABARREN a Javier DUFOUR. End of life of fuel cells and hydrogen products: From technologies to strategies. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2019, 44(38), 20965-20977 [cit. 2022-04-12]. ISSN 0360-3199. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.110](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.110).
- [51] Data-driven sensitivity analysis of contact resistance to assembly errors for proton-exchange membrane fuel cells. In: *Research Gate* [online]. Londýn: Measurement and Control -London- Institute of Measurement and Control, 2020 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/342195774\\_Data-driven\\_sensitivity\\_analysis\\_of\\_contact\\_resistance\\_to\\_assembly\\_errors\\_for\\_proton-exchange\\_membrane\\_fuel\\_cells](https://www.researchgate.net/publication/342195774_Data-driven_sensitivity_analysis_of_contact_resistance_to_assembly_errors_for_proton-exchange_membrane_fuel_cells).

## Zoznam Použitých Skratiek a Symbolov

|                                  |                                                                                                     |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ADEME                            | Agence de la transition écologique, Francúzska agentúra pre riadenie životného prostredia a energie |
| BEV                              | Battery electric vehicle, batériové elektrické vozidlo                                              |
| BTL                              | Biomass to liquid, skvapalňovanie biomasy                                                           |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | Etanol                                                                                              |
| C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH | Propanol                                                                                            |
| C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH | Butanol                                                                                             |
| CFR                              | Cooperative fuel research                                                                           |
| CNG                              | Compressed natural gas, stlačený zemný plyn                                                         |
| CO                               | Oxid uhoľnatý                                                                                       |
| CO <sub>2</sub>                  | Oxid uhličitý                                                                                       |
| CTL                              | Coal to liquid, skvapalňovanie uhlia                                                                |
| DME                              | Dimetyléter                                                                                         |
| EPA                              | Agentúra pre ochranu životného prostredia                                                           |
| ESS                              | Energy storage system, systém skladovania energie                                                   |
| EV                               | Electric vehicle, elektrické vozidlo                                                                |
| FAME                             | Fatty acid methyl ester, nenasýtené mastné kyseliny rastlinného pôvodu                              |
| FCEV                             | Fuel cell electric vehicle, elektrické vozidlo s palivovými článkami                                |
| FCHEV                            | Fuel cell hybrid electric vehicle, elektrické hybridné vozidlo s palivovými článkami                |
| GDI                              | Gasoline direct injection, zážihový motor s priamym vstrekaním                                      |
| GDL                              | Gas diffusion layer, plynová distribučná vrstva                                                     |
| GTL                              | Gas to liquid, skvapalňovanie plynu                                                                 |
| H <sub>2</sub>                   | Vodík                                                                                               |
| HEV                              | Hybrid electric vehicle, hybridné elektrické vozidlo                                                |
| HVO                              | Hydrotreated vegetable oil, hydrogennačne rafinovaný rastlinný olej                                 |
| CH <sub>3</sub> OH               | Metanol                                                                                             |
| CH <sub>x</sub>                  | Nespálené uhl'ovodíky                                                                               |
| ICE                              | Internal combustion engine, motor s vnútorným spaľovaním                                            |
| IFPEN                            | IFP energies nouvelles                                                                              |
| JRC                              | Joint research centre, spoločné výskumné centrum                                                    |
| LCA                              | Life cycle assessment, posudzovanie životného cyklu                                                 |
| LHV                              | Menšia výhrevnosť                                                                                   |
| LMO                              | Lithium ion manganese oxide battery                                                                 |
| LNG                              | Liquefied natural gas, skvapalnený zemný plyn                                                       |
| LPDI                             | Liquid phase direct injection, priame vstrekovanie v kvapalnej fáze                                 |
| LPG                              | Liquefied petroleum gas, skvapalnený ropný plyn                                                     |
| LPI                              | Liquid phase injection,                                                                             |
| MEA                              | Membrane electrode assembly, membránová elektródová konštrukcia                                     |
| MON                              | Motor octane number, motorové oktánové číslo                                                        |

|                 |                                                                                    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| NATO            | North Atlantic treaty organization, organizácia Severoatlantickej zmluvy           |
| NCM             | Lithium nickel manganese cobalt oxide battery                                      |
| NEDC            | New European driving cycle, nový Európsky jazdný cyklus                            |
| NGV             | Natural gas vehicle, vozidlo na zemný plyn                                         |
| NO              | Oxid dusnatý                                                                       |
| NO <sub>2</sub> | Oxid dusičitý                                                                      |
| NO <sub>x</sub> | Oxidy dusíka                                                                       |
| O <sub>3</sub>  | Ozón                                                                               |
| OBD             | On board diagnostics, palubná diagnostika                                          |
| PEMFC           | Proton-exchange membrane fuel cell, palivový článok s membránou na výmenu protónov |
| PEMS            | Portable Emission Measurement System, prenosný merací systém                       |
| PFI             | Port fuel injection, vstrekovanie paliva do sacieho kanála                         |
| PHEV            | Plug-in hybrid electric vehicle, plug-in hybridné elektrické vozidlo               |
| PM              | Pevné častice                                                                      |
| Pt              | Platina                                                                            |
| RDE             | Real driving emission                                                              |
| RON             | Research octane number, výskumné oktánové číslo                                    |
| SFC             | Specific fuel consumption, koncept jedného paliva                                  |
| SO <sub>x</sub> | Oxidy síry                                                                         |
| TTW             | Tank-to-wheel analýza                                                              |
| VPI             | Vapour phase injection, vstrekovanie paliva vo fáze pary                           |
| WLTP            | Worldwide harmonized light-duty vehicles test procedure                            |
| WTT             | Well-to-tank analýza                                                               |
| WTW             | Well-to-wheel analýza                                                              |