

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2023

Bc. Tobiáš Raffay



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

STUDIE EKOLOGICKÉHO DOPADU VÝROBY, PROVOZU A LIKVIDACE RŮZNÝCH TYPŮ AUTOMOBILŮ

STUDY OF THE ECOLOGICAL IMPACT OF PRODUCTION, OPERATION AND DISPOSAL OF VARIOUS
TYPES OF CARS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tobiáš Raffay

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Jaššo

BRNO 2023

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektrotechnická výroba a management**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Tobiáš Raffay

ID: 211171

Ročník: 2

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Studie ekologického dopadu výroby, provozu a likvidace různých typů automobilů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte problematiku ekologie výroby vozidel. Nastudujte ekologii provozu a likvidace osobních automobilů. S ohledem na oficiální zdroje určete hodnoty jednotlivých emisních faktorů. Vyberte reprezentativní vzorek automobilů. Provedte celkovou analýzu emisí automobilů během celého životního cyklu vzhledem k druhu jejich paliva (benzín, diesel, elektřina, vodík). Vypočtete celkovou uhlíkovou stopu jednotlivých automobilů (benzín, diesel, elektřina, vodík) a tyto mezi sebou porovnejte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 23.5.2023

Vedoucí práce: Ing. Kamil Jaššo

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zameriava na problém ekologického dopadu výroby, používania a likvidácie vozidiel. V teoretickej časti sú zhrnuté potrebné teoretické znalosti pre úvod do tejto problematiky. Zameriava sa teda na celý životný cyklus osobného vozidla a emisie s tým spojené. Práca sa venuje uvoľneným skleníkovým plynom počas celého životného cyklu vozidla. Teda od spracovania materiálov, výroby častí osobných vozidiel, taktiež pri výrobe a spaľovaní paliva ako aj pri likvidácii a recyklácii vozidla. Práca porovnáva emisie benzínových, naftových, elektrických a vodíkových vozidiel.

Kľúčové slová

GWP, ekológia, ekologický dopad, výroba vozidiel, používanie vozidiel, likvidácia vozidiel, ekvivalent oxidu uhličitého, skleníkové plyny, recyklácia, benzín, nafta, elektrina, vodík

Abstract

This master thesis focuses on the problem of the ecological impact of the production, use and disposal of vehicles. The theoretical part summarizes the necessary theoretical knowledge for an introduction to this issue. Thus, it focuses on the entire life cycle of a passenger vehicle and the emissions associated with it. The thesis deals with the greenhouse gases released during the whole life cycle of the vehicle. Thus, from the processing of materials, the production of passenger car parts, also in the production and combustion of fuel as well as in the disposal and recycling of the vehicle. The work compares the emissions of petrol, diesel, electric and hydrogen vehicles.

Keywords

GWP, ecology, ecological impact, vehicle production, vehicle operation, vehicle disposal, CO₂ equivalent, greenhouse gases, recycling, petrol, diesel, electricity, hydrogen

Bibliografická citácia

RAFFAY, Tobiáš. Studie ekologického dopadu výroby, provozu a likvidace různých typů automobilů [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/152439>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Kamil Jaško.

Prehlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko študenta:	<i>Tobiáš Raffay</i>
VUT ID študenta:	<i>211171</i>
Typ práce:	<i>Diplomová práca</i>
Akademický rok:	<i>2022/23</i>
Téma záverečnej práce:	<i>Studie ekologického dopadu výroby, provozu a likvidace různých typů automobilů</i>

Prehlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho záverečnej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zoznamu literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích osobnostných autorských práv a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení druhej časti, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa: 23. mája 2023

podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Kamilovi Jaššovi, za jeho ochotu, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce. Ďalej by som chcel poďakovať mojej priateľke, ktorá mi bola oporou a korektorkou gramatickej stránky mojej záverečnej práce.

V Brne dňa: 23. mája 2023

podpis autora

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV	9
ZOZNAM TABULIEK	10
ÚVOD	11
1. EMISIE V DOPRAVE.....	13
2. SKLENÍKOVÉ PLYNY A UHLÍKOVÁ STOPA	15
2.1 SKLENÍKOVÝ EFEKT	16
2.1.1 <i>Prírodný skleníkový efekt</i>	<i>16</i>
2.1.2 <i>Neprirodný skleníkový efekt</i>	<i>17</i>
2.2 UHLÍKOVÁ STOPA	19
2.3 POTENCIÁL GLOBÁLNEHO OTEPLOVANIA	20
3. ŽIVOTNÝ CYKLUS VOZIDLA	22
3.1 FÁZA VÝROBY	23
3.1.1 <i>Oceľ</i>	<i>25</i>
3.1.2 <i>Hliník a jeho zliatiny.....</i>	<i>27</i>
3.1.3 <i>Pneumatiky</i>	<i>28</i>
3.1.4 <i>Plasty.....</i>	<i>30</i>
3.1.5 <i>Elektronika</i>	<i>31</i>
3.2 FÁZA PREVÁDZKY	31
3.2.1 <i>Well to Wheel.....</i>	<i>32</i>
3.2.2 <i>Well to Tank.....</i>	<i>33</i>
3.2.3 <i>Tank to Wheel.....</i>	<i>38</i>
3.2.4 <i>Emisné normy a ich testovanie</i>	<i>39</i>
3.2.5 <i>Údržba.....</i>	<i>43</i>
3.3 FÁZA LIKVIDÁCIE.....	45
4. EMISNÉ FAKTORY	47
4.1 REPREZENTATÍVNA VZORKA AUTOMOBILOV.....	48
4.2 VÝROBA.....	49
4.2.1 <i>Benzínové automobily.....</i>	<i>49</i>
4.2.2 <i>Naftové vozidlá</i>	<i>51</i>
4.2.3 <i>Elektrické vozidlá</i>	<i>52</i>
4.2.4 <i>Vodíkové vozidlá.....</i>	<i>57</i>
4.3 EMISNÝ FAKTOR Z VÝROBY VOZIDLA A Z VÝROBY BATÉRIÍ.....	60
4.4 HODNOTY EMISNÝCH FAKTOROV PRE PALIVÁ ZA ROK 2021.....	61
4.4.1 <i>Vodík.....</i>	<i>62</i>
4.4.2 <i>AdBlue</i>	<i>63</i>
4.5 RECYKLÁCIA.....	64
5. VÝPOČET A POROVNANIE	65
5.1 EMISIE Z VÝROBY	66
5.2 EMISIE Z PREVÁDZKY.....	67
5.3 EMISIE Z RECYKLÁCIE.....	68
5.4 CELKOVÝ ŽIVOTNÝ CYKLUS.....	68
ZÁVER.....	76
LITERATÚRA.....	77
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	89

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 - Odhadovaná celosvetová výroba motorových vozidiel v rokoch 2000-2021 [1]	11
Obr. 2 - Emisie v doprave podľa sektorov v EÚ [4]	13
Obr. 3 - Porovnanie emisií skleníkových plynov podľa sektoru v krajinách V4 [5][6][7][8].....	14
Obr. 4 - Rozdelenie emisií pri uhlíkovej stope [9].....	15
Obr. 5 - Vývoj svetovej teplotnej anomálie [10].....	16
Obr. 6 - Grafické vyjadrenie skleníkového efektu [12]	17
Obr. 7 - Vývoj koncentrácie oxidu uhličitého v atmosfére za 800 000 rokov [13].....	17
Obr. 8 - Vývoj a predpovede stúpania teploty [14].....	18
Obr. 9 - Rozdelenie emisií pri uhlíkovej stope [16].....	19
Obr. 10 - Priebeh životného cyklu vozidla [29].....	23
Obr. 11 - Priemerné zloženie materiálov vo vozidlách [32]	24
Obr. 12 - Množstvo ton CO2 emisií vyprodukovaných pri výrobe tony ocele[39]	26
Obr. 13 - Hodnoty využitia hliníka pri výrobe automobilu podľa sektoru [41].....	27
Obr. 14 - Materiálové zloženie pneumatiky pri výrobe [46].....	28
Obr. 15 - Percentuálne použitie plastov pri výrobe vozidiel [54]	30
Obr. 16 - Proces Well to Wheel pre rôzne druhy palív [61]	32
Obr. 17 - Ropovodná sieť v ČR [63]	33
Obr. 18 - Emisie pri rafinovaní ropy [65]	34
Obr. 19 - Energetické mixy pre krajiny V4 [68].....	35
Obr. 20 - Emisie novoregistrovaných vozidiel v EÚ [74].....	39
Obr. 21 - Vizualizácia WLTP cyklov pre triedu 3 [80]	42
Obr. 22 - Systém PEMS v prevádzke [82].....	43
Obr. 23 - Proces recyklácie vozidiel na konci životnosti [90]	46
Obr. 24 - Percentuálny pomer znovu použitých a recyklovaných častí vo vozidlách [92]	46
Obr. 25 - Porovnanie predaja vozidiel podľa typu paliva [95]	47
Obr. 26 - Detail pohonnej jednotky a zloženia karoséria benzínovej Audi Q7 [96]	49
Obr. 27 - Porovnanie zloženia modelov Audi Q7 a Mercedesu Benz GLE 500 [97][99].....	50
Obr. 28 - Pohonná jednotka Volvo C40 Recharge [105]	52
Obr. 29 - Materiálové zloženie elektrických modelov EQC 400 a C40 Recharge [32][106]	53
Obr. 30 - Zloženie Li-ion batérie pre Audi Q8 e-tron [110]	55
Obr. 31 - Výrobcovia bateriek v Európe s výrobnou kapacitou [113].....	56
Obr. 32 - Pohonná jednotka Toyota Mirai 2 [114].....	57
Obr. 33 - Zloženie vodíkovej nádrže pre Hyundai Nexu [119].....	58
Obr. 34 - Životný cyklus vozidla (jednotlivé fázy) [132]	65
Obr. 35 - Ekologický dopad vozidiel v ČR.....	69
Obr. 36 - Porovnanie ekologického dopadu vodíkových vozidiel v ČR podľa typu výroby H2	70
Obr. 37 - Emisie vyprodukované pri prevádzke (s výrobou paliva)	71
Obr. 38 - Celkové emisie počas životného cyklu (výroba, prevádzka, údržba, recyklácia).....	72
Obr. 39 - Celkové emisie počas životného cyklu pre vodíkové vozidlá rôzne typy výroby H2	73
Obr. 40 - Emisie z prevádzky pre predané vozidlá v roku 2019 [133]	75

ZOZNAM TABULIEK

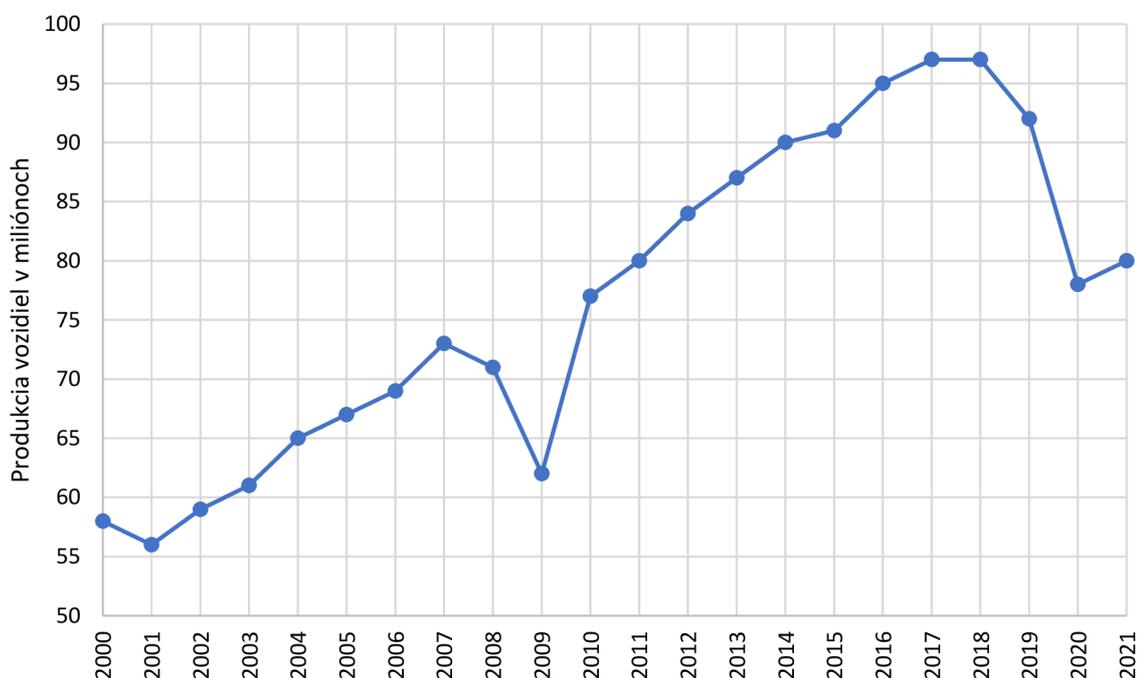
Tab. 1 - Hodnoty GWP pre základné GHG [19][21]	21
Tab. 2 - Zloženie emisií v životnom cykle pneumatiky [46]	29
Tab. 3 - Výrobné portfólio firmy Slovnaft [64]	33
Tab. 4 - Emisie pri spracovaní a transporte ropy na benzín a naftu pre krajiny V4 [66]	35
Tab. 5 - Emisný faktor pre krajiny V4 [68]	36
Tab. 6 - Well-To-Tank emisné faktory palív pre Českú republiku [66]	37
Tab. 7 - Vývoj emisných noriem Euro [78]	40
Tab. 8 - Porovnanie metód WLTP a NEDC [79]	41
Tab. 9 - Podmienky WLTP testu [80]	42
Tab. 10 - Servis komponentov a jeho CO2 emisie [84]	44
Tab. 11 - Vybrané modely automobilov a ich technické parametre*	48
Tab. 12 - Parametre modelov Audi Q7 55 a Mercedesu Benz GLE 500 [98][99]	49
Tab. 13 - Zloženie batérií pre EV [108]	54
Tab. 14 - Využitelná kapacita batérií pre vybrané SUV modely [112]	56
Tab. 15 - Výrobné emisie Toyoty Mirai [120]	59
Tab. 16 - Porovnanie hodnôt pre výpočet emisného faktoru z výroby SUV modelov	60
Tab. 17 - Emisné faktory palív a ich emisie na jeden kilometer	62
Tab. 18 - Well-To-Tank emisné faktory vodíka Českú republiku [66][125][126]	63
Tab. 19 - Technické parametre priemerných vozidiel podľa typu pohonnej jednotky	65
Tab. 20 - Súhrn emisií za celý životný cyklus pre jednotlivé typy vozidiel	69
Tab. 21 - Porovnanie emisií za celý životný cyklus pre vodíkové vozidlá	70
Tab. 22 - Porovnanie vypočítaných emisií a výsledkov IEA [133]	74

ÚVOD

Problémy so znižujúcimi sa zásobami palív a zvyšujúcimi sa ekologickými vplyvmi automobilov na prostredie boli jednými z podnetov na vývoj alternatívnych pohonov. Mnoho z nich je už plnohodnotne aplikovaných v prevádzke a rastie ich využívanie medzi ľuďmi. Snahy obmedziť emisie oxidu uhličitého CO₂ sa vydávajú dvomi cestami: jednou je zvyšovanie účinnosti spaľovacích motorov a druhou prechod na iné palivá a pohony. Či už tradičné alebo alternatívne pohony automobilov majú svoje výhody aj nevýhody z pohľadu ekologickosti. Výrobcovia taktiež reagujú na emisné normy zavedené inštitúciami a politikmi, ktorí sa snažia nastavovať emisné limity tak, aby znížili vplyvy na životné prostredie na čo najmenšie.

Sektor dopravy je považovaný za najväčší výrobný sektor na svete a je jedným z najväčších zdrojov emisií CO₂ a znečistenia ovzdušia. Veľkosť tohto sektora dokazujú aj čísla, na ktorých je stúpajúci trend výroby vozidiel ako je možné vidieť na Obr. 1. Tento vývoj bol ovplyvnený celosvetovou krízou v roku 2009 a následne pandémiou Covid-19 v rokoch 2019 a 2020 avšak aj v týchto prípadoch je vidieť nárast v produkcii v ďalších rokoch. V roku 2021 sa na celom svete vyrobilo 79,1 milióna motorových vozidiel, čo predstavuje nárast o 1,3 % v porovnaní s rokom 2020.

Odhadovaná celosvetová výroba motorových vozidiel od roku 2000 do roku 2021



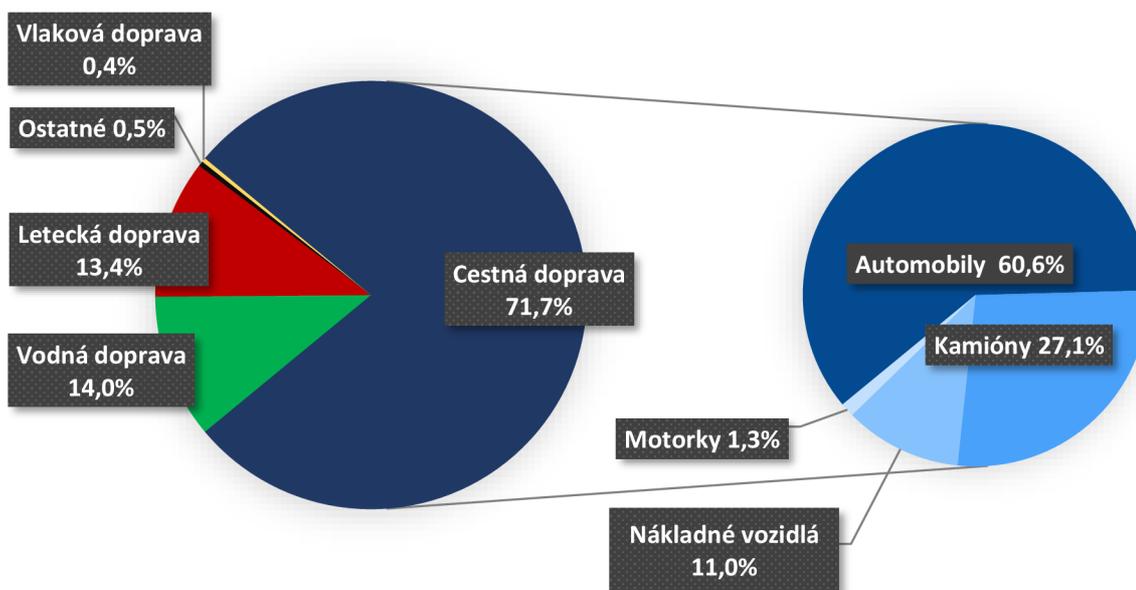
Obr. 1 - Odhadovaná celosvetová výroba motorových vozidiel v rokoch 2000-2021 [1]

Odhaduje sa, že do roku 2035 bude trend výroby celosvetovo stúpať a ročne sa vyrobí až 127 miliónov vozidiel. Do roku 2035 by celkový počet funkčných vozidiel mohol byť 2 miliardy [2]. Vplyv automobilového priemyslu na životné prostredie v budúcnosti bude závisieť od toho, ako efektívne sa posunieme v problematike ekologickosti výroby, využívania a recyklácii automobilov. Problematika sa netýka len samostatnej prevádzky. Medzi dôležité faktory automobilových emisií patria aj emisie z výroby a recyklácie. Autá spotrebujú veľa energie a vypustia mnoho emisií ešte pred tým ako sa vôbec dostanú na cestu. Je to z dôvodu, že automobilová výroba zanecháva obrovskú ekologickú stopu, pretože materiály ako oceľ, guma, sklo, plasty, farby a mnohé ďalšie musia byť vytážené a spracované pred samotnou montážou. Podobne koniec životnosti vozidla neznamená koniec jeho vplyvu na životné prostredie. Plasty, toxické kyseliny z batérií a iné produkty môžu zostať v životnom prostredí. Približne tri štvrtiny dnešného priemerného auta, vrátane veľkej časti oceľového rámu, možno recyklovať. Náklady na výrobu, recykláciu a likvidáciu pre životné prostredie je ťažké kvantifikovať a väčšinou sú mimo kontroly väčšiny spotrebiteľov [3].

1. EMISIE V DOPRAVE

Emisie sú škodlivé látky, ktoré sú vyžarované najčastejšie ako odpadové produkty. Emisiami sa nemyslí len oxid uhličitý CO₂, ale všetky skleníkové plyny. V roku 2019 väčšina cestnej dopravy (66,7 %) v EÚ využívala ako palivo naftu, benzín ako palivo tvoril štvrtinu (24,55 %) spotreby. Využívanie elektrických áut je na vzostupe, v roku 2020 tvorili elektrické osobné autá v EÚ už 11 % všetkých registrovaných vozidiel [4]. Porovnávanie ekologických dopadov jednotlivých druhov pohonov je v súčasnosti veľmi diskutovanou témou. Doprava je jediným sektorom, kde emisie skleníkových plynov stúpali, a to až o 33,5 % od roku 1990. Z celkového množstva emisií vyprodukovaných v doprave sa v priemere až 71,7 % viaže ku cestnej doprave, z toho je 60,6 % emisií spojených s automobilmi vid' Obr. 2. Cestná doprava vytvára až jednu pätinu emisií Európskej Únie [4].

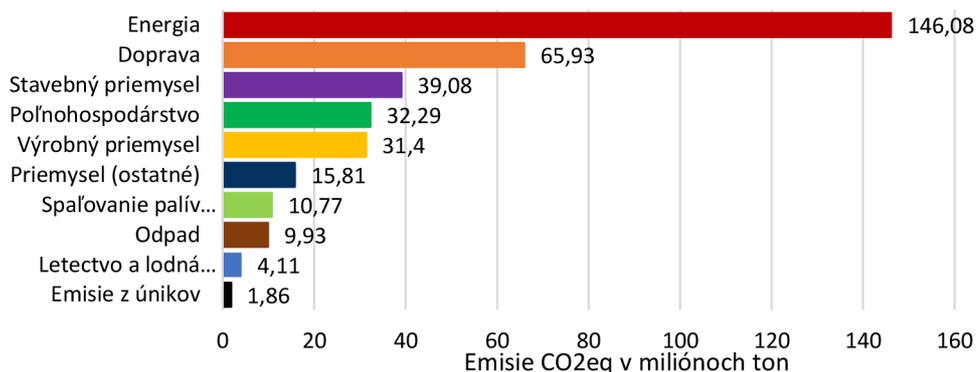
Emisie skleníkových plynov podľa typu dopravy



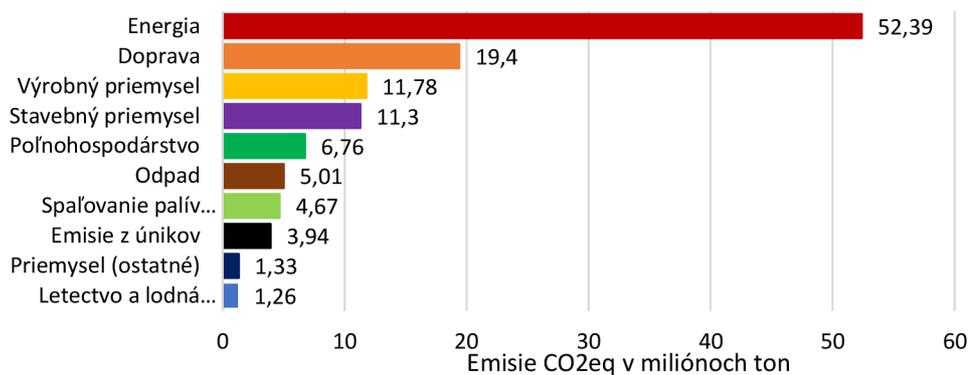
Obr. 2 - Emisie v doprave podľa sektorov v EÚ [4]

V porovnaní krajín V4 na Obr. 3 je najväčším tvorcom emisií v sektore dopravy Poľsko, ktoré vyprodukuje 65,93 miliónov ton CO₂eq, čo zodpovedá 18,45 % ich celkovej produkcií. Česká republika je na druhom mieste s produkciou 19,4 miliónov ton CO₂eq, ktoré predstavujú 16,46 %. V Maďarsku je sektor dopravy najväčším producentom emisií s 23,95 %, ktoré sa rovnajú 14,71 miliónom ton CO₂eq. Pre porovnanie Slovenská republika s 8,07 miliónmi ton CO₂eq rovnajúcimi sa 20,66 %, je na poslednom mieste z krajín V4. Avšak častokrát sa emisie v doprave uvádzajú len zo spaľovania palív hoci tieto zodpovedajú len za časť celkových emisií skleníkových plynov vyprodukovaných pri životnom cykle vozidla.

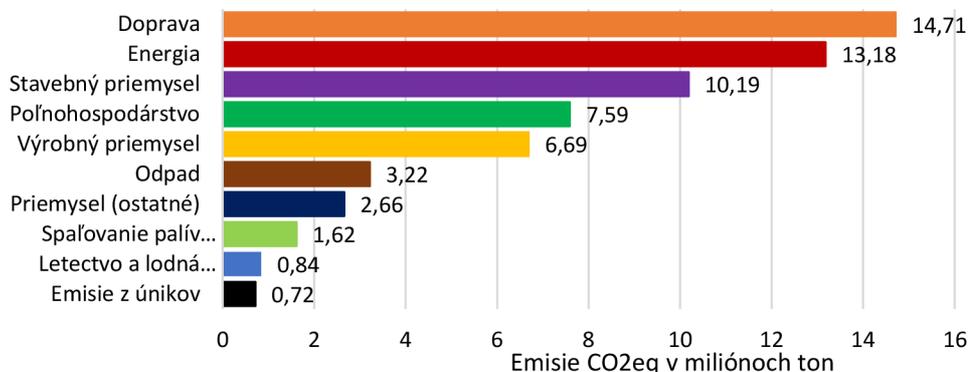
Emisie skleníkových plynov podľa sektora, Poľsko 2019



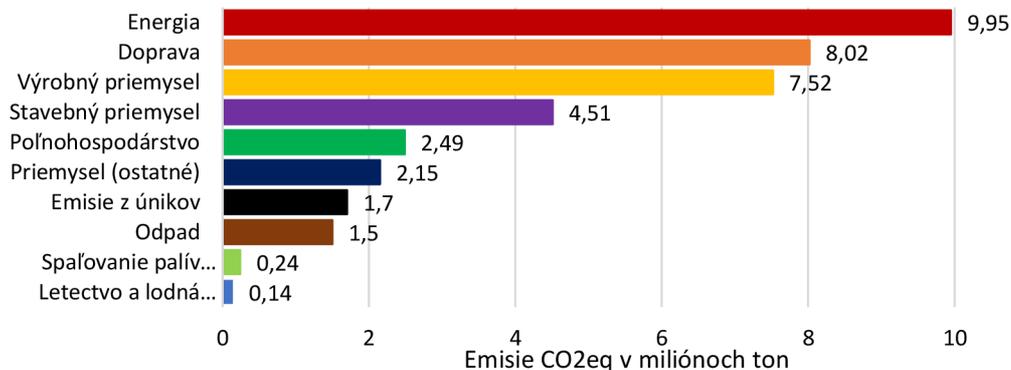
Emisie skleníkových plynov podľa sektora, Česko 2019



Emisie skleníkových plynov podľa sektora, Maďarsko 2019



Emisie skleníkových plynov podľa sektora, Slovensko 2019

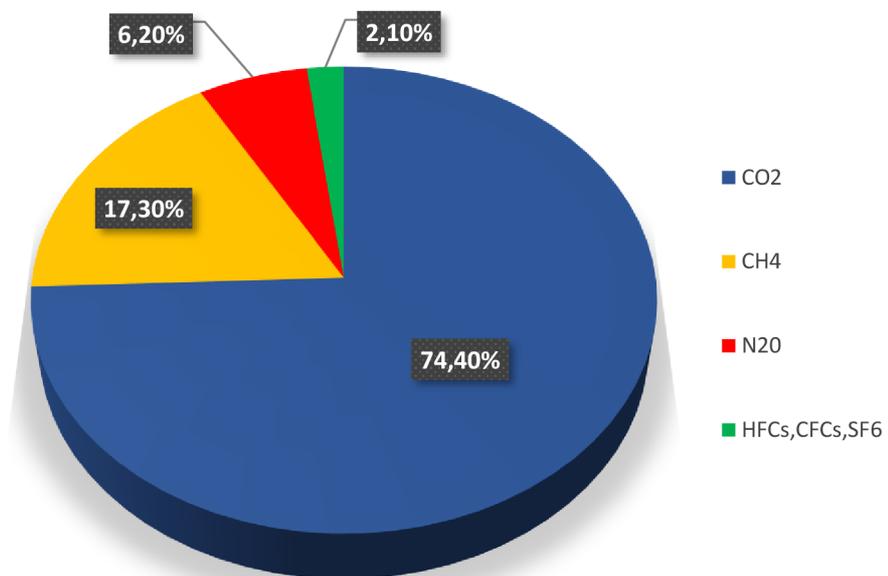


Obr. 3 - Porovnanie emisií skleníkových plynov podľa sektoru v krajinách V4 [5][6][7][8]

2. SKLENÍKOVÉ PLYNY A UHLÍKOVÁ STOPA

Skleníkové plyny (Greenhouse gases - GHG) ohrievajú Zem absorbovaním energie a znižovaním rýchlosti, ktorou táto energia uniká z atmosféry. Tieto plyny sa rozlišujú schopnosťou absorbovať energiu, a to má za následok rôzne časové intervaly, v ktorých vyžarujú absorbovanú energiu. Najviac zastúpenými skleníkovými plynmi sú oxid uhličitý CO_2 , metán CH_4 , oxid dusný N_2O , chlórfluorované uhľovodíky CFCs, fluórované uhľovodíky HFCs a hexafluorid sírový SF_6 . Percentuálne rozloženie emisií GHG plynov v atmosfére je zobrazené na Obr. 4.

Zloženie emisií skleníkových plynov

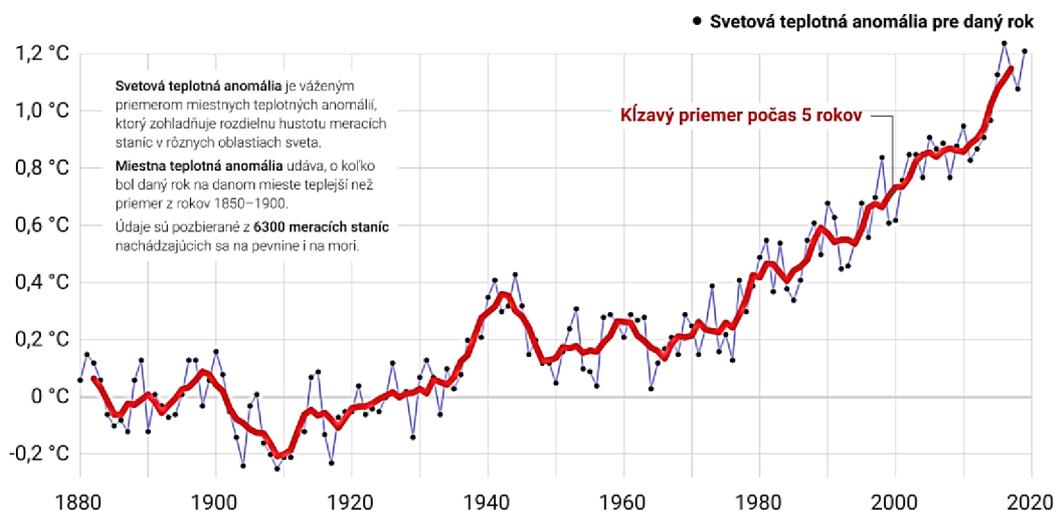


Obr. 4 - Rozdelenie emisií pri uhlíkovej stope [9]

Ľudská činnosť je jednou z hlavných príčin emisií skleníkových plynov. Práve skleníkové plyny majú najväčší vplyv na globálnu zmenu klímy. Tie preukázateľne zvyšujú teplotu Zeme. Skleníkové plyny sú emitované pri využívaní fosílnych palív a iných vedľajších produktov výroby. Tento jav sa nazýva skleníkovým efektom. Hlavnými účinkami zvýšenej koncentrácie týchto plynov sú najmä klimatické zmeny, akými sú zvyšovanie teploty, extrémne zrážky a otepľovanie oceánov. Ku klimatickým zmenám preukázateľne dochádza od začiatku priemyselnej revolúcie vplyvom zvyšovania koncentrácie skleníkových plynov vid' Obr. 5.

VÝVOJ SVETOVEJ TEPLOTNEJ ANOMÁLIE

Planéta je v súčasnosti o 1,2 °C teplejšia než v rokoch 1850 – 1900.



VERZIA 2021-02-28 LICENCIA CC BY 4.0
viac info na faktyoklime.sk/teplotna-anomalia

zdroj dát: NASA Goddard Institute for Space Studies

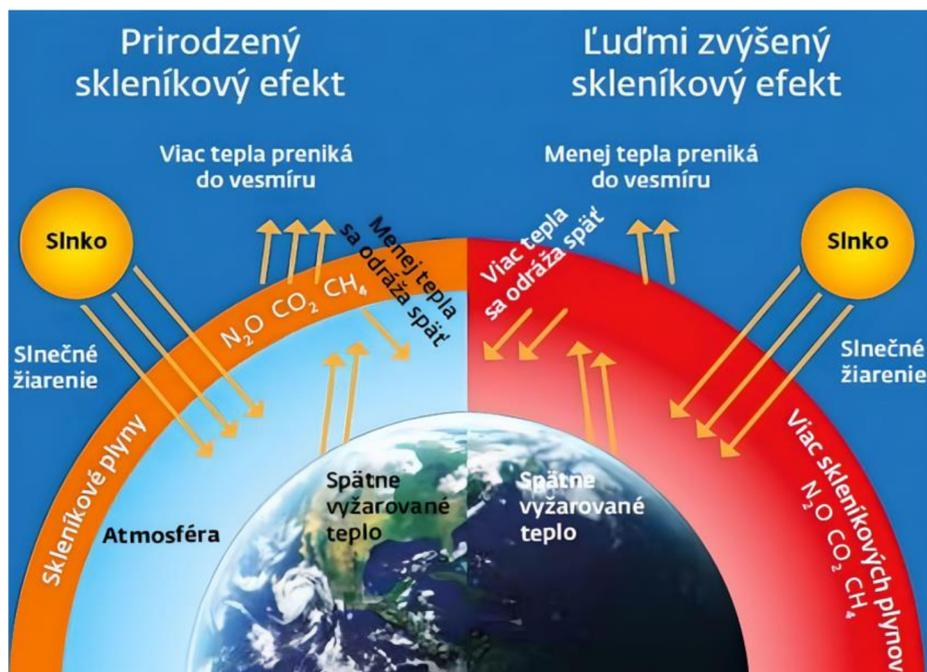
Obr. 5 - Vývoj svetovej teplotnej anomálie [10]

2.1 Skleníkový efekt

Globálne otepľovanie je nezvyčajne rýchly nárast priemernej povrchovej teploty Zeme predovšetkým v dôsledku skleníkového efektu. Skleníkový efekt sa delí na dva druhy prirodzený a neprirodzený.

2.1.1 Prirodzený skleníkový efekt

Je to proces, pri ktorom zhruba 30 % prichádzajúceho slnečného svetla sa odráža späť do vesmíru od jasných povrchov ako sú mraky a ľad. Zo zostávajúcich 70 % väčšinu pohltí pevnina a oceán, zvyšok pohltí atmosféra. Táto absorbovaná energia ohrieva našu planétu. Keď sa skaly, vzduch a moria ohrievajú, vyžarujú tepelné infračervené žiarenie. Z povrchu táto energia putuje do atmosféry, kde je veľká časť absorbovaná vodnými parami a skleníkovými plynmi s dlhou životnosťou ako je oxid uhličitý a metán. Energia, ktorá vyžaruje späť k Zemi, ohrieva spodnú atmosféru aj povrch, čím zvyšuje zahrievanie, ktoré získavajú priamym slnečným žiarením. Táto absorpcia a vyžarovanie tepla atmosférou je prirodzený skleníkový efekt, ktorý je prospešný pre život na Zemi. Ak by neexistoval skleníkový efekt, priemerná povrchová teplota Zeme by bola -18 °C namiesto 15 °C, ako máme dnes [11].



Obr. 6 - Grafické vyjadrenie skleníkového efektu [12]

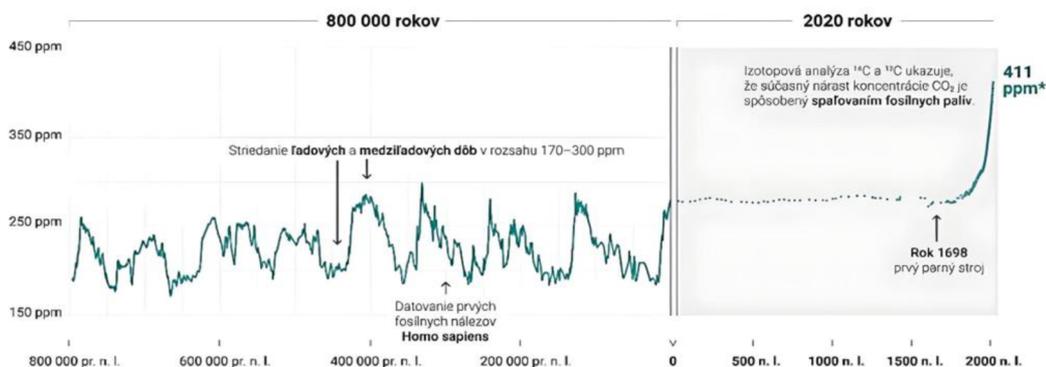
2.1.2 Neprírodný skleníkový efekt

Za posledných 250 rokov ľudstvo umelo prispelo k zvyšovaniu koncentrácie skleníkových plynov, ktoré sú teraz vyššie ako kedykoľvek za posledných 800 000 rokov vid' Obr. 7. Najväčším prispievateľom je spaľovanie fosílnych palív. Proces globálneho otepľovania nastáva, keď sa skleníkové plyny uvoľňujú do atmosféry predovšetkým CO₂, NO₂, metán, oxid dusný, fluórované uhľovodíky, fluórkarbóny a hexafluorid sírový [11].

VÝVOJ KONCENTRÁCIE CO₂ V ATMOSFÉRE

Súčasná koncentrácia CO₂ v atmosfére je vyššia ako hodnoty zaznamenané na Zemi za celú dobu existencie ľudstva.

ppm (parts per million) je jednotka koncentrácie.
 Koncentrácia 400 ppm CO₂ v atmosfére znamená, že v jednom milióne molekúl vzduchu je 400 molekúl CO₂.



* V máji 2020 dosiahla koncentrácia CO₂ historického maxima: 417 ppm.
 Hodnoty koncentrácie CO₂ pochádzajú z analýzy ľadovcových vrstiev EPICA v Antarktíde a z priamych meraní na Mauna Loa, Havaj.

VERZIA 2021-03-02 IHCNE A CC BY 4.0
 viac info na faktyoklime.sk/koncentracia-co2

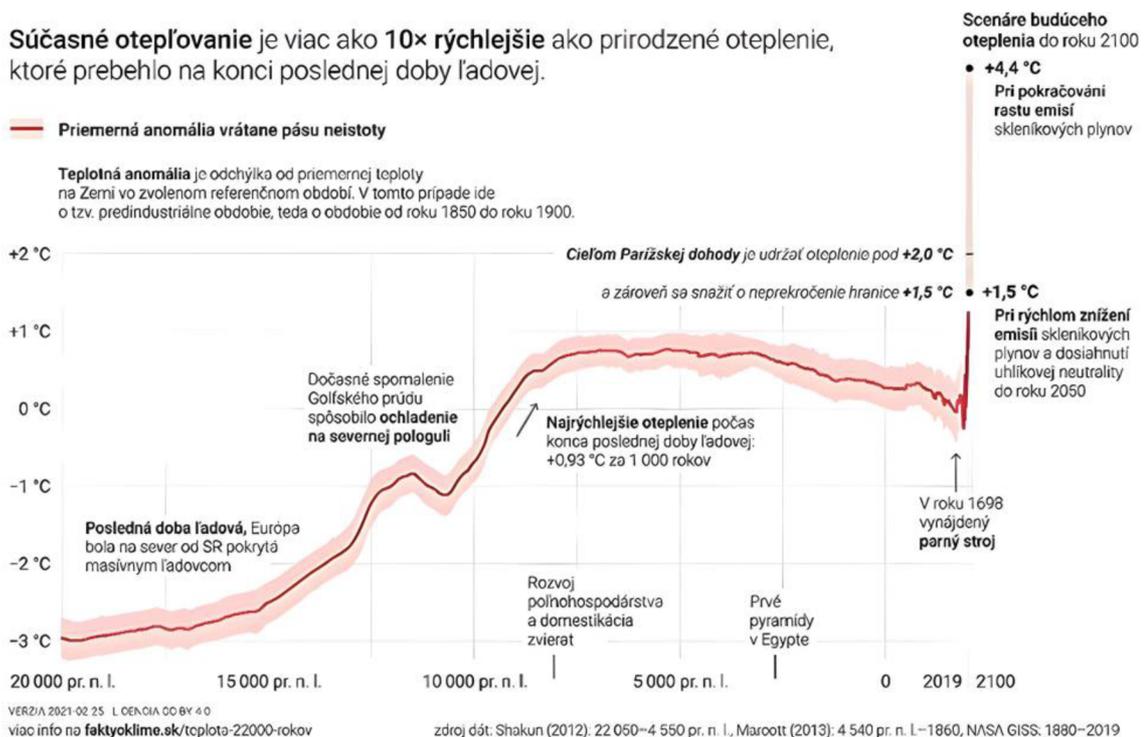
zdroj dát: NOAA – Národný úrad pre oceán a atmosféru Ministerstva obchodu Spojených štátov amerických

Obr. 7 - Vývoj koncentrácie oxidu uhličitého v atmosfére za 800 000 rokov [13]

V dôsledku veľkej závislosti ľudí od fosílnych palív, spotreby energie a neustáleho odlesňovania sa množstvo skleníkových plynov v atmosfére zvyšuje, čo je kontraproduktívne vzhľadom k cieľom zníženia uhlíkovej stopy. Pri nekontrolovanom trende hromadenia skleníkových plynov hrozí podľa ekologických scenárov zmena klímy, ktorá by mala drastické následky pre planétu, biodiverzitu a populáciu. Na ďalšie skúmanie príčin a účinkov globálneho otepľovania a predpovedanie budúceho otepľovania vedci vytvárajú klimatické modely a počítačové simulácie klimatického systému.

SVETOVÁ TEPLTNÁ ANOMÁLIA ZA 22 000 ROKOV

Súčasnú otepľovanie je viac ako 10× rýchlejšie ako prirodzené oteplenie, ktoré prebehlo na konci poslednej doby ľadovej.

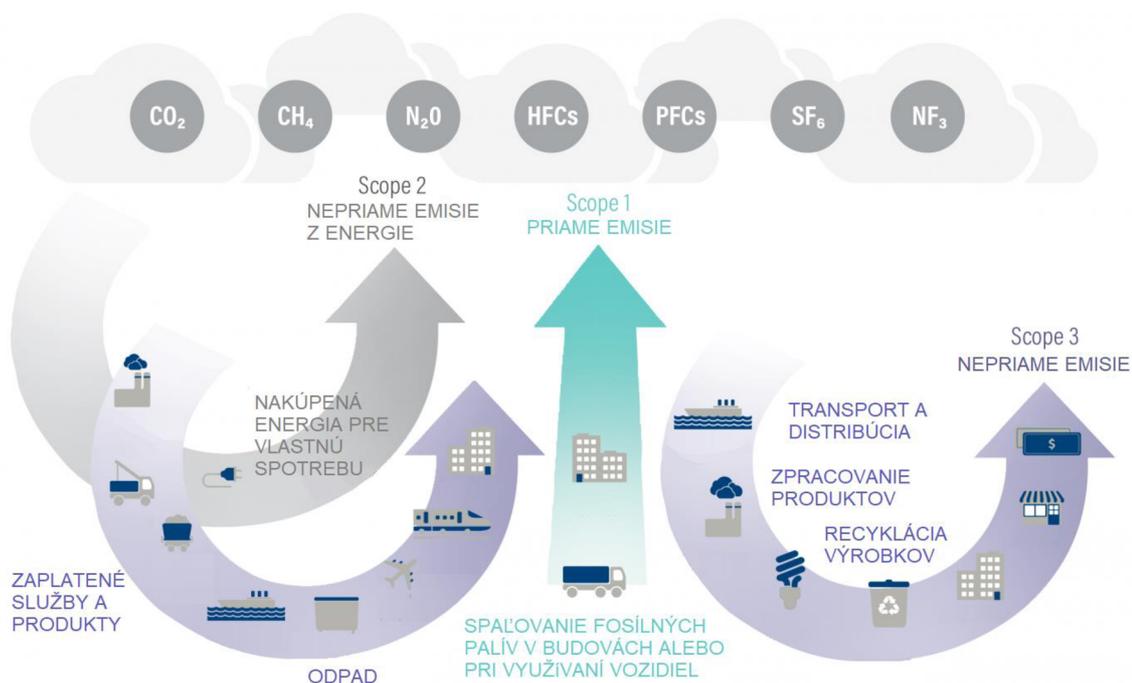


Obr. 8 - Vývoj a predpovede stúpania teploty [14]

Klimatické modely sú navrhnuté tak, aby simulovali reakcie a interakcie oceánov a atmosféry a zohľadňovali zmeny na zemskom povrchu, či už prírodné alebo spôsobené človekom. Splňajú základné fyzikálne zákony ako zachovanie energie, hmoty a hybnosti, ktoré zodpovedajú za desiatky faktorov ovplyvňujúce klímu Zeme. Modely predpovedajú, že keďže svet spotrebúva stále viac fosílnych palív, koncentrácie skleníkových plynov budú naďalej rásť a priemerná povrchová teplota Zeme bude stúpať spolu s nimi. Na základe niekoľko pravdepodobných emisných scenárov by sa priemerné povrchové teploty mohli do konca 21. storočia zvýšiť o 2 °C až 6 °C [11]. Tejto problematike sa venujú aj medzinárodné inštitúcie ako Európska Únia, ktorá vydáva normy zaoberajúce sa znížením emisií a podporou alternatívnych zdrojov elektrickej energie. Existuje však niekoľko spôsobov ako znížiť uhlíkovú stopu. Jedným z navrhovaných spôsobov je aj používať energeticky účinnejšie domáce spotrebiče alebo zvýšeným dohľadom na ekologickosť pri výrobe vozidiel.

2.2 Uhlíková stopa

Uhlíková stopa je celkové množstvo emisií skleníkových plynov (GHG) spôsobené jednotlivcom, udalosťou, organizáciou, službou, miestom alebo produktom, vyjadrené ako ekvivalent oxidu uhličitého CO₂eq väčšinou za určité obdobie [15]. Nepriamym ukazovateľom spotreby energie je uhlíková stopa, ktorá súvisí s medzinárodnými (Kjótský protokol) a od nich odvodenými národnými a firemnými záväzkami znižovať emisie skleníkových plynov (GHG). Zníženie uhlíkovej stopy podniku prispieva k ochrane klímy a obmedzení záťaže planéty emisiami prispievajúcimi ku skleníkovému efektu. Uhlíkovú stopu firmy využívajú ako jeden z kľúčových ukazovateľov spoločenskej zodpovednosti a environmentálnej udržateľnosti. Pre subjekty zapojené do európskeho systému obchodovania s emisnými povolenkami je vykazovanie emisií GHG povinné, pre ostatné firmy dobrovoľné. Podniky najčastejšie stanovujú uhlíkovú stopu v súlade s postupom GHG protokolu. Ten emisie rozdeľuje do 3 kategórií podľa pôvodu. Patria sem tie aktivity podniku (priame emisie), ktoré spadajú pod daný podnik a sú ním kontrolované (Obr. 9 Scope 1), zároveň pri nich dochádza k uvoľňovaniu emisií do ovzdušia. Zahŕňajú napríklad emisie z kotlov v podniku, automobilov vlastnených podnikom či emisie z priemyselných procesov. Nepriame emisie z energie sú emisie spojené so spotrebou nakupovanej energie (elektriny, tepla, pary či chladenia), ktoré nevznikajú priamo v podniku, ale sú dôsledkom aktivít podniku (Obr. 9 Scope 2). Ide o nepriame emisie zo zdrojov, ktoré podnik priamo nekontroluje. Emisie, ktoré sú následkom aktivít podniku, a ktoré vznikajú zo zdrojov mimo kontroly či vlastníctva podniku, sú označované ako Scope 3 (Obr. 9 Scope 3). Príkladom sú služobné cesty dopravnými prostriedkami, ktoré podnik priamo nevlastní ani nekontroluje, ukladanie odpadov na skládku či nákup materiálu a palív [16].



Obr. 9 - Rozdelenie emisií pri uhlíkovej stope [16]

2.3 Potenciál globálneho otepľovania

Skleníkové plyny sa líšia aj v dobe ich pobytu v atmosfére. Každý plyn má špecifický potenciál globálneho otepľovania (Global warming potential - GWP). Tento potenciál umožňuje porovnávať koľko tepla zachytia ostatné skleníkové plyny oproti CO₂ v určitom časovom horizonte. Potenciál globálneho otepľovania bol vyvinutý s cieľom umožniť porovnanie vplyvov rôznych plynov na globálne otepľovanie. Konkrétne ide o mieru toho, koľko energie pohltia emisie 1 tony plynu za dané časové obdobie v porovnaní s emisiami 1 tony CO₂. Čím väčší je GWP, tým viac daný plyn ohrieva Zem v porovnaní s CO₂ v danom časovom období. Obdobie zvyčajne používané pre GWP je 100 rokov avšak používajú sa taktiež 20 či 500 ročné obdobia. GWP poskytujú spoločnú mernú jednotku, ktorá umožňuje analytikom sčítať odhady emisií rôznych plynov a umožňuje porovnávať príležitosti na zníženie emisií medzi sektormi a plynmi. CO₂ má podľa definície GWP rovné 1 bez ohľadu na použité časové obdobie, pretože ide o plyn, ktorý sa používa ako referenčný. CO₂ zostáva v klimatickom systéme stovky rokov, emisie CO₂ spôsobujú zvýšenie koncentrácie v atmosfére, ktoré bude trvať tisíce rokov [17].

Pre vyjadrenie uhlíkovej stopy, teda sumy celkových emisií skleníkových plynov pomocou GWP je používaný ekvivalent oxidu uhličitého CO₂eq. Je to metrická miera, pri ktorej sa emisie rôznych plynov prepočítavajú pomocou ich GWP a množstva na ekvivalentné množstvo CO₂. GWP dáta základných GHG plynov sú vyjadrené v Tab. 1 zobrazenej nižšie. V tabuľke sú uvedené najviac zastúpené plyny. Porovnanie životnosti jednotlivých plynov v atmosfére je dôležité z dôvodu ako veľmi ovplyvnia GWP podľa časového obdobia. Životnosť plynov je preto potrebná na správne vypočítanie GWP. Pri plynoch s krátkou životnosťou ako je napríklad HFC-134a, ktorého životnosť je 14 rokov sa optimálne využíva GWP 20. Je to z dôvodu toho, že pri použití GWP 500 by bol tento plyn väčšinu obdobia vyčerpaný, čo by malo za následok ovplyvnenie výsledkov. V horizonte 20 rokov má tento plyn však 3830x vyššie GWP ako CO₂. To znamená, že 1 tona HFC-134a absorbuje teda 3830x viac energie ako rovnaké množstvo CO₂. V tejto práci bude využívaný GWP 100 je to z dôvodu, že najviac zastúpené plyny spadajú životnosťou do časového obdobia 100 rokov až na hexafluorid sírový SF₆, ktorého životnosť je 3200 rokov. Pri výpočtoch to ale nebude moc viditeľné, pretože sa ho v atmosfére nachádza len 11,01 ppt (part-per-trilion). Na porovnanie CO₂ je zastúpené 415,95 ppm (parts-per-million)[18]. Ich rozdiel v koncentrácii je takmer 38000000x väčší pre CO₂.

Tab. 1 - Hodnoty GWP pre základné GHG [19][21]

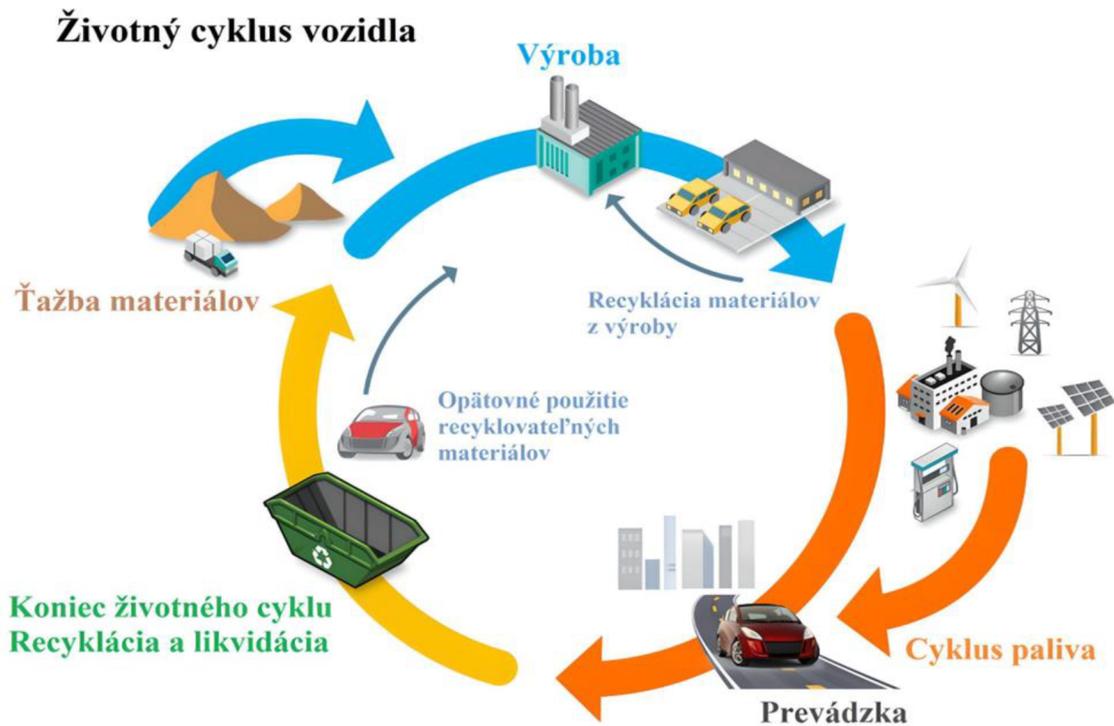
Typ plynu	Chemický vzorec	Životnosť (roky)	GWP (podľa časového obdobia)		
			20 rokov	100 rokov	500 rokov
Oxid uhličitý	CO ₂	Premenná	1	1	1
Metán	CH ₄	12 ± 3	56	21	6,5
Oxid dusný	N ₂ O	120	280	310	170
Hexafluorid sírový	SF ₆	3200	16300	23900	34900
Fluórované uhľovodíky CFC-12*	CCl ₂ F ₂	100	11000	10900	5200
Chlórfluórované uhľovodíky HFC-134a*	CH ₂ CF ₃	14	3830	1430	435

*Výber fluórovaného uhľovodíku CFC-12 a chlórfluórovaného uhľovodíku HFC-134a z týchto skupín bol kvôli ich množstevnému výskytu v atmosfére a využiti v automobilovom priemysle ako chladiacich kvapalín používaných v klimatizačných systémoch [20].

3. ŽIVOTNÝ CYKLUS VOZIDLA

Cieľom tejto práce je analyzovať celkové životné cykly športových úžitkových vozidiel SUV s rôznymi pohonnými jednotkami. Či už sa jedná o spaľovacie, elektrické alebo hybridné vozidlá a určiť najvhodnejšie emisné faktory. Správa o registrácii vozidiel uverejnená vo februári roka 2022 uvádza, že vozidlá SUV predstavovali až 49,7 % podiel na automobilovom trhu v Európe za mesiac január 2022 [22]. V jednotlivých krajinách V4, SUV modely dokonca ovládli celoročný trhový podiel. Slovenská republika má najvyšší trhový podiel SUV modelov, a to 50,11 % zo všetkých registrovaných vozidiel [23]. Poľsko je z pohľadu trhového podielu na druhom mieste so 47 % [24]. Ďalšou krajinou je Maďarsko s podielom 45,2 % [25]. V Česku sú SUV modely taktiež najobľúbenejšie medzi zákazníkmi, a to s trhovým ročným podielom 43 % [26]. Typ vozidla SUV bol vybraný práve z dôvodu jeho rastúcej popularity medzi európskymi zákazníkmi a taktiež z vysokého počtu modelov tohto typu uvádzaných na trh výrobcami.

Prac venujúcich sa problematike ekologického dopadu vozidiel je mnoho. Často však s veľmi rozličnými výsledkami, ktoré nastávajú pri zameraní sa len na určité emisie pri automobiloch. Emisie pri spaľovaní paliva priťahujú takmer všetku pozornosť. Ak sa bude pokračovať iba v kurze regulácie výfukových plynov, veľká časť emisií počas životnosti vozidla zostane úplne neregulovaná. Preto je pre reálne porovnanie emisií automobilov dôležité pozorovať celý životný cyklus. Životný cyklus vozidla z anglického Life Cycle Assessment (LCA) je metodika, ktorá zohľadňuje vplyv automobilu na životné prostredie počas celého „života“. Vďaka LCA je možné popísať ako vozidlo využíva energiu a vytvára emisie ešte predtým ako sa dostane do prevádzky. LCA je možné rozdeliť na 3 fázy: výroba vozidla, prevádzka a likvidácia. Výroba začína od bodu kedy sa ťažia a spracovávajú surové materiály. Už pri tomto kroku sa vytvárajú emisie, ktoré je potrebné započítať. Fáza výroby pokračuje až po skonštruovanie vozidla. Vo fáze prevádzky sa začína od ťažby alebo získania energetických zdrojov, pokračuje cez premenu na palivo a končí spotrebovaním paliva pri používaní automobilu v premávke. Do fázy prevádzky taktiež spadá aj servis spojený s udržiavaním automobilu. Finálnou fázou životného cyklu je likvidácia a recyklácia vozidla, kedy je auto odvezené do šrotu, kde je všetok recyklovateľný materiál rozobraný a zobieraný na ďalšie použitie. Zvyšné nerecyklovateľné komponenty sú zlikvidované [27][28].



Obr. 10 - Priebeh životného cyklu vozidla [29]

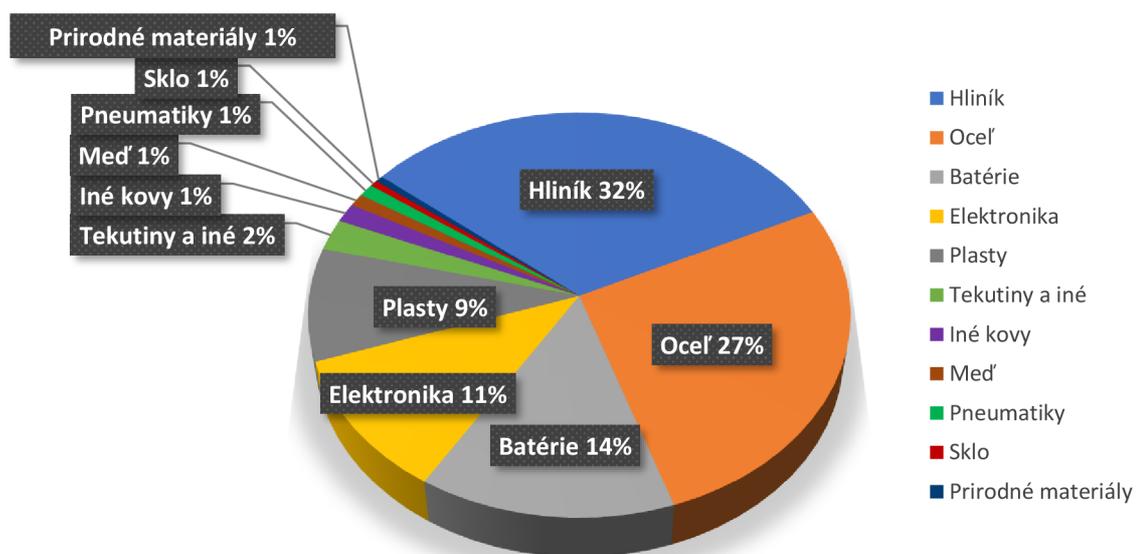
3.1 Fáza výroby

Použité materiály a ich spracovanie zohrávajú v celom životnom cykle zásadnú úlohu. Výrobné emisie pri spracovaní a ťažbe materiálov využívaných v automobilovom priemysle môžu úplne prevážiť znižovanie emisií pri znižovaní váhy vozidiel, čo je trendom dnešných výrobcov. Bez komplexného hodnotenia životného cyklu sa nedokáže určiť, ktoré zmeny sú najvýhodnejšie pre zlepšenie celkovej uhlíkovej stopy vozidla. Ako sa pohonné jednotky vozidiel stávajú čoraz efektívnejšími, materiály a emisie z výroby vozidiel budú zohrávať čoraz väčšiu časť z LCA. Pri dnešných tradičných spaľovacích motoroch tvorí ťažba a spracovanie materiálov spolu s výrobou automobilu 15-25 % emisií vozidla počas celého životného cyklu vozidla. S pokročilými pohonnými jednotkami, ako sú napríklad hybridné pohony sa toto číslo zvyšuje na 50 % emisií z výroby počas životného cyklu. V budúcnosti, keď bude elektrina pochádzať iba z obnoviteľných zdrojov energie ako je vietor alebo slnečná energia, emisie počas životného cyklu sa úplne zmenia. Pravdepodobne až 85 % z celkových emisií bude pochádzať z výroby vozidiel [27].

Tradične sa používala oceľ alebo rôzne kovové zliatiny na všetky nosné časti vozidla. Oceľ má vysokú pevnosť a spoľahlivosť, ale je náchylná na koróziu a diely z nej vyrobené majú pomerne veľkú hmotnosť. V dnešnej dobe sa u bežných automobilov používa hliník na odľahčenie vozidiel. Vďaka najnovším pokrokom vedy sa používa prepletanie syntetických vlákien, ktoré vytvára pevný a vystužený rám, kde sa zaťaženie rozloží po celom povrchu. Niektorí výrobcovia používajú taktiež komponenty z uhlíkových vlákien,

ktoré sa vyrovnajú v pevnosti aj oceli pričom vážia 3x menej. Problémom je vyššia cena, preto modely s takýmito prvkami spadajú do prémiovej kategórie. Pri výrobe automobilov sa teda kladie dôraz na zmenšenie hmotnosti, zároveň zo zachovaním základných charakteristík vozidla. Pri využití menej výkonných motorov, ktoré spotrebujú menej paliva sa uvoľní do ovzdušia menšie množstvo škodlivých látok. Pri znižovaní hmotnosti sa taktiež znižuje trecia sila, čo je výhodné pri zrýchlení a rozbehu, kde je potrebná menšia energia. Nižšou hmotnosťou sa tiež zvyšuje životnosť závesných častí v automobiloch a znižuje sa množstvo porúch. Tento trend má za následok využívanie nových, ľahších a odolnejších materiálov. Použitie materiálov s nižšou hustotou taktiež vedie k zachovaniu prírodných zdrojov, pretože sa vyžaduje menej materiálu na výrobu daných komponentov [30]. Materiály používané v automobilovom priemysle musia pred schválením a zavedením do výroby spĺňať niekoľko kritérií. Niektoré z kritérií sú výsledkom regulácií a legislatívy s ohľadom na životné prostredie a bezpečnosť a niektoré sú požiadavkami zákazníkov. Všetky materiály, ako sú plasty a polymérne kompozity, ale aj oceľ, hliník a horčík reagujú na meniace sa potreby automobilového priemyslu [31]. Materiály ako oceľ, plasty, hliník, guma, sklo, horčík, titán, meď, zinok a ďalšie materiály kam patria tkaniny, laky, farby, elektrická kabeláž, obkladové materiály sa musia najprv spracovať pred využitím v samotnom vozidle [30]. Ich percentuálny pomer v priemernom automobile je možné vidieť na Obr. 11. Tieto hodnoty boli vytvorené z priemeru použitia materiálov v spaľovacom a elektrickom vozidle. Môžu sa líšiť podľa typu hnacej jednotky v automobile alebo aj výbavou vozidla. Taktiež použité materiály vo vozidlách súvisia aj s výrobcom. Priemer hodnôt bol uvažovaný na základe zverejnených dát značky Volvo. Tento výrobca je považovaný za prémiovú/vyššiu triedu. Najväčšie rozdiely oproti iným výrobcam môžu byť v pomere využitého hliníka a oceli. Jednotlivé materiály sú rozoberané v podkapitolách nižšie.

Priemerné zloženie materiálov vo vozidlách



Obr. 11 - Priemerné zloženie materiálov vo vozidlách [32]

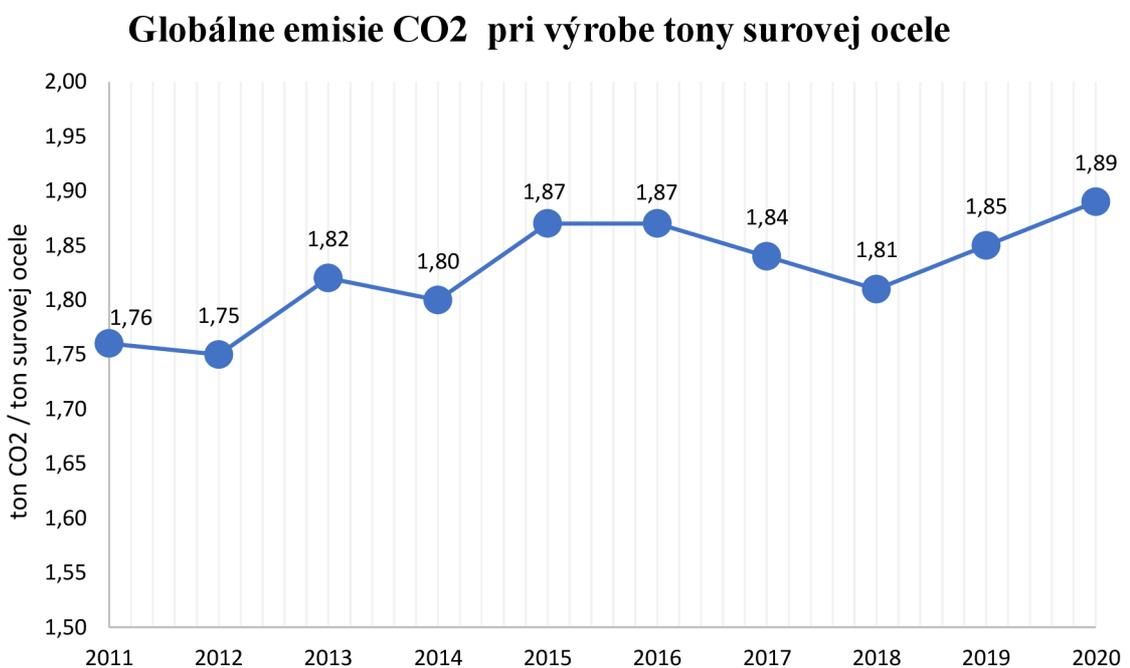
3.1.1 Oceľ

V automobilovom priemysle sa oceľ používa najmä na vytvorenie podvozku a karosérie, ktorá tvorí kostru vozidla. V minulosti sa z ocele a iných kovov vyrábali aj vnútorné časti karosérie ako aj dvere, nárazníky, prahy atď. Nosníky dverí, strechy a dokonca aj panely karosérie vytvorené počas výroby automobilov sú na väčšine dnešných áut ešte vyrobené z ocele. Oceľ sa tiež používa v rôznych častiach na umiestnenie motora alebo iných komponentov [33].

Oceľ je pomerne ekologicky náročný materiál na výrobu. Výroba ocele významným spôsobom prispieva k emisiám skleníkových plynov do atmosféry, čo je dané technológiou výroby ocele a vstupnými surovinami. Jej výroba začína vyťažением železnej rudy a prepravou do hutí. Na samom začiatku výroby ocele je teda surové železo, ktoré sa vyrába vo vysokej peci z vyťaženej železnej rudy za pomoci koksu, vápenca a ďalších prísad. Priame emisie vznikajú už pri výrobe koksu, ktorý slúži ako palivo vo vysokých peciach. Na výrobu koksu sa používa čierne uhlie a vzniká z neho za teplôt až nad 1000 °C. Na zahriatie na takú teplotu sa používajú buď vysokopecný plyn alebo koksárenský plyn. Koks sa v hutníckom priemysle používa ako palivo pre jeho vysokú výhrevnosť. Ďalšie priame emisie vznikajú pri aglomerácii surového železa, kedy sa uvoľňuje oxid uhličitý z paliva, čo býva väčšinou práve koks. Aglomerácia je proces, kedy sa spekajú drobné kusy rudy do väčších kusov. Zo surového železa sa potom v oblúkových peciach znižovaním obsahu uhlíka a nežiaducich prvkov vyrába oceľ. Z výroby surového železa pochádzajú priame emisie zo spaľovania plynov. Spaľovaním plynov sa ohrieva vzduch prúdiaci do vysokých pecí. Vo vysokých peciach je na výrobu železa použitý aj koks a vápenec, z ktorých sa uvoľňuje oxid uhoľnatý. Tento plyn však voľne neuniká, ale ešte sa používa na výrobu energie a pri spaľovaní z neho vychádza oxid uhličitý. Zo surového železa sa v oceliarni vyrába oceľ, ktorá sa potom spracuje do polotovarov a následne do koncových výrobkov. Výroba ocele taktiež produkuje priame emisie, ich zdrojom je oxidácia uhlíkových elektród a oceľového šrotu, kedy sa uvoľňuje oxid uhličitý. Zo skleníkových emisií celého odvetvia pripadá 88 % na výrobu koksu, aglomerátu, surovej ocele a ocele z elektrických oblúkových pecí. Zvyšných 12 % emisií vzniká pri sekundárnom spracovaní ocele, ako je napríklad valcovanie za tepla a za studena [34][35].

Oceliarsky priemysel každoročne recykluje viac ako 14 miliónov ton ocele z vozidiel po dobe životnosti. To zodpovedá takmer 13,5 miliónom automobilov. Automobily sú najviac recyklovaným spotrebným výrobkom na svete. V Európe je miera recyklácie ocele z vozidiel po konci životnosti 98 %. Je to najmä vďaka magnetickým vlastnostiam ocele, vďaka ktorým sa veľmi ľahko zbiera pomocou jednoduchého magnetu. Zo zvyšných dvoch percent sa približne polovica stratí ako jemný prach v procese drvenia. Zvyšné jedno percento oxiduje pri tavení ocele v elektrickej oblúkovej peci (EAF) alebo vo vysokej kyslíkovej peci (BOF). Oceľ používaná v karosériách automobilov sa vyrába z približne 25 % recyklovanej ocele. Mnohé vnútorné oceľové a

železné diely sa vyrábajú s použitím ešte vyššieho percenta recyklovanej ocele. Všetky výrobky z ocele obsahujú recyklovanú oceľ, pretože oceľový šrot je nevyhnutnou zložkou pri výrobe novej ocele. Oceľový šrot sa získava nielen z automobilov, ale aj z oceľových plechoviek, spotrebičov a stavebného materiálu [36][37]. Recyklácia ocele šetrí energiu a prírodné zdroje. Recykláciou jednej tony ocele sa ušetrí 1,5 tCO₂, 1 400 kilogramov železnej rudy, 740 kilogramov uhlia a 120 kilogramov vápenca[38]. Aj pri týchto skutočnostiach každá tona ocele vyrobenej v roku 2020 vyprodukovala v priemere 1,89 tCO₂ vid'. Obr. 12. Celkovo sa tak v roku 2020 výroba ocele podieľala na 8% celosvetových emisií [39]. Nárast emisií v posledných rokoch možno vysvetliť zvýšením podielu výroby ocele v BOF peciach, pri ktorých sa ako palivo používa uhlie. Pri spočítaní všetkých GHG uvoľnených pri výrobe 1 kg ocele sa emisie dostávajú na hodnoty 2,1-3 kqCO₂eq. Rozsah tejto hodnoty je spôsobený rozdielnymi energetickými mixami jednotlivých krajín [40].

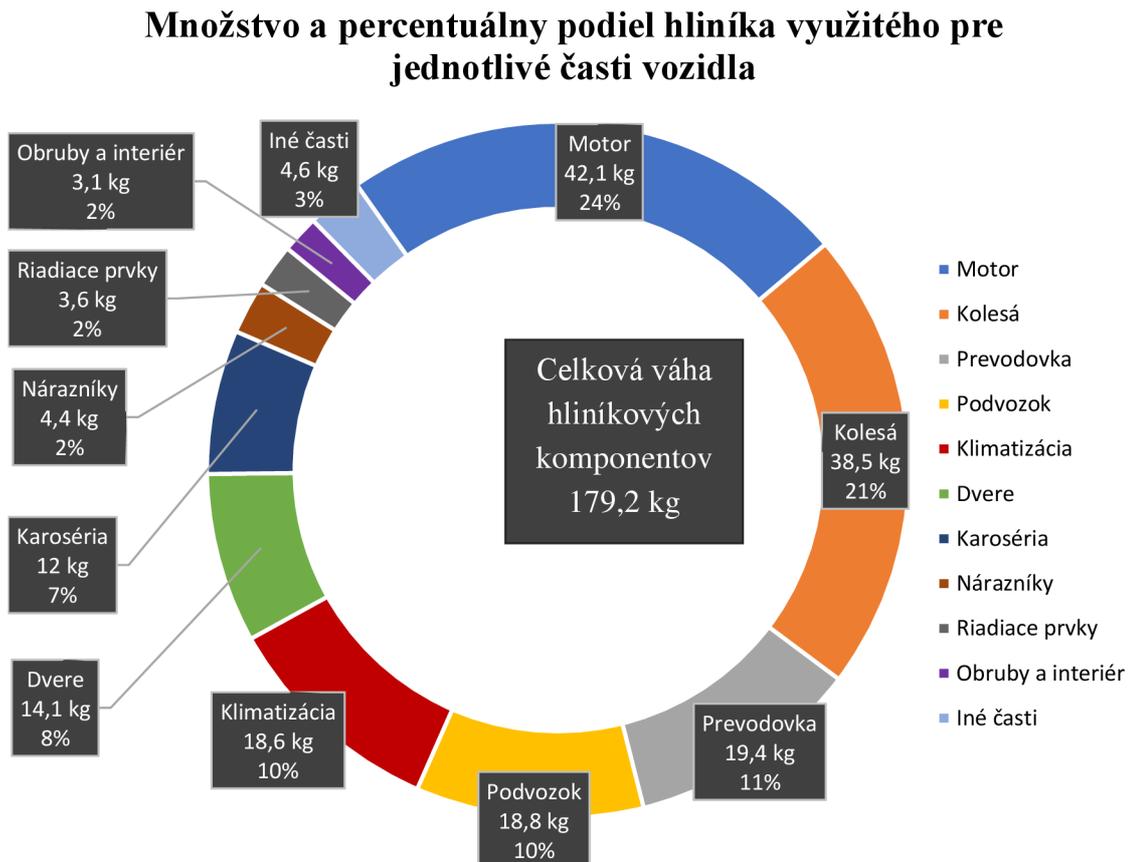


Obr. 12 - Množstvo ton CO₂ emisií vyprodukovaných pri výrobe tony ocele[39]

Na moderných autách väčšina hmotnosti až 64 % pochádzala z ocele. Napríklad v roku 2007 obsahovalo osobné vozidlo 1090 kg ocele a priemerné SUV používalo takmer 1360 kg [33]. Pre porovnanie najnovšie modely od výrobcu Volvo obsahujú oceľ v rozmedzí od 19-35 %, čo zodpovedá len 414,2-591,5 kg, tieto hodnoty závisia od typu vozidla [32]. Z týchto údajov je viditeľné nahrádzanie oceli inými materiálmi ako je napríklad hliník.

3.1.2 Hliník a jeho zliatiny

Druhým najvyužívanejším kovom v automobilovom priemysle je hliník. Priemerné množstvo hliníka využitého pri výrobe pre všetky osobné automobily bolo 179,2 kg na jedno vozidlo. Množstvo hliníka sa líši aj v type pohonnej jednotky, automobily so spaľovacími motormi obsahujú v priemere 172,1 kg, čo je podpriemer. Naopak elektrické a plug-in-hybridné automobily sú vysoko nad priemerom, 320,8 kg hliníka pre elektrické a 360,5 kg pre hybridné automobily. Ak sú vybrané iba segmenty vozidiel kam spadajú SUV, tak priemer pre jedno vozidlo narastie na takmer 313 kg. Existujú prognózy, ktoré tvrdia, že do roka 2025 sa podiel komponentov z hliníkových zliatin v automobiloch zvýši v priemere o ďalších 19,6 kg, najmä na úkor zníženia podielu komponentov vyrobených z ocele a liatiny [41]. Hliník a jeho zliatiny sa používajú na výrobu rámov karosérií, dverí, krytov spojok, pedálov, prevodovkových skriň, komponentov chladiaceho systému, skriniek čerpadiel, komponentov zapalovacieho systému, rámov motorov, vložiek a hláv valcov, držiakov motorov, diskov kolies a mnoho ďalších komponentov [42]. Množstvo jednotlivých dielov, v ktorých sa využíva hliník je viditeľné nižšie na Obr. 13.



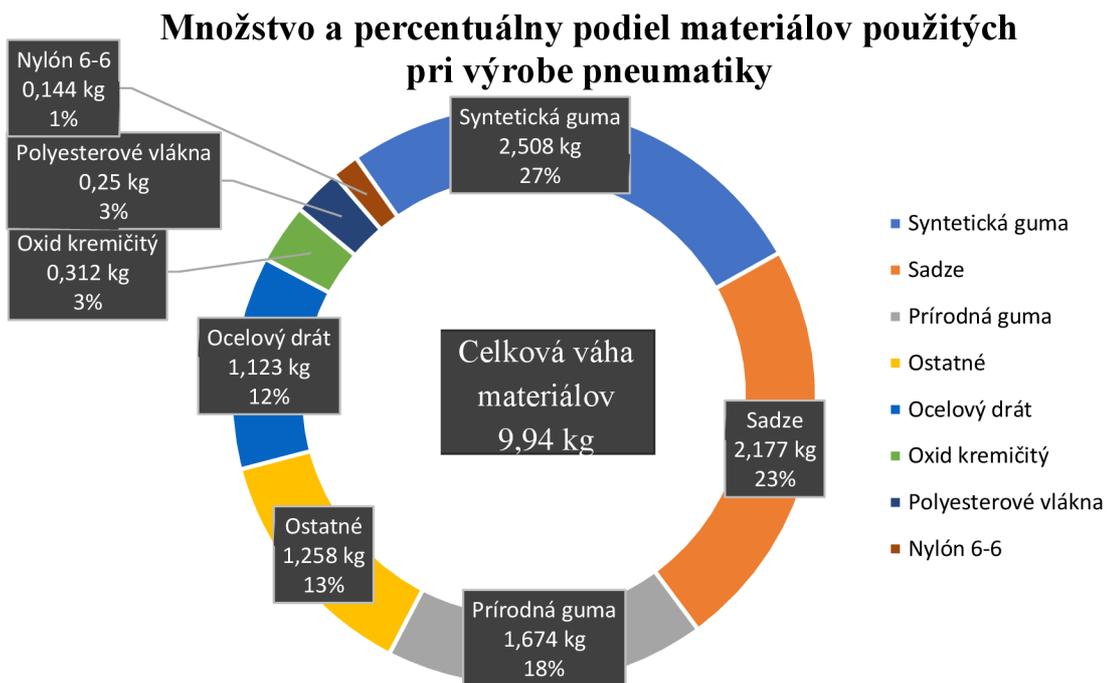
Obr. 13 - Hodnoty využitia hliníka pri výrobe automobilu podľa sektoru [41]

Podiel hliníkových zliatin medzi všetkými materiálmi používanými v automobilových komponentov sa neustále zvyšuje, čo má priaznivý účinok spočívajúci v znížení celkovej hmotnosti vozidla automobilu. To ovplyvňuje zvýšenie rýchlosti a akcelerácie, zníženie spotreby paliva a emisií CO₂. Taktiež materiál takmer nepodlieha korózii, čo je pozitívna vlastnosť. Vďaka vynikajúcej ťažnosti účinne tlmí nárazy v prípade nehody. Tá istá schopnosť vedie ku deformáciám hliníkových častí karosérie aj vtedy, keď nie sú veľmi vážne nárazy [42].

V súčasnosti je celosvetový priemer emisií CO₂ pre čistý aj recyklovaný hliník 11,5 tCO₂ na tonu hliníka[43]. Pri spracovaní 1 tony hliník je teda vytvorených 6-násobne viac emisií CO₂ oproti oceli. Prevažným producentom hliníka je Čína s produkciou na úrovni 60% celkového množstva. Priemerné emisie výroby hliníka v Číne sú trojnásobné oproti EÚ. V Európe sa pri spracovaní jednej tony hliníka vyprodukuje priemerne 5 ton emisií CO₂ [44]. Celkových emisie z 1 kg hliníka vyrobeného v EÚ zodpovedajú 6,7 kqCO₂eq. Ak sa spriemeruje vyrábaný a dovážaný hliník v Európe emisie sa rovnajú až 8,6 kqCO₂eq [45].

3.1.3 Pneumatiky

Emisie CO₂eq zo životného cyklu pneumatík sa stávajú čoraz vážnejším environmentálnym problémom. Je to spôsobené rýchlym rastom výroby pneumatík, ktorý sa prispôbuje automobilovému priemyslu. Výrobcovia sa snažia o zníženie environmentálnej stopy pneumatík počas celého životného cyklu. Pri výrobe je možné ovplyvniť spotrebu energie a využitie obnoviteľných zdrojov alebo materiálové zloženie. Čínsky výrobca Shandong Haohua Tire používa zloženie ako je vidieť na Obr. 14.



Obr. 14 - Materiálové zloženie pneumatiky pri výrobe [46]

Výsledky ukazujú, že celková uhlíková stopa životného cyklu, teda aj energie spotrebované pri výrobe, prevádzke a recyklácii pneumatiky je 146 kgCO₂eq. Uhlíková stopa pri prevádzke bola najväčším zdrojom emisií a zodpovedala za 105 kgCO₂eq, čo sa rovná 72,08 %. Získanie a spracovanie materiálov sa rovná 20,19 % v prepočte 29,5 kg CO₂eq. Výroba je zodpovedná len za 12,19 kg (8,35 %) a recyklácia znižuje celkové emisie o -0,68 %. V Tab. 2 je zloženie z emisií skleníkových plynov CO₂, CH₄, N₂O a CO [46]. Z dát európskeho výrobcu Nokian boli emisie zo spracovania a výroby vypočítané na 29,52 kgCO₂eq [47].

Tab. 2 - Zloženie emisií v životnom cykle pneumatiky [46]

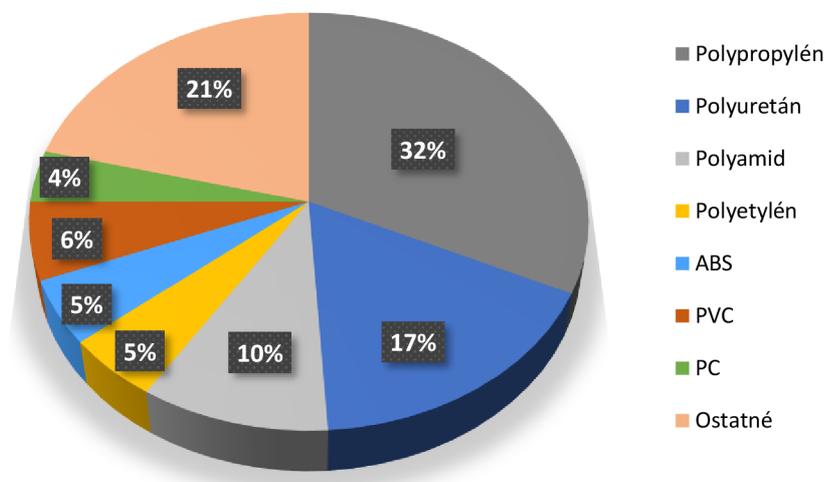
Plyn	Obsah [%]
CO ₂ – oxid uhličitý	97,72
CH ₄ – metán	1,75
N ₂ O – oxid dusný	0,35
CO – oxid uhoľnatý	0,18

Štúdia, ktorá sa zaoberala využívaním protektorovaných pneumatík ukázala, že výroba 17,5-palcovej novej pneumatiky produkuje 86,9 kgCO₂ v porovnaní so 60,5 kgCO₂ pri ekvivalentnej protektorovanej pneumatike, čo predstavuje úsporu 26,4 kg. To sa rovná zníženiu emisií o 30 %. Protektorovanie je jedným z najekologickejších spôsobov pri recyklácii pneumatík. Ukázalo sa, že uhlík obsiahnutý v materiáloch je najväčšou zložkou pre nové pneumatiky aj protektorované pneumatiky, ktoré predstavujú viac ako 50 % celkového vplyvu. Uhlík je zodpovedný za 49 kgCO₂ v nových pneumatikách, v porovnaní s 31 kgCO₂ v protektorovaných pneumatikách. Druhý najväčší vplyv sa pripisuje energii spotrebovanej pri výrobe a procese protektorovania. Energia použitá na výrobu novej pneumatiky vyprodukuje 31 kgCO₂, kým energia protektorovania je 22 kgCO₂. Stopa pri preprave je približne rovnaká pre oba typy pneumatík. K celkovým emisiám pridáva doprava takmer 10 kgCO₂ na novú pneumatiku a viac ako 8 kgCO₂ na protektorovanú. Vyššie emisie pri preprave nových pneumatík pochádzajú z diaľkového dovozu surovín zo zámoria. Štúdia celkovo zistila, že protektorovanie pneumatík je ekologickejšie ako nákup nových, pričom protektorovanie pneumatík pre ľahké úžitkové vozidlá znižuje emisie oxidu uhličitého o 26,4 kg a prináša úsporu materiálu 17,6 kg [48].

3.1.4 Plasty

Úloha plastov pri navrhovaní a výrobe automobilových vozidiel nebola nikdy tak dôležitá ako je v aktuálnej výrobe, pretože prísne predpisy a meniace sa spotrebiteľské návyky vedú k dopytu po cenovo dostupnejších, ľahších a úspornejších vozidlách. Spotreba paliva sa stala jednou z najdôležitejších kritérií pri konštrukcii automobilov v dôsledku rastúcich cien paliva a prísnejších environmentálnych predpisov. To v kombinácii s vysokým dopytom po automobilových vozidlách, ako aj rastúcim disponibilným príjmom v rozvíjajúcich sa ekonomikách bude naďalej poháňať dopyt po plastoch v automobilovom priemysle [49]. Využitie plastov v automobilovom priemysle predstavuje zároveň niekoľko výhod, ako je zníženie hmotnosti vozidla, čo vedie práve k nižšej spotrebe paliva a zníženiu emisií skleníkových plynov. Napríklad zníženie celkovej hmotnosti vozidla o 10 kg môže znížiť emisie CO₂ o 1 g/km [50], to je 260 kgCO₂ počas jeho životnosti (pri zohľadnení maximálnej dĺžky života do 260000 km). Okrem toho majú plastové diely niekoľko technických vlastností, ako je húževnatosť, tepelná izolácia, zníženie hluku a odolnosť proti korózii, čo z nich robí optimálny materiál na použitie vo vozidlách [51]. Za predpokladu, že priemerné osobné vozidlo váži 1300 kg a obsah plastov predstavuje 12 – 15 % jeho hmotnosti, to znamená, že vozidlo obsahuje až cca 150 – 200 kg plastov [52]. Pri SUV modeloch, ktorých váha sa pohybuje od 1350 kg do 2700 kg je toto množstvo ešte väčšie. V súčasnosti je vo vozidle asi 30000 dielov, z ktorých je 1/3 vyrobená z plastu. Celkovo sa na výrobu automobilu používa asi 39 rôznych druhov základných plastov a polymérov. Viac ako 70 % plastových dielov je tvorených 4 polymérmi: polypropylén, polyuretán, polyamidy a polyvinylchlorid. Plast sa v posledných rokoch stal jedným z kľúčových materiálov požadovaných pre konštrukciu, výkon a bezpečnosť automobilov, pričom rast spotreby plastov je spôsobený trendmi nízkej spotreby paliva a následne nižšími emisiami skleníkových plynov[53].

Plasty používané v automobilovom priemysle



Obr. 15 - Percentuálne použitie plastov pri výrobe vozidiel [54]

Štúdia (ALSABRI, AL-GHAMDI, TAHIR, 2021) popisuje uhlíkovú stopu pre najviac zastúpený plast vo vozidlách, ktorým je polypropylén (PP). Na základe jej výsledkov je zrejmé, že proces výroby polypropylénu je náročný a uvoľňuje do životného prostredia emisie o hodnote 1,95 kgCO₂eq na 1 kg vyrobených peliet z polypropylénu [51]. PP je spracovávaný vstrekolisom, ktorý generuje 0,962 kgCO₂eq na 1 kg produktu. Celkové emisie PP pri použití sú teda 2,192 kgCO₂eq [52].

Mnoho výrobcov využíva recyklované plasty na výrobu komponentov do svojich vozidiel. Tieto recyklované plasty sú z rôznych zdrojov, nielen z recyklácie vyradených vozidiel využívajú sa napríklad obaly, plastové fľaše, vrchnáky a iné. Firma Nissan používa plastové vlákna z použitých fliaš na výrobu zvukovej izolácie do prístrojových dosiek. Do modelu Jeep Grand Cherokee firma Chrysler využíva polyuretánovú recyklovanú penu ako materiál na výrobu sedadiel. Ford používa recyklované plasty na vytvorenie čalúnenia pre sedacie vankúše v mnohých modeloch. Tkanina sedadla pre každý Ford Focus je vyrobená približne z 22 plastových fliaš [53]. Český výrobca firma Škoda vo svojej výročnej správe uvádza, že jeho niektoré modely obsahujú až 16 kg recyklovateľných plastov. V niektorých modeloch je to 5-10 % z celého obsahu plastov. Firma Škoda má za cieľ zdvojnásobiť tieto hodnoty v najbližších rokoch a tým znížiť ekologickú stopu svojich vozidiel [55].

3.1.5 Elektronika

Elektronika používaná v automobiloch zahŕňa riadiacu jednotku motora, ovládanie zapalovania, rádio, navigáciu, elektronické budíky atď. Súvisiace prvky na ovládanie príslušných elektrických systémov sa nachádzajú aj na hybridných vozidlách a elektromobiloch. Moderné elektromobily sa spoliehajú na výkonovú elektroniku pre riadenie motora, ako aj riadenie batériového systému. V elektronike je najčastejšie využívaným materiálom meď. Vďaka svojim vlastnostiam má meď v priebehu rokov dôležitú úlohu v mnohých aplikáciách. Niektoré z využití súvisia s vlastnosťami medi, ktoré zahŕňajú tepelnú a elektrickú vodivosť, odolnosť proti korózii, kujnosť a spájkovateľnosť. Autá obsahujú v priemere od 3 do 10 kg medi využitých ako káblové vodiče. Pridanie lepšej výbavy a ďalších funkcií znamená pridanie ďalšej medi [56]. Množstvo medi je rozličné podľa typu vozidla a aj jeho hmotnosti, v spaľovacích vozidlách je najmenej 22 kg medi, pre hybridné vozidlá sa toto množstvo zvyšuje na 40 kg. V elektrických automobiloch je priemerne 83 kg medi. Nárast oproti spaľovacím modelom je pre využitie batérií, ktoré obsahujú medené prvky [57]. Ťažba 1 tony medi je zodpovedná za 2,3-2,5 tCO₂eq, pri tavení sa uvoľňuje ďalších 1,65 tony čo je v súčte cca 4 tCO₂eq v porovnaní s 1,5 tCO₂eq, pri recyklovanej medi [58].

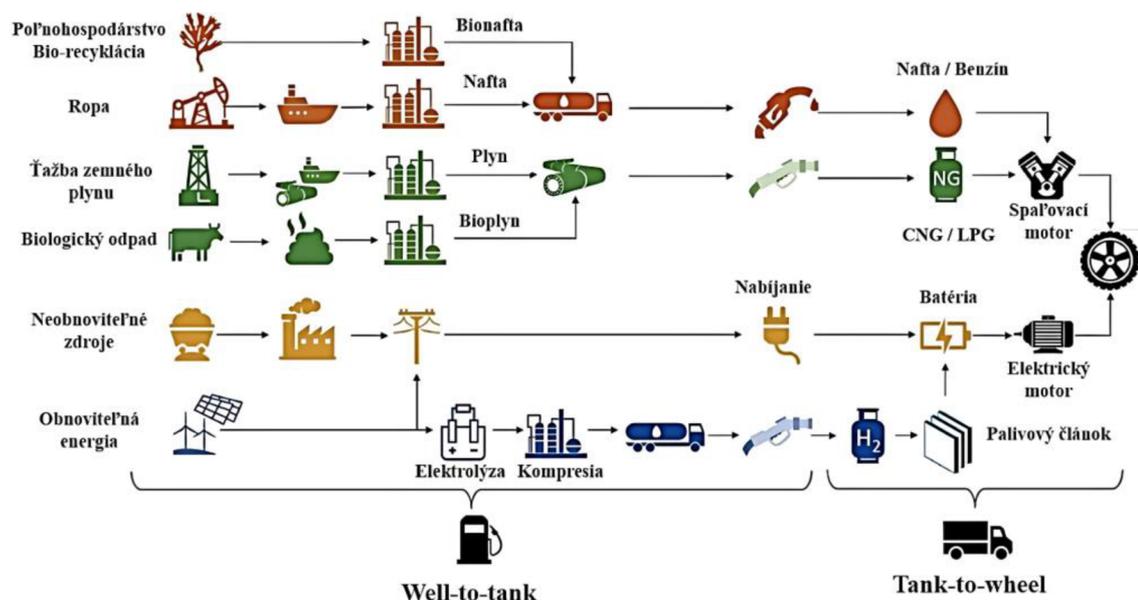
3.2 Fáza prevádzky

Po výrobe automobilu nasleduje v životnom cykle fáza prevádzky. Prevádzka vozidla zahŕňa emisie skleníkových plynov spojené s ťažbou paliva, spracovaním a výrobou a

následným spaľovaním paliva na prevádzku vozidla. Prevádzka BEV (Battery Electric Vehicle) zahŕňa emisie na výrobu elektriny potrebnej na prevádzku vozidla a elektrinu spotrebovanú pre elektroniku využívanú vo vozidle. Taktiež do fázy prevádzky spadajú aj údržba a opravy vozidiel, výmena dielov či mazacích tekutín použitých počas celého životného cyklu [59]. Pri prevádzke vozidiel vznikajú emisie priamo (spaľovanie palív), ale aj nepriamo (výroba paliva, preprava). Toto platí pre všetky druhy paliva či už fosílna alebo alternatívne akými je elektrina alebo vodík. Mnoho premenných definuje výstup prevádzkového životného cyklu vozidla. Tieto premenné zahŕňajú predpokladaný celkový počet najazdených kilometrov počas životnosti vozidla, elektrický mix alebo emisie pri výrobe paliva. Taktiež sem patrí štýl jazdy (ovplyvňujúci spotrebu alebo zvýšené opotrebovanie vozidla) a podiel najazdených kilometrov v mestských oblastiach či diaľniciach. Je preto potreba sa nezamerať len na emisie pri spotrebe paliva, ale aj na ostatné elementy od procesu výroby cez uskladnenie až ku doprave pre spotrebiteľa na spotrebu [60]. Celý tento proces nesie označenie WTW (Well-to-Wheel) v preklade „od zdroja po kolesá“.

3.2.1 Well to Wheel

WTW je najkompletnejší a najpresnejší spôsob hodnotenia účinnosti zdroja energie a emisií, berúc do úvahy celkovú spotrebu energie a všetky emisie skleníkových plynov počas celého životného cyklu zdroja energie. Keďže sa čoraz viac používajú alternatívne pohony a palivá, ktorých vplyv na životné prostredie sa počas jazdy vozidla neprejavuje, je potrebné posúdiť aj emisie z produkcie paliva a spotreby energie na výrobu paliva. Táto analýza sa dá rozdeliť na dve časti: WTT (Well-to-Tank) a TTW (Tank-to-Wheel). WTT sú nepriame emisie, ktoré sú uvoľnené vo fáze výroby paliva, spracovaní a dodávke samotného paliva či energie. TTW sa vzťahuje na kroky prevádzky, kde sa palivo premieňa na energiu na pohyb vozidla [61].



Obr. 16 - Proces Well to Wheel pre rôzne druhy palív [61]

3.2.2 Well to Tank

Cesta ku fosílnemu palivu začína vyťaženie ropy z pod zemskeho povrchu. Nasleduje preprava do rafinérií väčšinou ropovodmi alebo tankermi, ak ide o pozemnú ťažbu využívajú sa vlaky a kamióny. Doprava tankermi z rôznych častí sveta do Európy vyprodukuje priemerne takmer 11 gCO₂eq na jeden liter ropy. Trasa s najmenšou ekologickou stopou je Severná Afrika – Európa, kde je na liter ropy vytvorených len 4,843 gCO₂eq. Najhoršie je na tom trasa z Arabského zálivu – Európa, pri ktorej sa vytvorí 16,873 gCO₂eq. Transport ropy, či už lodný alebo pozemný avšak spôsobuje aj ekologické nehody, ktoré ovplyvňujú zasiahnuté regióny [62]. Na dopravu ropy do Českej republiky sa využívajú najmä ropovody Družba a IKL, ich trasy sú na Obr. 17. Ropovod Družba má celkovú trasu v ČR 473,3 km a ročne prepraví 9 miliónov ton ropy. Je to taktiež najdlhší ropovod na svete o dĺžke cez 5000 km. IKL v Česku vedie cez 168,6 km a prepraví 11 miliónov ton ropy ročne [63]. Transport ropy pomocou ropovodov generuje emisie o hodnote cca 0,00445 gCO₂eq na liter ropy.



Obr. 17 - Ropovodná sieť v ČR [63]

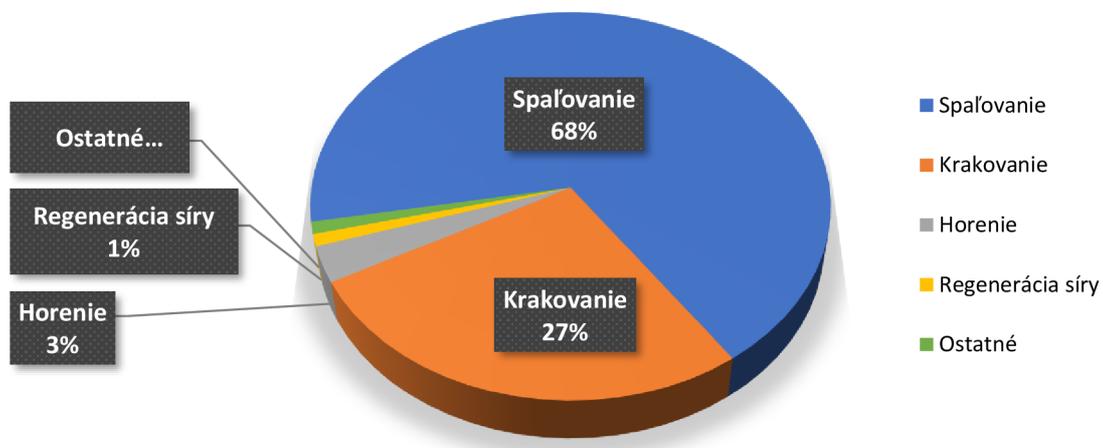
Ďalším krokom procesu WTT je spracovanie ropy do foriem paliva najmä ako benzínu a nafty. Rafinéria Slovnaft pôsobiaca na Slovensku uvádza, že za rok 2021 spracovala 5,5 milióna ton ropy. Výrobné portfólio z tohto množstva sa skladalo z 53 % motorovej nafty, 21 % benzínu atď. vid' Tab. 3 [64].

Tab. 3 - Výrobné portfólio firmy Slovnaft [64]

Výrobok	Obsah [%]
Motorová nafta	53
Automobilový benzín	21
Ostatné	12
Primárne plasty	8
Vykurovacie oleje	3
Chemikálie	3
Letecké palivá	1

Pri procese spracovania ropy na palivá a ostatné výrobky je základom frakčná destilácia, pri ktorej sa oddeľujú jednotlivé frakcie podľa bodu varu. Následne sa už spracovávajú samostatne, aby z nich boli oddelené ostatné nežiadúce látky. Rozdelenie emisií v tomto procese podľa sektorov vzniku je vidieť na Obr. 18. Najväčším sektorom v oblasti tvorby emisií je spaľovanie, ktoré produkuje teplo potrebné ku destilácii ropy. Nasleduje krakovanie, ktoré štiepením uhl'ovodíkov vytvára benzín. Horenie nadbytočného plynu má tiež svoj efekt na emisie, využíva sa ako bezpečnostný obvod. Vplyv má aj regenerácia síry, ktorá nastáva pri odsírovaní ropy, kedy vznikajú pri tomto procese skleníkové plyny [65].

Emisie GHG pri spracovaní ropy



Obr. 18 - Emisie pri rafinovaní ropy [65]

Slovnaft vo svojej výročnej správe zverejnil hodnoty emisií podľa plynov za rok 2021. Najviac zastúpeným plynom je CO₂, ktorý zodpovedá za 99,67 %. Zostávajúcich 0,33 % je rozdelených medzi ostatné GHG, kde 0,09 % patrí SO₂, 0,09 % NO_x, 0,02 % CO a ostatné emisie 0,13 % (VOC,PM) [64].

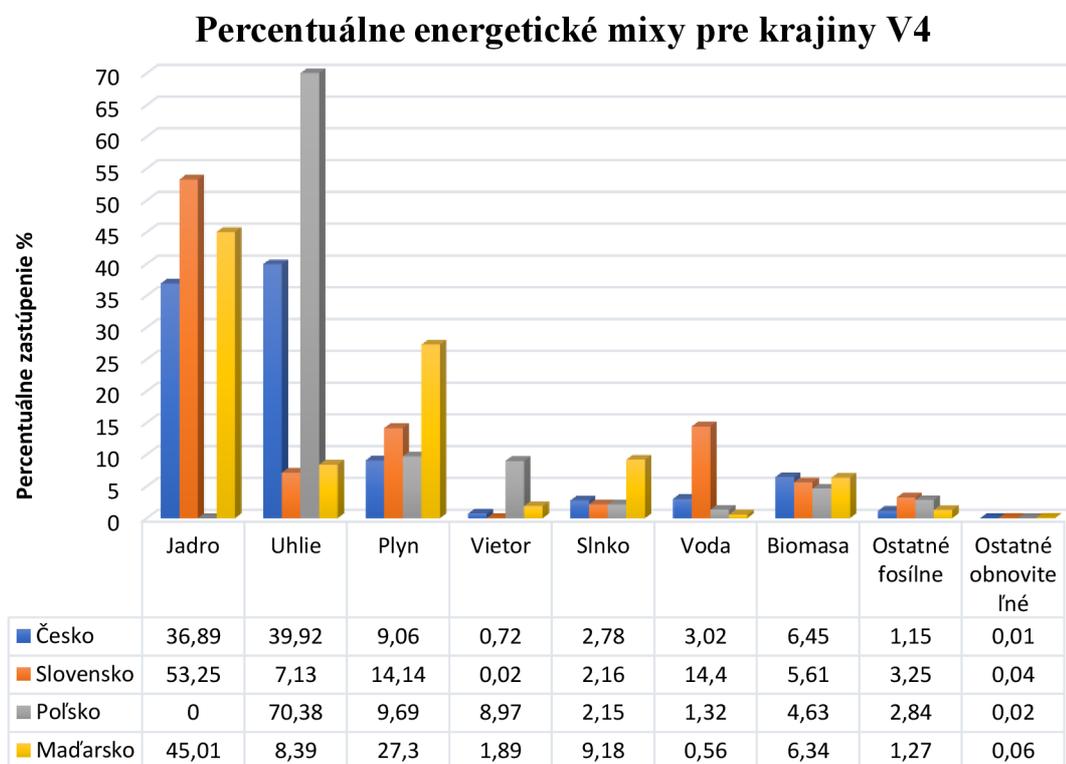
Podľa správy európskej komisie z roku 2015 sú priemerné emisie z rafinovania surovej ropy v Európe na hodnote 5,5 gCO₂eq/MJ. Emisie vytvorené pri výrobe benzínu, nafty a doprave do čerpacích staníc sú v Tab. 4. V tejto správe sa uvádza tiež hodnota emisií pre ropovod Družba, ktorá sa rovná 9,24 gCO₂eq/MJ. Vychádza to z informácií, kde 2/3 prichádzajúcej ropy pochádzajú z ropných polí v oblasti Uralu (Romashkino, Unvinskoye, Pamyatno-Sasovskoye) a 1/3 z polí na Západnej Sibíri (Tevlinsko-Russkinskoye, Uryevskoye, Samotlor, Vat-Yeganskoye a Povkhovskoye). Emisie z polí v oblasti Uralu sú odhadované na 9,71 gCO₂eq/MJ a zo Sibíri na 8,31 gCO₂eq/MJ. Celkové emisie pre proces WTT sa získajú sčítaním všetkých faktorov. Podľa tejto správy vychádza emisná stopa pre naftu spracovanú na Slovensku na 15,48 gCO₂eq/MJ. Najhoršie je na tom WTT pre benzín spracovaný v Poľsku, ktorého emisie sú na úrovni 19,77 gCO₂eq/MJ [66].

Prepočet emisií na gCO₂eq/l je možný pomocou konštánt pre jednotlivé palivá, napr. pri spaľovaní jedného litra nafty sa uvoľní energia cca 38MJ, táto hodnota sa môže líšiť v dôsledku rôznej kvality surovej ropy alebo samotného spracovania. V jednom litri benzínu je cca 32MJ uschovanej energie.

Tab. 4 - Emisie pri spracovaní a transporte ropy na benzín a naftu pre krajiny V4 [66]

Štát	Emisie (gCO ₂ eq/MJ)		
	Benzín	Nafta	Transport
Česká republika	7,13	6,20	0,27
Slovensko	7,14	6,11	0,13
Maďarsko	7,61	6,34	0,20
Poľsko	10,32	9,62	0,21

Ďalšia správa zaoberajúca sa problematikou procesu WTT z roku 2020 odhaduje emisie pre všetky najčastejšie využívané palivá. Pre celý proces WTT je to 18,9 gCO₂eq/MJ pre naftu, 17 gCO₂eq/MJ pre benzín, 113 gCO₂eq/MJ pre vodík, 7,8 gCO₂eq/MJ pre LPG, 15,1 gCO₂eq/MJ pre CNG, 16,6 gCO₂eq/MJ pre LNG [67]. Palivom nie je len benzín alebo nafta. Pre elektrické autá je potrebná elektrická energia, ktorej emisie záležia na type elektrárne, v ktorej sa vyrobí. Energetický mix popisuje všetku vyrobenú elektrickú energiu podľa typu výroby. Na Obr.19 sú zobrazené tieto mixy pre krajiny V4.



Obr. 19 - Energetické mixy pre krajiny V4 [68]

Pre Českú republiku je najväčším producentom elektrickej energie sektor elektrární, ktoré ako palivo využívajú uhlie. Uhlie v roku 2021 zodpovedalo až za 39,92 % vyrobenej elektriny, táto hodnota sa rovná 33,28 TWh. Druhým sektorom boli jadrové elektrárne s 36,89 % celkovej vyrobenej elektrickej energie o hodnote 30,75 TWh. Plyné elektrárne prispeli 9,06 %, ktoré zodpovedajú 7,55 TWh. Z obnoviteľných zdrojov sa najviac podieľala biomasa 6,45 %, čo sa rovnalo 5,38 TWh, následne voda 3,02 %, zodpovedná za 2,52 TWh a nakoniec slnko, ktorého percentuálny podiel bol 2,78 % rovnajúci sa 2,32 TWh. Celková vyrobená elektrická energia pre Českú republiku v roku 2021 bola 83,36 TWh [68]. Pomer obnoviteľných a fosílnych palív je takmer identický. Je to spôsobené tým, že jadro sa po novej novele EÚ počíta ako obnoviteľný zdroj energie. Dá sa očakávať, že sa v budúcnosti bude ešte znižovať množstvo elektrickej energie vyrobenej z fosílnych palív v dôsledku splňania emisných kvót EÚ. Slovensko má z krajín V4 percentuálne najväčšiu výrobu z jadrovej energie až 53,25 %, čo zodpovedá 15,75 TWh. Energia vytvorená z plynu je na úrovni 14,14 %, ktoré zodpovedajú 4,19 TWh. Čo sa týka obnoviteľných zdrojov Slovenska, najväčší percentuálny podiel má na výrobe energie voda, a to 14,4 %, ktoré sú rovné 4,26 TWh. Vyrobenej elektrická energia na Slovensku za rok 2021 bola 29,58 TWh [68]. V Poľsku je hlavným sektorom výroby elektrickej energie spaľovanie uhlia, ktoré zodpovedá 70,38% celkovej vyrobenej elektrickej hodnote, to sa rovná 124,24 TWh. Poľsko je jedinou krajinou V4, ktorá má nulovú výrobu z jadrovej energie. Zároveň má však prvenstvo vo výrobe elektriny pomocou vetra, kde Poľsko vyrába až 8,97 % zodpovedajúcich za 15,84 TWh. V roku 2021 vyrobilo Poľsko elektrinu o množstve 176,52 TWh. Z dôvodu veľkého množstva elektrickej energie vyrábanej uhlím má Poľsko najhorší emisný faktor CO₂. Najväčším sektorom pre Maďarsko bola jadrová energia (45,01 %) zodpovedajúca za 15,98 TWh celkovej vyrobenej elektrickej energie. Medzi krajinami V4 má najväčší percentuálny podiel z výroby plynom 27,3 %, čo zodpovedá 9,69 TWh. Taktiež majú najväčší podiel z výroby pomocou slnka 9,18 %, ktoré sa rovnajú 3,26 TWh. Celková vyrobená elektrická energia pre Maďarsko za rok 2021 bola 35,50 TWh [68].

Emisie v energetike sú vyjadrené pomocou emisného faktoru CO₂eq. Stanovuje množstvo GHG emisií vyprodukovaných behom výroby. Jednotlivé emisné faktory pre krajiny V4 a priemer EÚ sú viditeľné v Tab. 5.

Tab. 5 - Emisný faktor pre krajiny V4 [68]

Krajina	Emisie [gCO₂eq/kWh]
Česká republika	401,27
Slovensko	174,10
Poľsko	657,49
Maďarsko	236,34
Priemer EÚ	262,48

V Tab. 6 sú porovnané emisie palív pre automobily iba na základe výrobného procesu. Nafta a benzín sú na výrobu najmenej znečisťujúce palivá z dosiahnuteľných možností v dnešnej dobe, ich problematika nastáva až pri spaľovaní v prevádzke. Hodnoty ich emisií boli získané celkovým súčtom emisných faktorov transportu surovej ropy (cez ropovod Družba), spracovania v rafinérii a dopravy do čerpacích staníc. V Českej republike vychádza, že na výrobu 1 kWh (rovná sa 3,6 MJ) elektrickej energie sa uvoľní 401,27 gCO₂eq. Elektrina ako zdroj paliva v Českej republike je z pohľadu emisií z výroby na tom skoro 7x horšie ako fosílna palivá. Hodnota emisií 111,46 gCO₂eq/MJ je vysoká z dôvodu, že takmer 50 % elektrickej energie sa vyrába spaľovaním fosílnych palív. Ak by bol energetický mix rovnaký ako na Slovensku, kde je iba 21 % energie vyrobenej spaľovaním fosílnych palív, emisie by boli 48,36 gCO₂eq/MJ. V budúcnosti chce EÚ úplne vyradiť neobnoviteľné zdroje a nahradiť ich obnoviteľnými ako napríklad veternou alebo solárnou energiou. Keby nastane scenár, kde je 100% elektrickej energie v ČR vyrábaných veternou energiou, tak by emisie z výroby elektriny klesli iba na 3,06 gCO₂eq/MJ. Výroba vodíka je náročná na spotrebu energie pri elektrolýze, na 1kg vodíka je potrebných v priemere 52,5 kWh elektriny. Vodík o množstve 1 kg dokáže uchovať 33,6 kWh energie. Na 1 kWh je teda potrebných 0,03 kg vodíka. Pre výrobu vodíka o hodnote 1 kWh je potrebných 1,575 kWh elektrickej energie. To sa odzrkadľuje na emisiách, ktoré sú pre elektrinu vyrobenú v ČR väčšie ako bolo spomenuté vyššie. Hodnota emisií pre elektrolýzu vodíka je 175,55 gCO₂eq/MJ. Menší ekologický dopad má štiepenie vodíka zo zemného plynu, dopraveného z Blízkeho východu. Táto metóda je výhodnejšia v ČR v dnešnej dobe. Ak by nastala situácia poklesu emisií z výroby elektrickej energie na 71 gCO₂eq/MJ zo súčasných 111,46 gCO₂eq/MJ, elektrolýza by bola výhodnejšou možnosťou výroby vodíka.

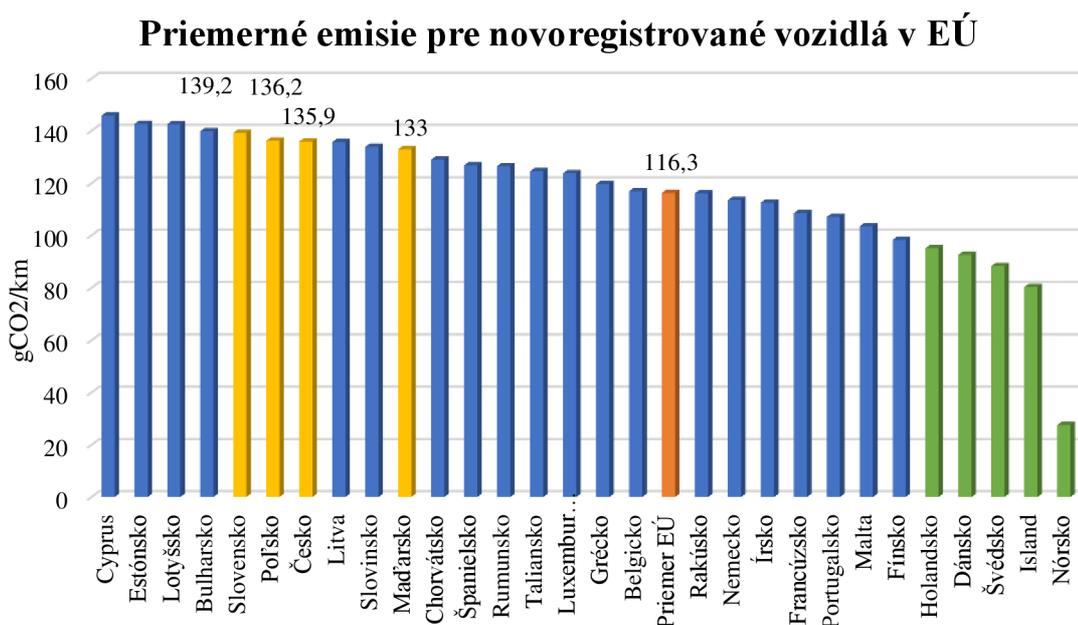
Tab. 6 - Well-To-Tank emisné faktory palív pre Českú republiku [66]

Palivo	Emisie [gCO₂eq/MJ]
Nafta	15,71
Benzín	16,64
Elektrina (pri energetickom mixe ČR pre rok 2021)	111,46
Elektrina (pri energetickom mixe SR pre rok 2021)	48,36
Elektrina (pri 100% veternej energie)	3,06
Vodík (pri elektrolýze z energetického mixu 2021)	175,55
Vodík (štiepením zo zemného plynu, z Blízkeho východu)	113,0

3.2.3 Tank to Wheel

Pojem Tank to Wheel (TTW) sa vzťahuje na proces, kedy sa palivo spotrebuje v automobiloch, jedná sa o priame emisie. Merajú sa najmä výfukové emisie, ktoré vznikajú pri spaľovaní paliva. Spaľovacie a vznetové automobily produkujú väčšinu svojich emisií práve pri prevádzke, kedy dochádza ku spaľovaniu paliva. Elektrické ako aj vodíkové vozidlá sú vozidlá s nulovými výfukovými emisiami nemajú žiadne emisie súvisiace so smogom ani skleníkovými plynmi. Emisie vznikajú len v procese výroby a prepravy elektrickej energie či vodíkového paliva. Emisie TTW sa uvádzajú v gCO_2/km , výpočet týchto hodnôt pre fosílna palivá vychádza z chemických reakcií pri spaľovaní. Pre výpočet emisií CO_2 pre 1l nafty je potrebné poznať hustotu nafty, ktorá je $820\text{-}860 \text{ kg/m}^3$. Váha 1l je teda v priemere 840 gramov, nafta obsahuje 86,2% uhlíka, čo sa rovná 724,08 g uhlíka pre 1l nafty. Na spálenie tohto uhlíka na CO_2 je potrebných 1931,12 g kyslíka, je to z dôvodu dodržania atómových hmotností zlúčeniny CO_2 . Celkový súčet vzniknutého CO_2 pri spálení 1l nafty je teda rovný súčtu hmotností oboch spomínaných procesov výroby a spaľovania. Výsledná hodnota je $2655,2 \text{ gCO}_2/\text{l}$. Pri priemernej spotrebe SUV s naftovým motorom, ktorá je 7l/100 km sa emisie CO_2 rovnajú $185,86 \text{ gCO}_2/\text{km}$. Pre benzín sa postupuje podobne avšak hustota je $730\text{-}780 \text{ kg/m}^3$, váha sa udáva 750 gramov, obsah uhlíka je 87 %, to sa rovná 652 g uhlíka. Pri spaľovaní je potrebných 1740 g kyslíka. Emisie pri spaľovaní sú $2392 \text{ gCO}_2/\text{l}$, pri priemernej spotrebe 8,5 l/100 km je to teda $203,32 \text{ gCO}_2/\text{km}$ [69][70]. Volvo XC90 má podľa výrobcu spotrebu 6,7 l/100 km pre naftu a 8,6 l/100 km pre benzín. Zároveň výrobca uvádza emisie, ktoré sú pre benzínovú verziu $194 \text{ gCO}_2/\text{km}$ a pre naftovú $177 \text{ gCO}_2/\text{km}$ [71].

Až jedna pätina emisií uhlíka v Európskej únii pochádza z cestnej dopravy. Podporou využívania alternatívnych palív chce únia znížiť vplyv na klímu. Priemerné emisie CO_2 z nových osobných automobilov v roku 2019 boli $116,3 \text{ gCO}_2/\text{km}$, čo je lepšie ako cieľ EÚ na obdobie rokov 2015-19, ktorý je stanovený na $130 \text{ gCO}_2/\text{km}$, ale výrazne nad cieľom $95 \text{ gCO}_2/\text{km}$ pre rok 2020. Na Obr. 20 sú zobrazené emisie z nových vozidiel pre štáty EÚ. Zelenou sú vyznačené tie krajiny, v ktorých automobilky spĺňajú normu $95 \text{ gCO}_2/\text{km}$, žltou krajiny V4ky, ktoré sú vysoko nad priemerom EÚ. Európska komisia v júli 2021 navrhla zníženie limitov pre emisie z automobilov o ďalších 15 % od roku 2025 a následne do roku 2030 znížiť emisie o 55 % v prípade osobných automobilov a od roku 2035 dosiahnuť nulové emisie. Ciele sú vyjadrené v percentách, pretože norma $95 \text{ gCO}_2/\text{km}$ sa bude musieť prepočítať podľa nového prísnejšieho emisného testu, ktorý lepšie odráža skutočné jazdné podmienky [72]. Hodnota $95 \text{ gCO}_2/\text{km}$ je však len váženým priemerom. Počíta sa zo všetkých vyrobených vozidiel daného výrobcu. Pre určenie je teda najdôležitejšia hmotnosť vozového parku a zloženie pohonných jednotiek v týchto vozidlách. Špecifické emisie CO_2 pre každé nové vozidlo v roku 2020 podliehali pravidlu, že za každých pridaných 100 kg nad rámec stanovenej hmotnosti osobných automobilov je dovolené vyprodukovať $3,33 \text{ gCO}_2/\text{km}$. Stanovená hmotnosť vozidiel bola na $1379,88 \text{ kg}$ [73].



Obr. 20 - Emisie novoregistrovaných vozidiel v EÚ [74]

3.2.4 Emisné normy a ich testovanie

Európske emisné normy, známe ako Euro, sú povinné normy stanovené Európskou úniou, ktoré určujú hraničné hodnoty škodlivín vo výfukových plynch benzínových a naftových motorov v závislosti od množstva škodlivín produkovaných počas jazdy. Množstvo škodlivín je merané na základe množstva vypustených škodlivín na jeden prejdený kilometer. Emisné normy stanovujú limity pre oxid uhoľnatý (CO), uhl'ovodíky (HC), oxidy dusíka (NO_x) a pevné častice (PM). Nariadenia určujú hraničné hodnoty pre emisie výfukových plynov a ich postupné sprísňovanie vo vozidlách predávaných v rámci krajín EÚ a Európskeho hospodárskeho priestoru. Prvé emisné normy Euro, označené ako Euro 1 sa začali zavádzať v roku 1992 na všetky nové automobily s cieľom zlepšiť kvalitu ovzdušia. Emisné normy sa pravidelne aktualizujú každých 4-5 rokov (Euro 2 - 1996, Euro 3 - 2000, Euro 4 - 2005, Euro 5 - 2009 a Euro 6 - 2014), aby sa predávali vozidlá s nižšími emisiami. Norma Euro 6 bola postupne aktualizovaná a doplnená o nové písmená po každej aktualizácii. Od začiatku roka 2021 je v platnosti norma Euro 6d, ktorá zahŕňa pridané nové testovanie a sprísňuje spôsoby merania emisií [75]. Prehľad vývoja emisných noriem Euro je viditeľný v Tab. 7. Táto norma má taktiež zabrániť akémukoľvek softwarovému manipulovaniu kontroly emisií [77]. V roku 2020 sa k Euro limitom pridal aj univerzálny limit CO₂, už spomínaný vyššie, podľa ktorého musia byť priemerné emisie všetkých vyrobených vozidiel výrobcami do 95 gCO₂/km. Prekročenie tohto limitu za každý jeden gram znamená pokutu vo výške 95 eur u každého takého predaného auta. Emisie sa však na druhú stranu počítajú za všetky predané vozidlá danou automobilkou po celej EÚ, takže napríklad plug-in hybridy významne znižujú priemer automobiliek z dôvodu, že majú tieto emisie okolo 50 g/km. Taktiež sú na tom aj elektromobily, ktoré pri svojej prevádzke nevypustia ani gram oxidu uhličitého [76].

Cieľom EÚ je, aby sa do roku 2030 emisie osobných automobilov znížili o 37,5 %, čo v súčasnosti zodpovedá hodnote cca 62 gCO₂/km [76]. Norma Euro 7, o ktorej sa aktuálne ešte rokuje, má priniesť novinky ako regulovanie emisií z brzd i pneumatík a regulovanie trvanlivosti batérií v elektromobiloch pre zvýšenie dôveryhodnosti v tieto typy vozidiel. Zároveň predlžuje dobu dokedy má automobil spĺňať všetky emisné normy a to buď 10 rokov alebo 200000 km. Taktiež má zabrániť akémukoľvek softwarovému manipulovaniu kontroly emisií [77].

Tab. 7 - Vývoj emisných noriem Euro [78]

Norma	Benzín [g/km]				Nafta [g/km]			
	CO	HC	NO _x	PM	CO	HC	NO _x	PM
Euro 1	2,72	0,97		-	2,72	0,97		0,14
Euro 2	2,20	0,50		-	1,00	0,70		0,08
Euro 3	2,30	0,20	0,15	-	0,64	0,56 s max NO _x 0,50		0,05
Euro 4	1,00	0,10	0,08	-	0,50	0,30 s max NO _x 0,25		0,025
Euro 5	1,00	0,10	0,06	0,005	0,50	0,23 s max NO _x 0,18		0,005
Euro 6	1,00	0,10	0,06	0,005	0,50	0,17 s max NO _x 0,08		0,005
Euro 7	Nešpec.	Nešpec.	-35%	-13%	Nešpec.	NO _x -35%		-13%

Od zavedenia emisných noriem Euro v roku 1992 sa merania vykonávali podľa testu (NEDC) Nového európskeho jazdného cyklu, ktorý je sériou testov založených na zrýchľovaní a spomaľovaní motora v laboratórnych podmienkach v skúšobnom zariadení. Ten kvôli svojej pomernej jednoduchosti nesprávne odhadoval skutočnú spotrebu automobilov. V dnešnej dobe sa tieto výsledky už nevnímajú ako adekvátne ku skutočným vyprodukovaným emisiám. Realita vyprodukovaných emisií sa preto meria od roku 2017 novým spôsobom, ktorý nahradil práve NEDC, a to medzinárodne uznávaným skúšobným postupom pre ľahké osobné a úžitkové vozidlá s názvom Celosvetovo harmonizovaný skúšobný postup pre ľahké vozidlá WLTP. Tento postup zohľadňuje vyššie rýchlosti, dynamickosť a autentickosť pri zrýchľovaní a spomaľovaní (simuluje presnejšie spôsob jazdy človekom) a taktiež dbá na prísnejšie podmienky merania vozidla, ako to bolo v prípade NEDC. Z tohto dôvodu sú výsledky presnejšie a lepšie odrážajú skutočné podmienky v reálnej prevádzke. WLTP test kompletne nahradil NEDC od 1.1.2022, automobily uvedené na trh po tomto termíne už disponujú iba hodnotami WLTP. Pre možnú odchýlku meraní v laboratórnych podmienkach a v skutočnej premávke sa pridal v nových normách ďalší proces. Zistenie emisií pri skutočnej jazde (Real Driving Emissions, skrátene RDE) má zabezpečiť, aby boli hraničné hodnoty škodlivých látok dodržané nielen v laboratórnych podmienkach, ale aj v reálnej premávke na cestách [75].

Metóda WLTP

WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) berie do úvahy jazdný profil, ktorý sa čo najviac približuje každodennej premávke vozidla. Na rozdiel od predchádzajúceho štandardu NEDC, ktorý sa rovná umelému laboratórnemu testu a hlavne slúži na porovnanie rôznych vozidiel, nie na realistické zobrazenie skutočnej spotreby. Doteraz bola spotreba paliva meraná v laboratórnych podmienkach, nová metóda vďaka vylepšeným testovacím parametrom umožňuje presnejšiu predpoveď skutočnej spotreby vozidla. Štandard WLTP má za cieľ simulovať čo najrealistickejšie jazdné vlastnosti a dosiahnuť tak podstatne reálnejšie výsledky. WLTP zabezpečuje výsledky testov, ktoré sú porovnateľné celosvetovo vo všetkých krajinách. Jedným z jeho hlavných cieľov je jednotnosť určovania emisií a spotreby paliva pre rôzne druhy paliva, ako napríklad benzín, nafta, elektrina, vodík alebo CNG. Ak sa správne dodržiavajú postupy merania podľa noriem WLTP, musí rovnaký automobil kdekoľvek na svete mať rovnaké testovacie výsledky. Táto nevyhnutná porovnateľnosť je dôvodom, prečo sú nutné laboratórne merania. Spotreba paliva a emisie sa preto spoľahlivo a reprezentatívnym spôsobom určujú v rámci dynamického jazdného cyklu na valcovom dynamometri [79].

Tab. 8 - Porovnanie metód WLTP a NEDC [79]

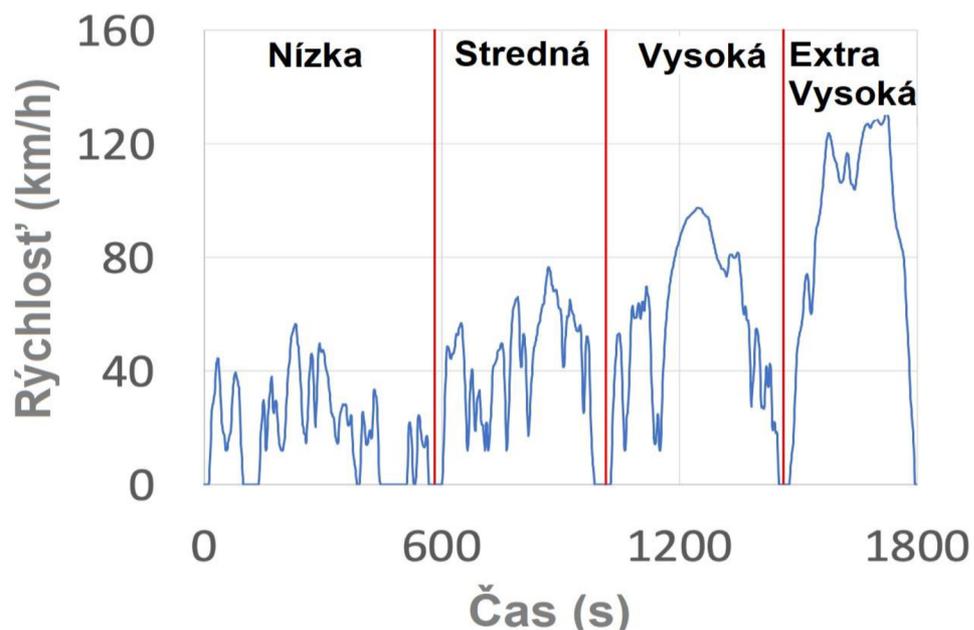
	WLTP	NEDC
Teplota v testovacej	23°C	20-30°C
Dĺžka trasy	23 km	11 km
Dĺžka cyklu	30 minút	20 minút
Fázy sledovania	131,3 / 97,4 / 76,6 / 56,7	Jazda v meste / na
Priemerná rýchlosť	47 km/h	33 km/h
Maximálna rýchlosť	130 km/h	120 km/h
Doba nečinnosti vozidla	13%	25%
Radenie rýchlostí	Individuálne prepočítané	Presne definované
Doplňková výbava	Zohľadňuje	Nezohľadňuje

V Tab. 8 je spracované porovnanie metód WLTP a NEDC na základe nastavení a priebehu týchto procesov. WLTP testovací proces má zmenený cyklus jazdy a zároveň podlieha prísnejším testovacím predpisom, kde hlavne patrí dlhšia doba testovania a vyššia maximálna rýchlosť oproti NEDC. Meranie prebieha na valcovom dynamometri, kde sa po studenom štarte merajú štyri fázy rýchlostí: do 60, do 80, do 100 a nad 130 km/h. Simuluje sa priemerná prevádzka automobilu zrýchľovaním a spomaľovaním. Maximálna rýchlosť je o 10 km/h vyššia ako pri procese NEDC. Priemerná rýchlosť je 47 km/h, čo je vyššie ako predtým, kedy dosahovala hodnotu cca 33 km/h. V testovacej komore je nastavená teplota na 23°C, pri cykle NEDC dosahovala rozmedzie 20 - 30°C. Dĺžka jazdného cyklu WLTP je stanovená na 30 minút, cyklus

NEDC si vyžadoval len 20 minút. Testovacia trasa sa predĺžila z 11 km na 23 km. Ďalším rozdielom medzi týmito dvomi metódami je individuálna špecifická výbava. Tá ovplyvňuje hmotnosť, aerodynamiku a spotrebu energie (v pohotovostnom režime). Špecifická výbava ako napríklad klimatizácia a vyhrievanie sedadiel, ktorá spotrebúva elektrickú energiu je počas testovania vypnutá [79]. V Tab. 9 sú znázornené presné podmienky testu WLTP pre triedu 3, do ktorej spadajú vozidlá využívajúce sa v Európe a Japonsku. WLTP testovanie je rozdelené do 3 tried podľa koeficientu PWr (power/weight ratio). Tento koeficient je vyjadrený v W/kg a je to pomer menovitého výkonu motora k pohotovostnej hmotnosti vozidla. Trieda 1 je určená pre vozidlá s koeficientom PWr ≤ 22 , do triedy 2 spadajú vozidlá $22 < \text{PWr} \leq 34$. Väčšina bežných áut má dnes pomer výkonu a hmotnosti okolo 40 – 100 W/kg a spadajú do triedy 3, kde je minimálny PWr > 34 . Na Obr. 21 je znázornený priebeh jednotlivých fáz pri WLTP teste pre triedu 3 [80].

Tab. 9 - Podmienky WLTP testu [80]

Fáza	Čas	Čas odstavenia	Vzdialenosť	Odstavenie	Max. rýchlosť	Priemerná rýchlosť
	[s]	[s]	[m]	[%]	[km/h]	[km/h]
Nízka	590	145	3095	24,6	56,5	18,9
Stredná	433	47	4756	10,9	76,6	39,5
Vysoká	455	29	7162	6,4	97,4	56,7
Extra vysoká	323	6	8254	1,9	131,3	92
Celkovo	1801	227	23266	-	-	-



Obr. 21 - Vizualizácia WLTP cyklov pre triedu 3 [80]

Metóda RDE

Aj pri prepracovanosti metódy WLTP sú pochybnosti, že sa reálne emisie môžu v skutočnej prevádzke líšiť. Sice je to uznaný a štandardizovaný proces, ktorý avšak stále prebieha v laboratóriu. Aj z tohto dôvodu sa používa ďalší testovací proces. Od septembra 2017 všetky osobné automobily podliehajú tiež testu skutočných emisií RDE - (Real Driving Emissions Test). Toto testovanie prebieha v reálnej premávke, kedy má automobil zapnutú aj klimatizáciu a osvetlenie. Po jeho splnení automobil získava potvrdenie o splnení emisnej normy Euro 6d-Temp [81]. Trasa počas merania RDE sa skladá vždy z 3 častí: z 1/3 jazdy v meste, z 1/3 jazdy mimo mesta a z 1/3 jazdy na diaľnici s náhodným zrýchlením a spomalením, vždy pri predpisoch cestnej premávky. V meste sa priemerná rýchlosť pohybuje medzi 15 až 40 km/h, pri jazde mimo mesta je to hodnota 60 až 90 km/h a pri jazde na diaľnici, kde je neobmedzená rýchlosť môže vozidlo ísť rýchlosťou 145 km/h a na krátky čas až do rýchlosti 160 km/h. Vozidlo je pri tejto jazde vybavené prenosným meracím systémom PEMS (Portable Emission Measurement System). Úlohou tohto prístroja je merať emisie výfukových plynov. Testovací proces trvá 90 -120 minút pri vonkajších teplotách -7 až +35°C [82].



Obr. 22 - Systém PEMS v prevádzke [82]

3.2.5 Údržba

Do fázy prevádzky patrí taktiež údržba osobného automobilu. Údržbou sa myslia všetky servisné operácie a činnosti, ktoré sú dôležité pre správny a bezpečný chod vozidla. Medzi tieto výmeny patrí: výmena motorového oleja, vzduchového a palivového filtra, chladiacej a brzdovej kvapaliny, rozvodovej sady. Výroba týchto komponentov a ich využívanie, taktiež uvoľňuje emisie CO₂.

Motorový olej je potrebný pre správny a hladký chod spaľovacieho motora. Interval výmeny podľa typu oleja môže byť od 12000 – 30000 km. Priemerne je to 12000 – 17000 km alebo po roku od poslednej výmeny. Nové vozidlá udávajú až 30 tisíc pri využívaní olejov s predĺženou životnosťou. Činnosťou vzduchového filtra je čistenie vzduchu v sacom potrubí, ktorý sa vháňa do motora. Interval výmeny je v priemere 30000 km. Palivový filter slúži na filtráciu paliva pri prechode z nádrže do motora. Životnosť je ovplyvnená štýlom jazdy a palivový filter by mal byť kontrolovaný pri servisných návštevách. Chladiaca kvapalina odvádza teplo od bloku motora do chladiča. Mala by sa meniť každé 2 roky z dôvodu odparovania jej prísad. Rovnaký interval má aj brzdová kvapalina, ktorej úlohou je prenášať tlak z brzdového pedálu na brzdy. Výmena rozvodov môže zachrániť automobil pred fatálnym poškodením motora. Interval výmeny je od 60 – 200 tisíc kilometrov s tým, že po 200000 km je to vždy odporúčané. Rozvody slúžia na presné načasovanie otvárania a zatvárania ventilov v súlade s pohybom piestov. Taktiež sem patria aj výmeny brzdových kotúčov, pneumatík, tlmičov či guľových čapov riadenia, ktorých servis je podľa opotrebenia [83]. V Tab. 10 sú vyjadrené najčastejšie servisné úkony a ich intervaly spolu s emisiami za jednu výmenu.

Tab. 10 - Servis komponentov a jeho CO₂ emisie [84]

Servis	Interval výmeny (km)	Emisie (kgCO₂)
Motorový olej	10 000	3,22
Chladiaca kvapalina	27 000	7,03
Pneumatika	40 000	108
Olovený akumulátor	50 000	19,5

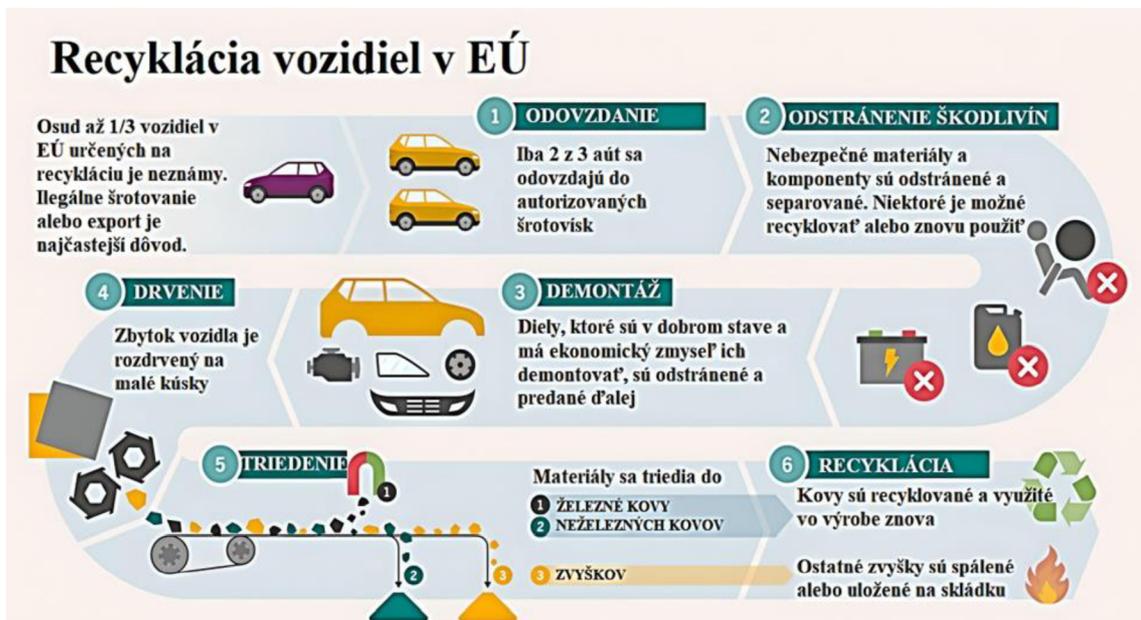
Elektrické autá sú menej náročné na údržbu než naftové a benzínové vozidlá. Rozdiely pri údržbe elektromobilu sú tie, že netreba vymieňať motorový olej, preplachovať chladiaci systém ani vymieňať vzduchové filtre, sviečky či remeň. Taktiež odpadá servis prevodovky a výmeny oleja v nej. Elektromotor má dlhšiu životnosť aj z dôvodu, že nie je vystavovaný vysokým teplotám a tlaku. Rekuperácia je využívaná pri brzdení, kedy využíva kinetickú energiu a šetria sa brzdy aj kvapalina. Hlavnou údržbou je v podstate prezúvanie pneumatík, občasná kontrola rozvodov a brzd, geometria kolies a výmena chladiacej kvapaliny. Najdrahšou servisnou položkou je výmena batérie. Výrobcovia garantujú životnosť buď v rokoch používania, počtu prejetých kilometrov alebo cykloch nabíjania [85]. Firma Škoda pri modeloch ENYAQ iV a ENYAQ Coupé iV garantuje životnosť na 160000 km alebo 8 rokov. Taktiež zaručuje, že počas tejto doby neklesne kapacita pod hodnotu 70 % [86].

3.3 Fáza likvidácie

Na konci životného cyklu automobilu je recyklácia a likvidácia. Vozidlo, ktoré dosiahlo tohto stavu sa nazýva ELV (End-of-life vehicle). Táto fáza zahŕňa samotnú recykláciu, obnovu a opätovné použitie materiálov. Rôzne faktory ovplyvňovali kritériá a koncept recyklácie v EÚ. Zavedenie oblúkových pecí v rokoch 1960-70 dramaticky zvýšilo dopyt oceľových zbytkov z vozidiel, ktoré sa používali ako vstupný šrot do týchto pecí. Neskôr výroba vysokokvalitnej ocele vyžadovala použitie šrotu z vozidiel bez neželezných kovových súčastí, čo vedie k magnetickému oddeleniu železných a neželezných kovov, a teda ich separácii. Regenerácia a separácia hliníka sa stala taktiež dôležitou súčasťou, keďže je viac energeticky efektívnejšie regenerovať hliník ako ho vyrábať. Dnes je recyklácia riadená nielen ekonomickými a technologickými faktormi, ale aj sociálnymi a environmentálnymi dopadmi. Inými slovami, automobilový priemysel sa mení smerom k trvalo udržateľnému odpadovému hospodárstvu. Možnosti recyklácie pre vozidlá na konci životného cyklu súvisia s materiálom použitým pri výrobe vozidla. Zloženie vozidla sa posúva smerom k ľahkým materiálom, ako sú hliník a polymérové zložky. Približne 8 až 9 miliónov vozidiel je odhlásených v EÚ každý rok. Toto je prvý krok pri recyklácii. Avšak skutočný počet recyklovaných áut je menší, môže za to fakt, že v EÚ je významný export ojazdených áut do krajín mimo EÚ. Je to z dôvodu väčších ziskov predaja týchto vozidiel ako neporušených než na náhradné diely [87].

Smernica Európskej Únie 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti (ELV) stanovuje ciele pre recykláciu vozidiel a komponentov. Zároveň nastavila podmienky na minimálnu mieru opätovného použitia 95 % a mieru recyklácie 85 % z celkovej hmotnosti vozidla [91]. Nabáda výrobcov, aby navrhovali svoje vozidlá s ohľadom na opätovné použitie a recykláciu dielov a obmedzuje používanie určitých ťažkých kovov v procese výroby nových vozidiel. Motorové vozidlá, ktorým skončila životnosť a už nie sú vhodné na používanie, produkujú milióny ton odpadu. Legislatíva Európskej Únie stanovuje ako by sa mal tento odpad zbierať a spracovávať, aby sa minimalizoval dopad na životné prostredie, zabezpečilo sa lepšie opätovné využitie materiálov a aby sa zlepšila úspora energie [89].

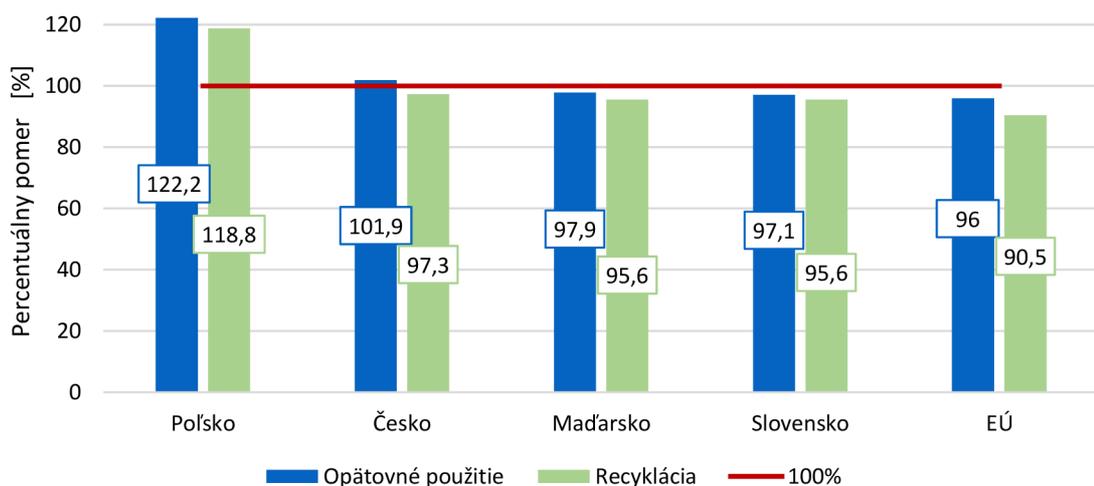
Ako prvé sa z vozidiel odstránia komponenty obsahujúce nebezpečné látky ako sú olovené batérie a oleje. Pri demontáži sa potom odstraňujú cenné komponenty a zachované náhradné diely ako napr. motory, karburátory, pneumatiky atď. Spoločnosti, ktoré majú tieto činnosti na starosti sú nevyhnutné k zníženiu odpadu, ale často im ide len o zisky z následného predaja. Demontáž býva preto často nesprávne vykonaná, čo spôsobuje zvýšenie množstva uvoľnených toxických látok. Po demontáži zostane väčšinou len kostra vozidla, ktorá pokračuje na proces drvenia. Rozdrvený materiál sa triedi rôznymi metódami a ide najmä o magnetické roztriedenie kovov a nekovov [88]. Na Obr. 23 je graficky zobrazený proces recyklácie v jednotlivých bodoch.



Obr. 23 - Proces recyklácie vozidiel na konci životnosti [90]

Na Obr. 24 je zobrazený pomer opätovného použitia a recyklácie pre krajiny V4 a EÚ. Pri analýze miery recyklácie jednotlivých krajín je viditeľné, že v niektorých z nich hodnoty presahujú 100 %. To súvisí so skladovaním vozidiel po životnom cykle a spracovaním v nasledujúcich rokoch. Hmotnosť vozidla odovzdaného na recykláciu je deklarovaná za jeden rok a hmotnosť zhodnotených materiálov z recyklácie v nasledujúci rok. Spoločnosti venujúce sa recyklovaniu sa rozhodnú uskladniť niektoré vozidlá na konci životného cyklu na dlhšie obdobie kvôli nízkej trhovej hodnote kovov [91][93].

Pomer z opätovného použitia a recyklácie áut po životnom cykle 2020



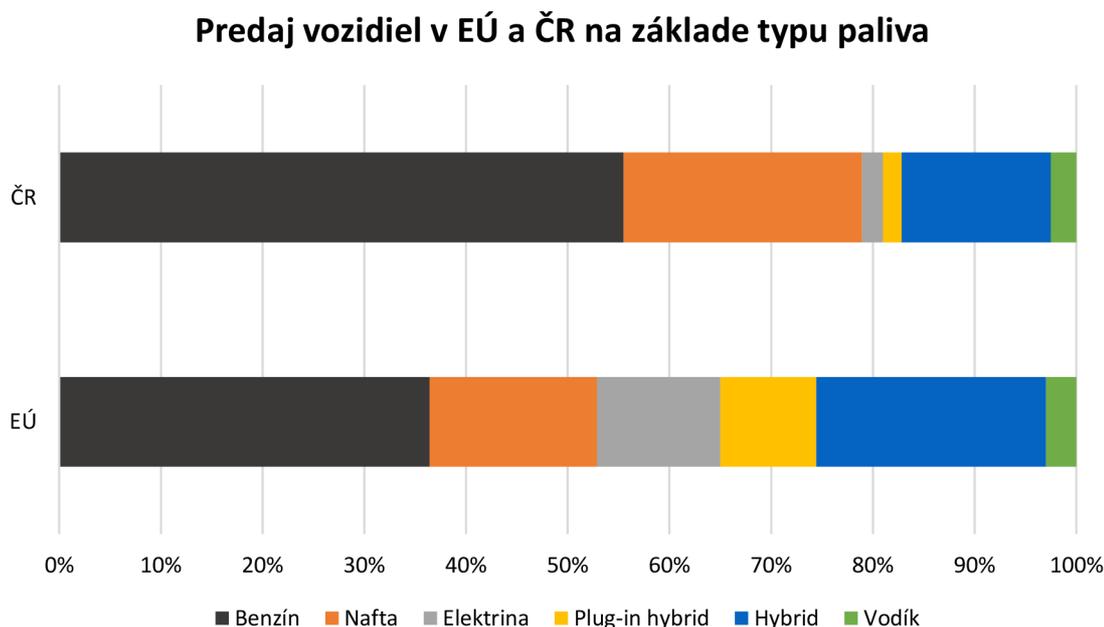
Obr. 24 - Percentuálny pomer znovu použitých a recyklovaných častí vo vozidlách [92]

4. EMISNÉ FAKTORY

Táto kapitola sa venuje emisiám a emisným faktorom pre vybrané typy pohonov SUV modelov. Samostatne bol určený emisný faktor z výroby pre všetky typy automobilov, zároveň pre elektrické a vodíkové vozidlá určený jednotný emisný faktor z výroby batérií.

Pre spracovanie emisných faktorov a pokračovanie s výpočtami bolo potrebné určiť životný cyklus vozidla v najjazdených kilometroch. Ten býva vo väčšine štúdií zaoberajúcich sa touto problematikou volený v rozsahu 150000 – 250000 km. Vozidlá v ČR patria vekovo ku najstarším v EÚ s priemerom 15,93 roku [94]. Ak sa zoberie do úvahy aj priemerný ročný nájazd, ktorý je na jedno vozidlo 10000 – 13000 km, tak pre reálne výsledky simulujúce pomery v ČR bol v tejto práci životný cyklus zaokrúhlený a určený na 200000 km.

Najpredávanejším typom automobilov, či už v EÚ alebo Českej republike sú vozidlá so spaľovacím motorom, ktorých palivom je primárne benzín. Vozidlá s takouto pohonnou jednotkou zodpovedajú 36,42 % z novoregistrovaných áut v EÚ, respektíve až 55,5 % v ČR [95].



Obr. 25 - Porovnanie predaja vozidiel podľa typu paliva [95]

4.1 Reprezentatívna vzorka automobilov

V tejto podkapitole je zhrnutá vzorka automobilov, ktoré sú porovnávané z pohľadu celého životného cyklu. V Tab. 11 je možné vidieť jednotlivé modely a ich dôležité technické parametre. Taktiež obsahuje priemerné vozidlá jednotlivých kategórií, s ktorými sa bude pracovať vo výpočtoch pre čo najobjektívnejšie výsledky.

Tab. 11 - Vybrané modely automobilov a ich technické parametre*

	Váha vozidla	Váha baterky	Spotreba	WLTP emisie
Benzínové vozidlá	[kg]	[kg]	l/100km	[gCO ₂ /km]
Audi Q7 55 TFSI	2055	-	10,6	241
Volvo XC90 B5 AWD	2140	-	9,1	209
Mercedes-Benz GLS 450	2315	-	10,65	242,5
BMW X7 xDrive40i	2410	-	10,15	229
Volkswagen Touareg 2022	2027	-	9,8	254
PRIEMERNÉ B.VOZIDLO	2189,4	-	10,06	235,1
Naftové vozidlá	[kg]	[kg]	l/100km	[gCO ₂ /km]
Audi Q7 50 TDI	2100	-	8,15	214
Volvo XC90 B5 AWD	2120	-	7,2	189
Mercedes-Benz GLS 400d	2350	-	8,85	231
BMW X7 xDrive40d	2485	-	8	214,5
Volkswagen Touareg R-line	2120	-	8,2	217,5
PRIEMERNÉ N.VOZIDLO	2235	-	8,08	213,2
Elektrické vozidlá	[kg]	[kg]	kWh/100km	[gCO ₂ /km]
Audi Q8 50 e-tron	2510	700	22,1	-
Volvo C40 Recharge	2150	530	21,1	-
Mercedes-Benz EQC 400	2495	652	21,6	-
BMW iX xDrive40	2385	520	20,3	-
Volkswagen ID.5 GTX	2167	493	18,8	-
PRIEMERNÉ E.VOZIDLO	2341,4	579	20,78	-
Vodíkové vozidla	[kg]	[kg]	kg/100km	[gCO ₂ /km]
Hyundai Nexo	1889	111,1	0,84	-
Toyota Mirai	1923	87,5	0,79	-
PRIEMERNÉ V.VOZIDLO	1906	99,3	0,82	-

* Technické parametre boli nájdené na stránkach výrobcov

4.2 Výroba

Emisie z výroby vozidla sa začínajú produkovať omnoho skôr ako pri samotnej montáži. Začína to ťažbou a spracovaním surovín na polotovary využívané vo výrobe. Samostatná výroba vozidla sa rozdeľuje na dve časti: pohonnú jednotku a karosériu. Výroba karosérie je veľmi podobná pre všetky typy automobilov. Najväčším rozdielom je práve produkcia pohonnej jednotky a pri elektrických a vodíkových vozidlách samostatná výroba batérie.

4.2.1 Benzínové automobily



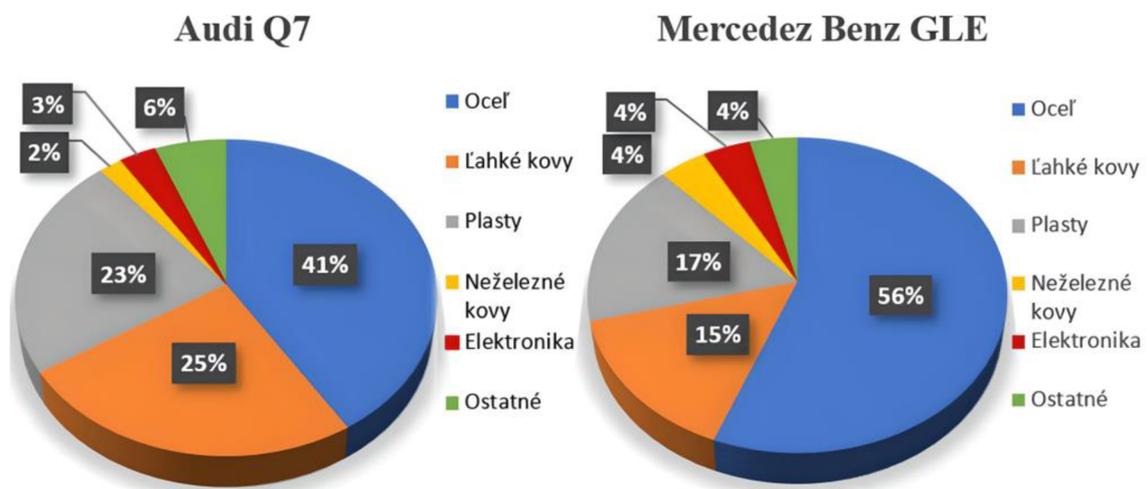
Obr. 26 - Detail pohonnej jednotky a zloženia karoséria benzínovej Audi Q7 [96]

Najdôležitejšími časťami benzínovej pohonnej jednotky sú – spaľovací motor, prevodovka, výfukový systém, palivový systém, nádrž a hnacie hriadele. Obr. 26 znázorňuje príklad konfigurácie pohonnej jednotky a taktiež rozdelenie materiálov v karosérii pre model Audi Q7 [96]. V LCA správe od Audi k novému modelu Q7 sa uvádza, že vďaka využitiu odľahčených kovov dokázali od predchodcu ušetriť 325 kg na celkovej váhe vozidla [97].

Tab. 12 - Parametre modelov Audi Q7 55 a Mercedesu Benz GLE 500 [98][99]

	Audi Q7	M-B GLE 500
Kombinovaná spotreba [l/100km]	10-11,2	11-11,5
Pohotovostná hmotnosť [kg]	2055	2160
Dĺžka [m]	5,063	4,819
Výška [m]	1,741	1,796
Šírka [m]	1,970	1,935
CO ₂ emisie – WLTP [g/km]	255-227	269-258

Porovnanie materiálového zloženia zo správy LCA od Audi a environmentálneho certifikátu pre Mercedes Benz GLE 500 je vid' na Obr. 27. Na výsledky hodnotenia emisií uvoľnených pri výrobe majú zásadný vplyv použité materiály. Väčšia energia sa spotrebuje pri výrobe ľahkých kovov, ako je hliník a horčík, než pri výrobe ocele. Toto má za následok zvýšenie emisií skleníkových plynov počas ich výrobnnej fázy. Aj keď je model GLE o 105 kg ťažší, celkové emisie GHG z výroby má Audi Q7 o 2 tCO₂eq vyššie. Ich presná hodnota je 12,5 tCO₂eq, oproti Mercedesu Benz GLE 500, ktorého emisie vyprodukované počas výroby dosiahli 10,5 tCO₂eq. Najväčšie rozdiely medzi týmito modelmi sú práve v použití ocele a ľahkých kovov. GLE 500 sa skladá až z 56 % ocele, čo je o 15 % viac ako model Q7, ktorý má zase o 10 % vyššie využitie ľahkých kovov. Aj z tohto dôvodu je model Audi Q7 ľahší, čo je výhodnejšie z pohľadu celkového životného cyklu, kedy menšia hmotnosť zníži priemernú spotrebu a aj teda vyprodukované emisie z prevádzky [97][99].



Obr. 27 - Porovnanie zloženia modelov Audi Q7 a Mercedesu Benz GLE 500 [97][99]

Po prechode na normu Euro 6b, museli benzínové autá s priamym vstrekaním paliva znížiť emisie pevných častíc. Služi na to GPF (Gasoline Particulate Filter), je to filter pevných častíc. GPF má štruktúru podobajúcu sa včeliemu plástu a sú vyrobené výlučne z keramického materiálu alebo cordieritu s mikroštruktúrou stien špeciálne navrhnutou pre benzínové výfukové plyny. Štúdia od Emissions Analytics (2022, [100]), ktorá testovala štyri SUV modely – BMW X5, Jeep Wrangler, Toyota RAV4 a Ford (Kuga pre Európu, Escape pre USA) uvádza priemerný pokles v PM emisiách o 86 %. Táto štúdia sa venovala porovnaniu vplyvu GPF v USA a Európe a zároveň pri využívaní na diaľnici a v meste. Vozidlá sa potom testovali na podobných cestných trasách v oboch krajinách, aby bolo možné porovnať hmotnosť a počet emisií častíc. Emisie plynov a počet častíc sa merali pomocou PEMS s difúznym merným prístrojom. V oboch lokalitách boli navrhnuté podobné cestné trasy, ktoré napriek nevyhnutne odlišným dopravným a okolitým podmienkam vykazovali celkovo podobnú dynamiku. Výsledky poklesu sa pohybovali v rozsahu od 76 % do 96 %. Bežné technológie GPF majú

v dnešnej dobe účinnosť filtrácie okolo 80 %. S Euro 7 sa očakáva vývoj GPF s filtráciou blížiacou sa na úroveň 95 %.

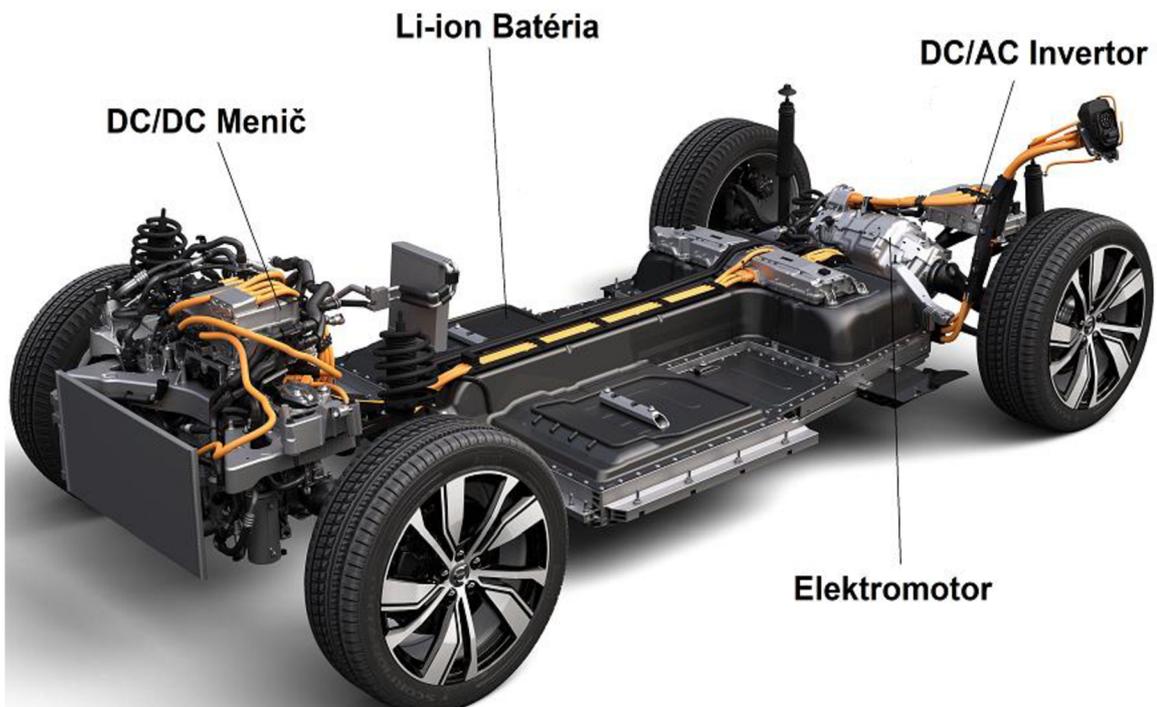
4.2.2 Naftové vozidlá

Väčšina áut, bez ohľadu na to, či jazdia na naftu alebo benzín je vyrobená z podobných materiálov. Čo sa týka výroby týchto typov áut rozdiel je minimálny. Jedným z rozdielných faktorov je hmotnosť, ktorá sa môže líšiť v závislosti od konkrétneho typu a modelu vozidla. V materiálovom zložení medzi dieselovými a benzínovými automobilmi nie je výrazný rozdiel. Môžu však existovať určité rozdiely v konkrétnych materiáloch použitých v určitých častiach motora. Všeobecne platí, že dieselové motory majú tendenciu byť o niečo ťažšie ako benzínové motory, pretože majú robustnejšiu konštrukciu a potrebujú silnejšie komponenty na zvládnutie vyšších tlakov pri spaľovaní.

Dieselové automobily obsahujú DPF (Diesel Particulate Filter), je to filter pevných častíc. V dieselových motoroch vznikajú pri spaľovaní paliva pevné častice. Vo výfukových plynch sa nachádza pomerne vysoký obsah karcinogénnych mikročastíc. Táto časť emisií sa nedá zachytiť pomocou klasického katalyzátora, a preto bol vyvinutý filter DPF, ktorý je schopný zachytiť viac ako 95% týchto uhlíkových mikročastíc a spĺňať tak emisné predpisy. Princíp činnosti DPF filtra je založený na oddelení častíc prenášaných z motora vzduchom a následným ukladaním na zbernú plochu. Ako sa sadze hromadia na DPF, je potrebná pravidelná regenerácia (vyhorenie), aby sa zabránilo upchávaniu DPF alebo nekontrolovanej oxidácii sadzí, ktoré môžu potenciálne poškodiť DPF. K spaľovaniu sadzí s kyslíkom dochádza pri teplote okolo 650 °C, ktorá sa zriedkavo dosahuje vo výfukových plynch dieselových vozidiel. Najčastejšie sa využívajú 2 možnosti a tými sú aktívna a pasívna regenerácia. Pasívna je taká, kedy pri výfukových teplotách 350 – 500 °C dochádza ku katalyckému spaľovaniu a premene sadzí a častíc na CO₂. Aktívna je krátkodobé zvýšenie teploty na 650 °C pomocou zmeny spaľovacieho procesu. Najčastejšie dôjde ku vypáleniu filtra v rozsahu 130 - 1000 km, aby sa zabránilo upchatiu [101]. V štúdiu Huang a spol. (2019, [102]) bola venovaná pozornosť vplyvu DPF filtra pri regenerácii na spotrebu a emisie v reálnych jazdných podmienkach. Na rovnakej trase dlhej 19 km bolo vykonaných 60 jázd s rovnakým vozidlom, pri ktorých boli merané RDE. Pri 51 takýchto jázd bola DPF regenerácia počas merania neaktívna. Z výsledkov zostávajúcich 9 jázd, pri ktorých bola regenerácia aktívna vychádza, že pri aktívnej regenerácii bola zvýšená spotreba v priemere o 13 %. CO₂ emisie stúpili, avšak neprekročili limity určené normami Euro. Celkové NO_x neboli nijak zvlášť poznamenané regeneráciou, iba pomer NO₂ medzi NO_x emisiami bol znížený. Emisie PM boli počas týchto jázd v priemere 27x násobne vyššie ako pri neaktívnej DPF regenerácii a výrazne prekročili dané limity. Pri reálnej jazde sa regenerácia DPF nevykonávala často ale každých 130 km pre prípad skúmaného vozidla. Výsledky naznačujú, že na zníženie spotreby paliva v reálnej prevádzke a emisií pevných častíc počas regenerácie DPF je potrebné čistejšie spaľovania, ktoré zníži frekvenciu regenerácie. Zároveň je potrebná lepšia konštrukcia DPF, ktorá zlepši kvalitu regenerácie.

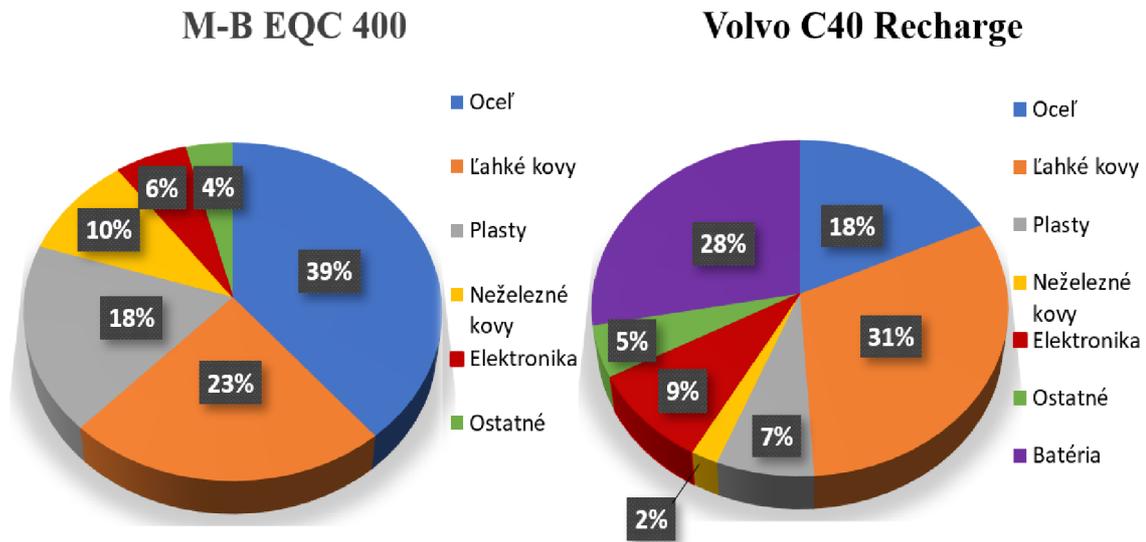
4.2.3 Elektrické vozidlá

Stavba a teda aj výroba elektrických vozidiel je odlišná od automobilov na fosílné palivá. Hlavnými komponentmi elektrických hnacích jednotiek sú elektrický (trakčný) motor, batéria, integrovaná nabíjačka, DC/DC konvertor, DC/AC invertor a distribučná jednotka PDU (power distribution unit). Okrem toho štandardné komponenty ako je prevodovka, ktorá často býva dodávaná ako integrovaná s elektromotorom a hnacie hriadele sú súčasťou pohonu systému. Spaľovací motor je nahradený už spomínaným elektromotorom, ktorý je viac kompaktný a vyžaduje menší počet komponentov, pričom poskytuje vysokú spoľahlivosť pri nízkej náročnosti na údržbu. Medzi ďalšie výhody patrí vysoký stupeň účinnosti a zvýšený komfort z dôvodu znížených vibrácií a hluku pri prevádzke. Zvyčajne funguje aj ako generátor na prevod kinetickej energie (napr. pri zjazde z kopca alebo rekuperácii brzdného účinku) na elektrickú energiu, čím umožňuje obnovu a dobíjanie batérie. Olovený akumulátor dodáva nízkonapäťovú elektrickú energiu, zvyčajne 12 V. Táto nízkonapäťová energia sa používa na napájanie elektronických zariadení vozidla (napr. riadiacu jednotku atď.). DC/AC invertor premieňa jednosmerný prúd batérie na striedavý prúd, ktorý sa potom používa na riadenie rýchlosti motora. Zariadenie je zodpovedné za vykonávanie zrýchlenia a spomalenia, takže zohráva kľúčovú úlohu pri maximalizácii jazdných vlastností EV [103]. PDU dodáva elektrickú energiu v rámci elektrického systému vozidla a zároveň chráni elektronické komponenty a cestujúcich v aute (ochrana obvodu) [104]. Na Obr. 28 je znázornená pohonná jednotka elektrického modelu Volvo C40 Recharge s vyznačenými hlavnými komponentami.



Obr. 28 - Pohonná jednotka Volvo C40 Recharge [105]

Na Obr. 29 je znázornené porovnanie materiálového zloženia elektro vozidiel. Rozdiely v zložení oproti vozidlám na fosílné palivá sú najmä v klesajúcom percentuálnom zastúpení oceli. Je to spôsobené nahradením spaľovacieho motora a znížením počtu komponentov. Na druhej strane, podiel ľahkých zliatin, polymérov a iných kovov sa zvyšuje. Z dôvodu zvýšeného podielu elektronických komponentov je aj zvýšený podiel materiálov pre elektroniku.



Obr. 29 - Materiálové zloženie elektrických modelov EQC 400 a C40 Recharge [32][106]

Celkové emisie z výroby elektro automobilov sú vyššie ako emisie z vozidiel na fosílné palivá. Je to spôsobené najmä náročnosťou batérie na materiály a ich spracovanie. Hodnota celkových emisií z výroby pre Mercedes-Benz EQC 400 je 16400 kgCO₂eq. Pre vozidlá so spaľovacím motorom je táto hodnota v priemere 10000 – 13000 kgCO₂eq v závislosti na hmotnosti a výrobcovi.

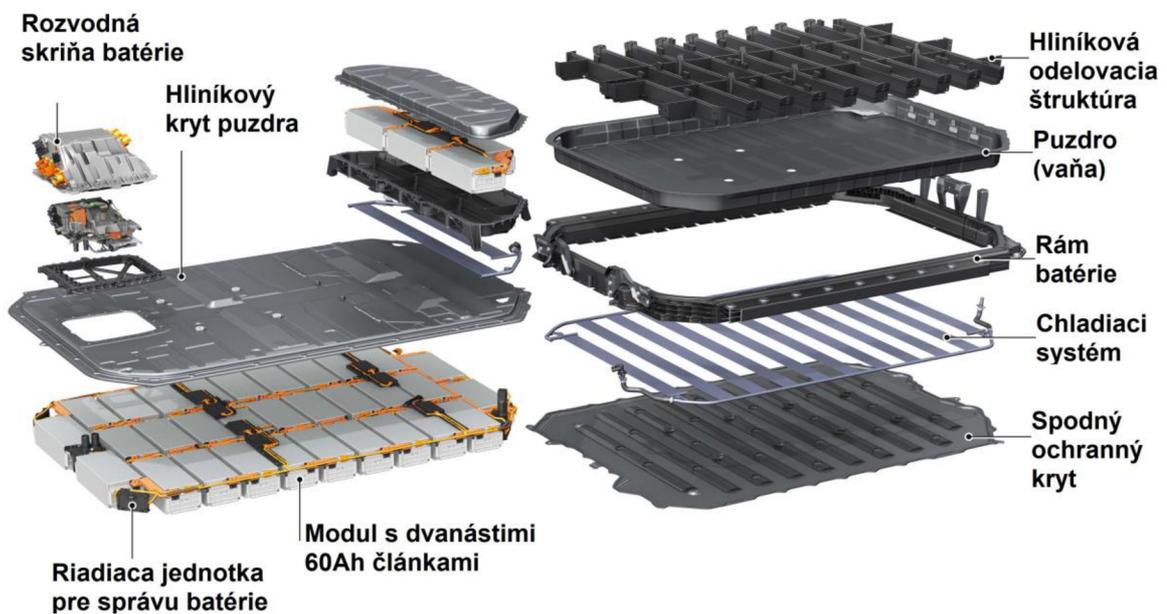
Batéria uchováva elektrickú energiu poskytovanú integrovanou nabíjačkou alebo elektrickým pohonným systémom a skladá sa z rôznych modulov. Kapacita batérie určuje maximálnu dojazdovú vzdialenosť vozidla, ale ovplyvňuje aj celkovú hmotnosť. Na optimalizáciu výkonu batérie je najdôležitejším parametrom hustota uloženej energie. Vysokú hustotu energie možno dosiahnuť pomocou malých, ľahkých batériových modulov schopných uložiť čo najviac energie. Systém riadenia batérií riadi jednotlivé články batérie, aby sa zabezpečila správna činnosť a monitoring stavu nabitia a vybitia [103]. V dnešnej dobe takmer všetky elektro automobily obsahujú nejaký typ Li-ion batérie. Najviac využívanými katódovými materiálmi sú $LiNi_xMn_yCo_zO_2$ (NMC), $LiNi_xCo_yAl_zO_2$ (NCA) a $LiFePO_4$ (LFP). Nikel-mangán-kobaltové batérie sú najbežnejšou formou, ktorú je dnes možné nájsť v EV, tento typ batérie sa nachádza aj v EQS 400. Batérie NMC sú výhodné z dôvodu vyššej hustoty energie (väčší dojazd) a sú menej citlivé na nízke teploty. To znamená, že sa môžu nabíjať rýchlejšie v chladnom prostredí. Plné nabíjanie by malo byť len príležitostné, keď je to potrebné, napríklad počas

dlhých ciest. Nikel-kobalt-hliníkové batérie sú podobné batériám NMC a ich využívanie podporuje najmä Tesla, ktorá ich využíva vo všetkých vozidlách okrem vozidiel vyrábaných v Číne. Vo vozidlách Tesla vyrábaných v Číne sú používané batérie LFP je to z dôvodu podpory tohto typu batérie Čínskym priemyslom. Batérie NCA majú vysokú energetickú hustotu a zároveň vymieňajú drahší mangánový materiál za hliník, aby sa zlepšila ich dostupnosť a životnosť v porovnaní s NMC. Batérie NCA však majú stále kratší životný cyklus a sú drahšie ako batérie LFP, pretože obsahujú obmedzené množstvá kobaltu a niklu. Zloženie lítium-železo-fosfát sa využíva ako lacnejší, udržateľnejší typ batérie. Rozhodujúcim dôvodom pre používanie takejto batérie firmami je zníženie počiatočnej cenovej bariéry pre menšie elektrické vozidlá. Na rozdiel od NMC a NCA batérie LFP neobsahujú nikel, kobalt a mangán, čo má za následok lacnejšie výrobné náklady. V porovnaní s NMC sú tiež robustnejšie a menej náchylné na thermal runaway. Kľúčovou výhodou LFP je ich dlhší životný cyklus, čo má za následok menšie obavy z degradácie. Batérie LFP sú schopné vykonať viac ako 3000 cyklov úplného nabitia v porovnaní s NMC, ktoré vykonajú približne 1000 až 2000 cyklov [107]. Za skratkou NMC sú tri čísla označujúce pomer prvkov použitých pre katódu. NMC 811 sú novším typom, majú vysokú koncentráciu niklu a veľmi nízky obsah mangánu a kobaltu. Výsledkom je vyššia hustota energie pri nižších nákladoch. Pracuje sa aj na článkoch NMC 9.5.5, ktoré obsahujú 90 % niklu a po 5 % mangánu a kobaltu bežnejšie sú však články NMC 622. V Tab. 13 je zobrazené množstvo kovov využitých v jednotlivých typoch batérií pre 1 kWh.

Tab. 13 - Zloženie batérií pre EV [108]

Materiál	NMC111	NMC532	NMC622	NMC811	NMC9.5.5	NCA	LFP
Lítium	0,12	0,11	0,11	0,08	0,07	0,10	0,09
Nikel	0,34	0,47	0,53	0,64	0,66	0,70	-
Mangán	0,32	0,27	0,17	0,08	0,03	-	-
Kobalt	0,34	0,19	0,18	0,08	0,04	0,13	-
Hliník	0,62	0,58	0,55	0,50	0,46	0,55	0,73
Grafit	0,94	0,88	0,83	0,76	0,69	0,81	1,10
Meď	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,31	0,43
Železo	-	-	-	-	-	-	0,69

Jedným z najdôležitejších parametrov batérií je energetická hustota. Táto veličina sa vzťahuje k množstvu energie, ktoré je uložené v batérii na jednotku objemu alebo hmotnosti. V podstate to znamená, že čím väčšia je energetická hustota, tým viac energie je batéria schopná uchovať v určenom objeme alebo hmotnosti. Energetická hustota batérie sa obvykle vyjadruje v jednotkách watt-hodina na kilogram (Wh/kg) alebo watt-hodina na liter (Wh/l). V súčasnosti sú pre elektromobily najbežnejšie batérie s Li-ion článkami, tieto články dosahujú energetickú hustotu v rozsahu od 100 až 300 Wh/kg. Batéria NMC 622 od výrobcu LG Chem pre Audi Q8 má energetickú hustotu 1 článku 286 Wh/kg [110]. Avšak, niektoré nové technológie, ako sú napríklad Li-S (lithium-síra) a Li-Metal (lithium-kov), majú potenciál dosiahnuť energetickú hustotu vyššiu ako 500 Wh/kg [109].



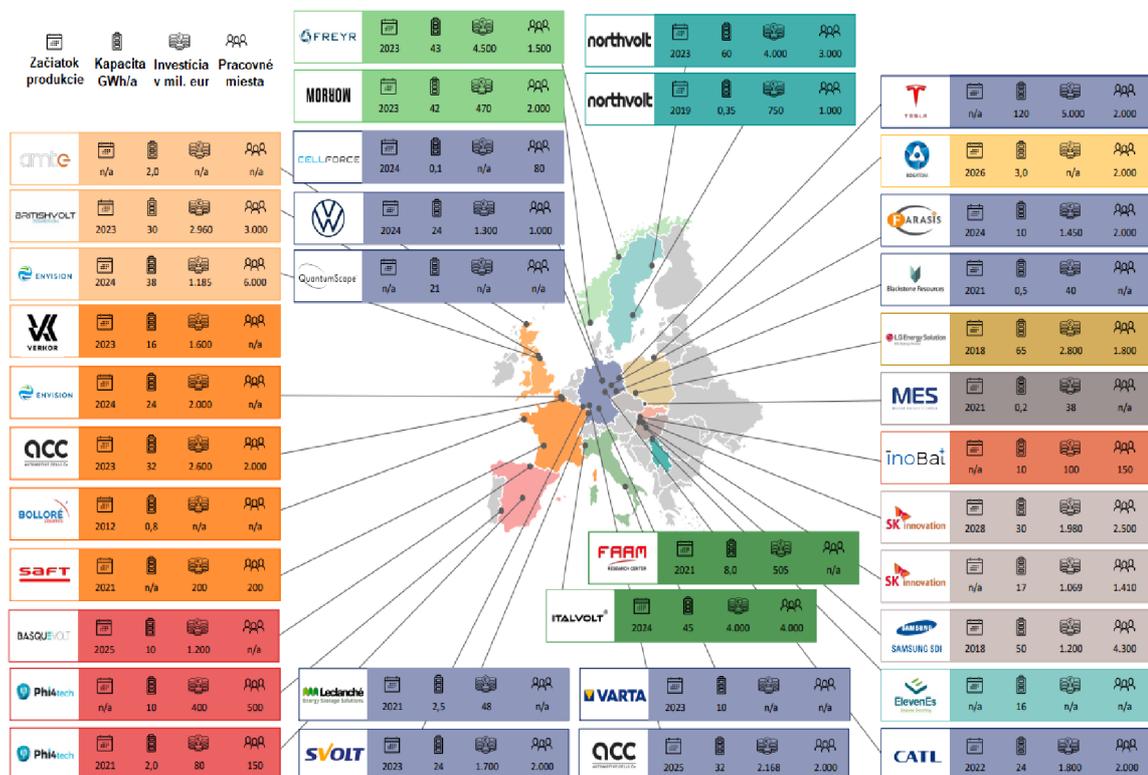
Obr. 30 - Zloženie Li-ion batérie pre Audi Q8 e-tron [110]

Výrobcovia automobilov pre ochranu batérie používajú softvér na udržanie zdravého stavu, nastavením bezpečnostnej hranice, ktorá zabraňuje úplnému nabitíu na 100 %. Prístrojová doska auta síce stále zobrazuje 100 %, ale v skutočnosti sa batéria nenabije do tejto hodnoty. V závislosti od výrobcu je využiteľná kapacita zvyčajne medzi 95 % a 99 % (spodný limit) celkovej fyzickej kapacity batérie. Napríklad batéria, ktorá fyzicky dokáže udržať celkovo 65 kWh, môže poskytnúť automobilu na použitie iba 62 kWh [111].

Tab. 14 - Využitelná kapacita batérií pre vybrané SUV modely [112]

Model vozidla	Typ batérie	Celková kapacita	Využitelná kapacita	Výrobca
Audi Q8 50 e-tron	NMC 622	95 kWh	89 kWh	LG Chem
Volvo C40 Recharge	NMC 622	82 kWh	79 kWh	LG Chem a CATL
Mercedes-Benz EQC 400	NMC 622	85 kWh	80 kWh	LG Chem
BMW iX xDrive40	LFP	76,6 kWh	71 kWh	ONE
Volkswagen ID.5 GTX	NMC 712	82 kWh	77 kWh	LG Chem/SK innovation
Priemer	-	84,1 kWh	79,2 kWh	-

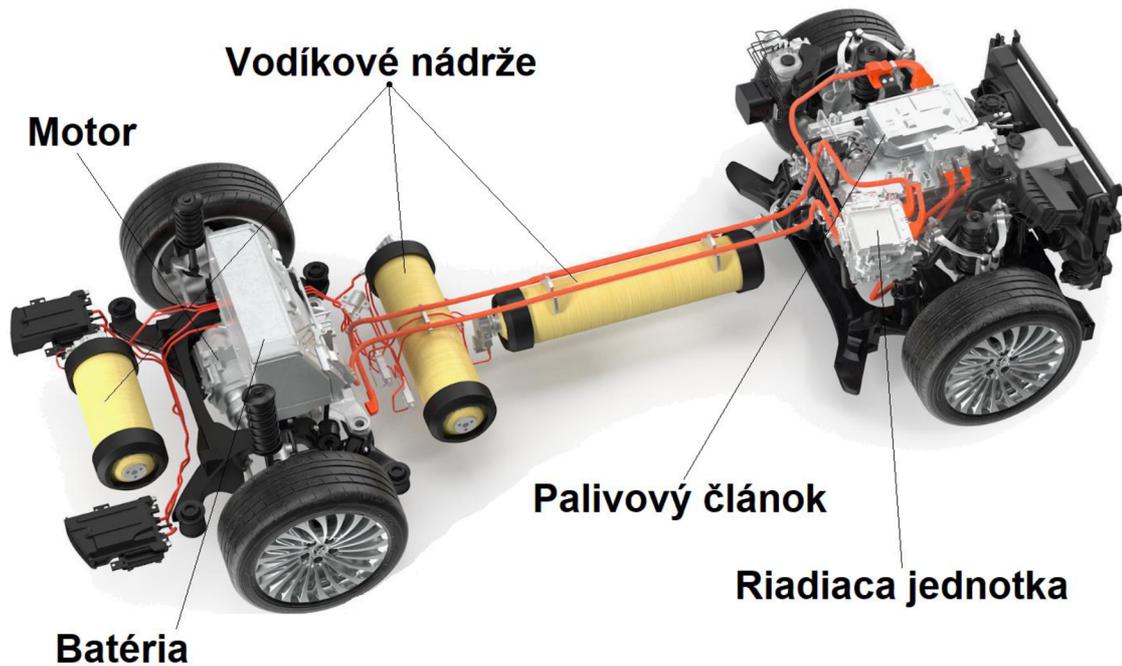
Stále stúpajúci dopyt po rozvoji elektro mobility a efektívnejších vozidlách spolu s cieľmi a normami EÚ posilňuje samostatný trh s EV. To sa priamo dotýka aj výrobcov batérií, ktorí v Európe rozširujú svoje výrobné kapacity alebo otvárajú nové pobočky. Investície nie sú zamerané čisto len na výrobu, nemalé financie sú vkladane do vývoja nových typov batérií alebo ich zdokonaľovaním. Najväčšími výrobcami Li-ion batérií pre elektromobily sú v súčasnosti spoločnosti ako Tesla, LG Chem, Panasonic, BYD a CATL. Tieto spoločnosti sa neustále snažia zlepšovať energetickú hustotu svojich batérií a zároveň znižovať náklady, aby elektromobily boli cenovo konkurencieschopné s klasickými vozidlami na spaľovací motor.



Obr. 31 - Výrobcovia batériek v Európe s výrobnou kapacitou [113]

4.2.4 Vodíkové vozidlá

Vozidlo s vodíkovými palivovými článkami používa ako pohon rovnaký druh elektromotora ako elektrické auto. Nie je však poháňaný veľkou a ťažkou batériou, ale kombináciou menšej batérie a zásobníkom palivových článkov, v ktorom čistý vodík prechádza membránou, aby sa spojil s kyslíkom zo vzduchu, čím sa vyrába elektrina, ktorá otáča kolesá. Najväčším rozdielom sú vodíkové nádrže, ktoré bývajú umiestnené v spodnej časti vozidla.



Obr. 32 - Pohonná jednotka Toyota Mirai 2 [114]

Podľa štúdie životného cyklu v Číne Chen a spol. (2019, [115]), výroba vodíkovej Mirai vyprodukuje 15,3 tCO₂eq. Až 53,7 % z týchto emisií je z výroby pohonného systému. Karoséria a podvozok zodpovedajú 26,7 % a samostatná montáž vyprodukuje 19,6 %. Palivový článok pozostáva z 370 článkov a má menovitý výkon 114 kW. Mirai druhej generácie, uvedená na trh v roku 2020, je poháňaná batériou LFP. Batéria má výkon 1,6 kWh a celkovú hmotnosť cca 40 kg. Štúdia Bieker (2021, [116]) uvádza emisný faktor pre vodíkové vozidlá 5,7 tCO₂eq/t_{vozidla}, táto hodnota je bez emisií batérie a vodíkoveho systému. Vychádzajúc z dostupných štúdií, táto práca spriemerovala emisie z výroby vodíkovej nádrže a palivového článku na cca 5 tCO₂eq. Avšak vo výpočtoch používa hodnoty z GREET modelu, kde sa emisie rovnajú 3,4 tCO₂eq pre Toyota Mirai 2 a 4,2 tCO₂eq pre Hyundai Nexu. Toyota Mirai 2 spadá do kategórie stredne veľkých automobilov, kde sa počítalo so životným cyklom 243000 km, model Hyundai Nexu patrí do kategórie SUV so životným cyklom 270000 km. Pri odčítaní emisií počas životného cyklu z grafov pre Európu by sa hodnoty z výroby vozidla a vodíkoveho systému rovnali 39 gCO₂eq/km pre Toyota Mirai 2, respektíve 44 gCO₂eq/km pre Hyundai Nexu. Celkové emisie z výroby týchto modelov by boli 9,5 tCO₂eq a 11,9 tCO₂eq.

Bekel a spol. (2019, [117]) v štúdiu sledovali environmentálny dopad vodíkových automobilov v Nemecku. Životný cyklus vozidiel bol určený v tejto práci na 150000 km. Pracovali s hodnotou elektrického mixu podobného českému 415 gCO₂eq/kWh. Pri tejto hodnote energetického mixu by boli celkové emisie z výroby Toyoty Mirai na hodnote 14,5 tCO₂eq. V štúdiu Joshi a spol. (2022, [118]), ktorá sa zaoberala životnými cyklami automobilov v Nepále počítali emisie z výroby s emisným faktorom 72 gCO₂eq/km pri životnom cykle 200000 km pre model Hyundai Nexu. Emisie z výroby sa rovnali hodnote 14,4 tCO₂eq. Problematika emisií vodíkových nádrží je spôsobená aj bezpečnostným faktorom, ktorý musí byť pri tomto komponente dodržaný. Nádrže sú preto viac vrstvom a výrobou environmentálne náročné. Zloženie nádrže po vrstvách je viditeľné na Obr. 33.

Bezpečnosť vodíkovej nádrže



Obr. 33 - Zloženie vodíkovej nádrže pre Hyundai Nexu [119]

Emisie modelu Toyoty Mirai a jeho dopady na environmentálne prostredie boli podrobne spracované v akademickej práci (Garbe, 2020). Z výsledkov vyplýva, že výroba tohto modelu vytvorí až 20,04 tCO₂eq. Len samostatné vodíkové nádrže zodpovedajú podľa tejto práce za 6,07 tCO₂eq. Je to spôsobené energeticky náročnou výrobou plastu vystuženého uhlíkovými vláknami pre vysokotlakovú vodíkovú nádrž [120]. Podrobné emisie z výroby z tejto štúdie sú vid' Tab. 15.

Tab. 15 - Výrobné emisie Toyota Mirai [120]

LCA výsledky	GWP 100 [kgCO₂eq]
Palivový článok	2819,73
Nádrž	6072,79
Batéria	418,14
Jednotka riadenia výkonu	100,16
Elektrický motor	95,82
Vodíkový systém	603,88
Karoséria a podvozok	9931
SPOLU	20042,18

Na základe rozdielnych informácií z vyššie spomenutých štúdií pre výpočet emisií z výroby vodíkových vozidiel bude v tejto práci využitý jednotný emisný faktor z výroby vozidiel pre všetky typy pohonov. Zároveň pre vozidlá s elektrickou batériou bude určený samostatný emisný faktor pre výrobu batérie. Na základe štúdií vodíkových vozidiel Bieker (2021) a Garbe (2020) je v tejto práci stanovená hodnota z výroby nádrží na 5 tCO₂eq.

4.3 Emisný faktor z výroby vozidla a z výroby batérií

Emisný faktor z výroby bol určený priemerom, ktorého výpočet bol spracovaný z dostupných informáciách o emisiách z výroby vybraných SUV modelov. Pre výpočet sa pracovalo s hodnotami od vozidiel Audi Q7 50 TDI, Mercedes-Benz EQC 400, Volvo XC90 ICE, Mercedes-Benz GLE 500 a Volkswagen ID.4. Pre výpočet bola potrebná hmotnosť vozidla bez batérie. Požadované parametre k výpočtu sú v Tab. 16 nižšie.

Tab. 16 - Porovnanie hodnôt pre výpočet emisného faktoru z výroby SUV modelov

Model	Hmotnosť vozidla [kg]	Emisie z výroby [tCO ₂ eq]
Audi Q7 50 TDI	2100	12,5
Mercedes-Benz EQC 400	2495 (Batéria 652 kg)	16,4 (spolu s batériou)
Volvo XC90 B5 AWD	2140	15,7
Mercedes-Benz GLE 500	2160	10,5
Volkswagen ID.4	2100 (Batéria 491 kg)	15,6 (spolu s batériou)

Pri elektrických modeloch Mercedes-Benz EQC 400 a Volkswagen ID.4 bolo nutné pre správne určenie emisného faktoru z výroby odstrániť emisie tvorené batériou. Emisný faktor z výroby akumulátorov sa uvádza v rozsahu od 70-110 kgCO₂eq na 1 kWh kapacity batérie podľa typu chemického zloženia batérie. Výroba NMC spôsobuje najnižší GWP na 1 kWh kapacity (75,5 kgCO₂eq), za ktorou nasledujú NCA, LFP a SIB [121]. Hmotnosť akumulátorového modulu je pre model EQC 652 kg a jedná sa o 85 kWh batériu, ID. 4 figuruje s 82 kWh batériou o hmotnosti 491 kg. Pri odrátaní týchto emisií vyšli emisie z výroby modelu EQC 10400 kg a emisie ID. 4 sa rovnali 9450 kg.

$$E_{F\text{Vozidlo}} = \frac{E_{\text{výroba vozidla}}}{m}$$

$E_{F\text{Vozidlo}}$ – Emisný faktor z výroby vozidla

$E_{\text{výroba vozidla}}$ – Emisie z výroby vozidla uvedené výrobcom

m – Hmotnosť vozidla (EV hmotnosť bez batérie)

(4.1)

$$E_{f_{\text{výroba}}} = \frac{12\,500 + 10\,400 + 15\,700 + 10\,500 + 9\,450}{2\,165 + 1\,843 + 2\,140 + 2\,160 + 1\,609}$$

$$E_{f_{\text{výroba}}} = 5,90 \text{ kgCO}_2\text{eq/kg}$$

Na základe výpočtu (4.2) bude emisný faktor z výroby, s ktorým sa v tejto práci bude pracovať rovný 5,90 kgCO₂eq na kilogram vozidla. Pre výrobu batérie sa bude využívať emisný faktor 75,5 kgCO₂eq na 1 kWh batérie zo štúdie Mohr a kol. (2020, je to z dôvodu, že väčšina porovnávaných elektrických vozidiel disponuje NMC batériou.

4.4 Hodnoty emisných faktorov pre palivá za rok 2021

Na určenie jednotlivých hodnôt emisných faktorov za rok 2021 pre Českú republiku sú využité informácie z kapitoly 3.2.2., kde sa práca podrobnejšie venuje jednotlivým zdrojom. Z dostupných dát vychádza, že na výrobu 1 kWh elektrickej energie sa v Českej republike vyprodukuje 0,40127 kgCO₂eq. Takto vysoké číslo je spôsobené vyšším podielom uhlia využívaného v elektrárnach na tvorbu elektrickej energie. Podľa dostupných materiálov je to takmer až 40% produkcie elektrickej energie Českej republiky. V priemere 1 kWh stačí elektromobilu na prejsenie 4,5 - 6,5 km (v závislosti na modeli vozidla). Emisie pre elektrickú energiu sú v rozsahu 0,06173 - 0,08917 kgCO₂eq/km. Z dôvodu, že vzorka vozidiel má priemernú spotrebu 20,78 kWh/100 km a to zodpovedá hodnote 4,81 km/kWh sa pre výpočty využije hodnota emisií 0,08334 kgCO₂eq/km.

Hyundai Nexu má kapacitu nádrže 6,33 kg vodíka s dojazdom 756 km [122]. Toyota Mirai 2 má objem nádrže 5,6 kg a priemernú kombinovanú spotrebu 0,79 kg/100km. Priemerná spotreba pre vodíkové autá vychádzajúca z týchto hodnôt je 0,815 kg/100km [91]. Aby vodík uchoval energiu 1 kWh, je potrebné množstvo 0,03 kg. S týmto množstvom dokáže vodíkové vozidlo prejsť cca 3,681 km. Na výrobu takéhoto množstva vodíka je spotrebovaných 1,575 kWh elektrickej energie pri metóde výroby elektrolýzou. Emisie sú teda pre výrobu vodíka pomocou elektrolýzy na hodnote 0,17169 kgCO₂eq/km.

Pre naftu je emisný faktor z výroby 0,59698 kgCO₂eq/l, pri spaľovaní sa uvoľní ďalších 2,6552 kgCO₂eq/l. Súčtom sa získajú celkové emisie pre 1 l nafty, výpočet pre 1 km pokračuje zohľadnením spotreby. Ak zoberieme priemernú spotrebu vybraných vozidiel 8,08 l/100km, celková hodnota emisií sa rovná 262,78 gCO₂eq/km.

Emisný faktor benzínu z výroby je 0,63232 kgCO₂eq/l, jeho spaľovaním v motore sa vytvára ešte 2,392 kgCO₂eq/l. Priemerná spotreba pre benzínové automobily je 10,06 l/100km. Na jeden kilometer sa teda pri benzíne uvoľní 304,25 gCO₂eq.

Na základe týchto skutočností, bude práca uvažovať s tým, že každé palivo má svoj emisný faktor z výroby paliva E_{FWTT} vid'. Tab. 17. Fosílné palivá akými je nafta a benzín majú aj rozličný emisný faktor zo spotreby paliva E_{FTTW} . Pre naftu sa emisný faktor z výroby $E_{FWTT-Nafta}$ rovná 0,04824 kgCO₂eq/km. Emisný faktor z výroby benzínu $E_{FWTT-Benzín}$ je podľa rešerše rovný 0,06361 kgCO₂eq/km. Pri výpočtoch elektrickej energie ako paliva sa využije $E_{FWTT-Elektrina}$ odpovedajúci 0,8342 kgCO₂eq/km. Výrobe vodíku zodpovedá emisný faktor, ktorého hodnota sa rovná 0,17169 kgCO₂eq/km. Pri spotrebe paliva bol určený pre naftu emisný faktor $E_{FTTW-Nafta}$ rovnajúci sa 0,21454 kgCO₂eq/km. Pre spaľovanie benzínu bude vo výpočtoch využitý emisný faktor $E_{FTTW-Benzín}$ o hodnote 0,24064 kgCO₂eq/km.

Tab. 17 - Emisné faktory palív a ich emisie na jeden kilometer

	Emisný faktor z výroby		Emisný faktor zo spotreby		Celkové emisie
	kgCO ₂ eq/l	kgCO ₂ eq/km	kgCO ₂ eq/l	kgCO ₂ eq/km	
Nafta	0,59698	0,04824	2,6552	0,21454	262,78
Benzín	0,63232	0,06361	2,392	0,24064	304,25
	kgCO ₂ eq/kWh	kgCO ₂ eq/km	kgCO ₂ eq/kWh	kgCO ₂ eq/km	gCO ₂ eq/km
Elektrina	0,40127	0,8342	-	-	83,42
Vodík	0,632	0,17169	-	-	171,69

4.4.1 Vodík

Celosvetovo je v súčasnosti až 96 % všetkého vyrobeného vodíku z fosílnych palív. Podľa dát za rok 2021 sa takmer 47 % celosvetovej výroby vodíka vyrába zo zemného plynu (parným reformingom zemného plynu), 27 % z uhlia, 22 % z ropy (ako vedľajší produkt) a iba 4 % zodpovedajú výrobe elektrolyzou [123]. Vodík je farebne označený podľa zdroja alebo procesu využitého na výrobu vodíka. Medzi najčastejšie typy vodíka patria šedý, čierny/hnedý, modrý a zelený. Šedý vodík sa vyrába z fosílnych palív a bežne sa používa metóda parného reformingu metánu (SMR). Výroba vodíku metódou SMR je v súčasnosti najlacnejšia a celosvetovo najrozšírenejšia. Teplo na reformingovú reakciu a následnú premenu oxidu uhľnatého sa získava priamym spaľovaním časti zemného plynu. Počas tohto procesu vzniká CO₂, ktorý sa nakoniec uvoľňuje do atmosféry. Na základe typu použitého uhlia pre skvapalňovanie vodíka sa označuje takto vyrobený vodík ako čierny/hnedý. Je to však veľmi znečisťujúci proces a ako vedľajšie produkty vznikajú CO₂ a oxid uhľnatý, ktoré sa uvoľňujú do atmosféry. Modrý vodík síce taktiež pochádza z fosílnych palív ale kategorizuje sa ako uhlíkovu neutrálny. Je to spôsobené tým, že uvoľnené CO₂ sa zachytáva a ukladá pod zem. Využitie CO₂ nie je nevyhnutné na to, aby sa modrý vodík kvalifikoval ako neutrálny. Modrý vodík je čistejšou alternatívou šedého vodíka, ale je drahý, pretože sa používa technológia zachytávania uhlíka. Zelený vodík sa vyrába elektrolyzou vody s využitím obnoviteľnej elektrickej energie. Dôvodom, prečo sa nazýva zelený, je skutočnosť, že počas výrobného procesu vznikajú malé alebo až žiadne emisie CO₂. Elektrolyza vody je proces, ktorý využíva elektrickú energiu na rozklad vody na plynný vodík a kyslík. Pri elektrolyze je možné využiť aj elektrickú energiu z jadrových elektrární avšak pri tomto spôsobe sa hovorí o ružovom vodíku [124]. V Českej republike je ročná výroba vodíka cca 100000 t za rok. Až 83 % vyrobeného vodíka pochádza z metódy parciálnej oxidácie ropných zbytkov (POX). Výroba zo zemného plynu je 15 % celkovej Českej produkcie. Výroba vodíka elektrolyzou zodpovedá len 2 % produkcie, zároveň sa jedná len výskum v oblastiach vodíka. V budúcnosti má práve elektrolyza najväčší potenciál pri využití obnoviteľných zdrojov [125].

V kapitole 4.4 je určený emisný faktor pre vodík vyrobený elektrolýzou, to však nie je jediný možný spôsob výroby. Výroba vodíku pomocou metódy POX má v Českej Republike emisnú stopu 125 gCO₂eq/MJ [125], čo zodpovedá 0,12224 kgCO₂eq/km. Využitím parného reformingu metánu bez uloženie CO₂, má tento proces emisie na úrovni 113 gCO₂eq/MJ [66]. Je to spôsobené tým, že sa počíta s dopravou zemného plynu z Blízkeho východu. Takto vyrobený vodík má emisnú stopu 0,11051 kgCO₂eq/km. Uhlie sa v súčasnosti podieľa na celosvetovej výrobe vodíka približne jednou pätinou, a to najmä na základe v Číne, v ČR táto metóda nefiguruje medzi používanými. Ak by sa na základe dát z Číny počítalo s podobnou výrobou vodíka v Českej Republike, emisie z tohto procesu by boli v rozsahu 22-26 kgCO₂eq/H₂ [126]. Hodnota emisií za celý proces výroby vodíka pomocou uhlia by teda zodpovedala rozsahu 0,18111 - 0,21404 kgCO₂eq/km, pre strednú hodnotu by boli emisie z výroby vodíka na úrovni 0,19757 kgCO₂eq/km.

Tab. 18 - Well-To-Tank emisné faktory vodíka Českú republiku [66][125][126]

Výroba vodíka	Emisie [kgCO ₂ eq/km]
Elektrolýza z energetického mixu 2021	0,17169
Štiepenie zemného plynu (preprava z Blízkeho východu)	0,11051
Parciálna oxidácia ropných zbytkov v ČR	0,12224
Splyňovania uhlia (Dáta z Číny)	0,19757

4.4.2 AdBlue

V mnohých nových vozidlách s naftovým motorom vyrobených od roku 2016 sa na splnenie požiadaviek normy Euro 6 používa technológia SCR (Selective Catalytic Reduction) na zníženie škodlivých emisií oxidu dusnatého (NO_x) zo spaľovania paliva. Funguje tak, že do prúdu výfukových plynov dieselového motora sa vstrekuje kvapalina DEF (Diesel Exhaust Fluid) alebo inak známa ako AdBlue cez špeciálne navrhnutý katalyzátor. Kvapalina spolu s výfukovými plynmi dieselových motorov spúšťa chemickú reakciu, ktorá premieňa NO_x na dusík, vodu a veľmi malé množstvo CO₂. Technológia SCR môže dosiahnuť až 90 % redukciu NO_x [127]. AdBlue je 32,5 % vodný roztok močoviny, ktorý sa vyrába z technicky čistej močoviny CO(NH₂)₂ a demineralizovanej vody. Je to bezfarebná, číra kvapalina, ktorá slabozapácha po amoniaku. Požiadavky na kvalitu sú v zmysle normy ISO 22241-1. Spotreba AdBlue® predstavuje približne 4-6 % spotreby nafty [128]. Výrobu AdBlue veľmi poznačila rastúca cena plynu v Európe, z ktorého sa vyrába čpavok, do ktorého sa primiešava CO₂, čo kompletizuje výrobu. Mnoho popredných výrobcov medzi, ktorých patrí aj Duslo Šaľa zo Slovenska, znížilo objem výroby, čo môže ohroziť vozidlá, ktoré potrebujú AdBlue pre splnenie emisných noriem.

Celkové emisie skleníkových plynov pri výrobe a používaní (spaľovaní) predstavujú približne 502 gCO₂eq/kg AdBlue. Z toho 264 gCO₂eq/kg sa emituje počas výroby (WellToTank) a 238 gCO₂eq/kg sa emituje počas spaľovania (TankToWheel) [67]. Spotreba AdBlue sa môže výrazne líšiť v závislosti od dátumu výroby vozidla. Spotreba AdBlue vozidiel vybavených dieselovými motormi vyrobenými po roku 2018 sa v priemere zdvojnásobila. Dôvodom zvýšenia spotreby sú prísnejšie európske normy EURO 6 týkajúce sa emisií oxidov dusíka (NO_x). Spotreba AdBlue pre vozidlá vyrobené pred rokom 2018 sa pohybuje v rozmedzí od 0,07 do 0,2 l/100 km. V prípade vozidiel vyrobených po roku 2018 je spotreba vyššia, a to od 0,14 do 0,4 l/100 km [129]. Hustota je AdBlue je 1,090 kg/l [130], pre 0,4 l spotrebovaného AdBlue sa hmotnosť rovná 0,436 kg. Celý životný cyklus teda AdBlue pridáva od 0,7661 do 2,189 gCO₂eq/km vid'. (4.3). Vo výpočtoch bude použitá stredná hodnota z tohto rozsahu, a tá zodpovedá 1,48 gCO₂eq/km.

$$E_{AdBlue} = \frac{E_{VýrobaAB} * m_{AB} + E_{Spotreba AB} * m_{AB}}{d_{100}}$$

$E_{VýrobaAB}$ – Emisný faktor z výroby AdBlue

$E_{Spotreba AB}$ – Emisný faktor zo spotreby AdBlue

m_{AB} – Hmotnosť využitého AdBlue

d_{100} – Vzdialenosť

(4.4)

$$E_{AdBlue} = \frac{264 * 0,436 + 238 * 0,436}{100}$$

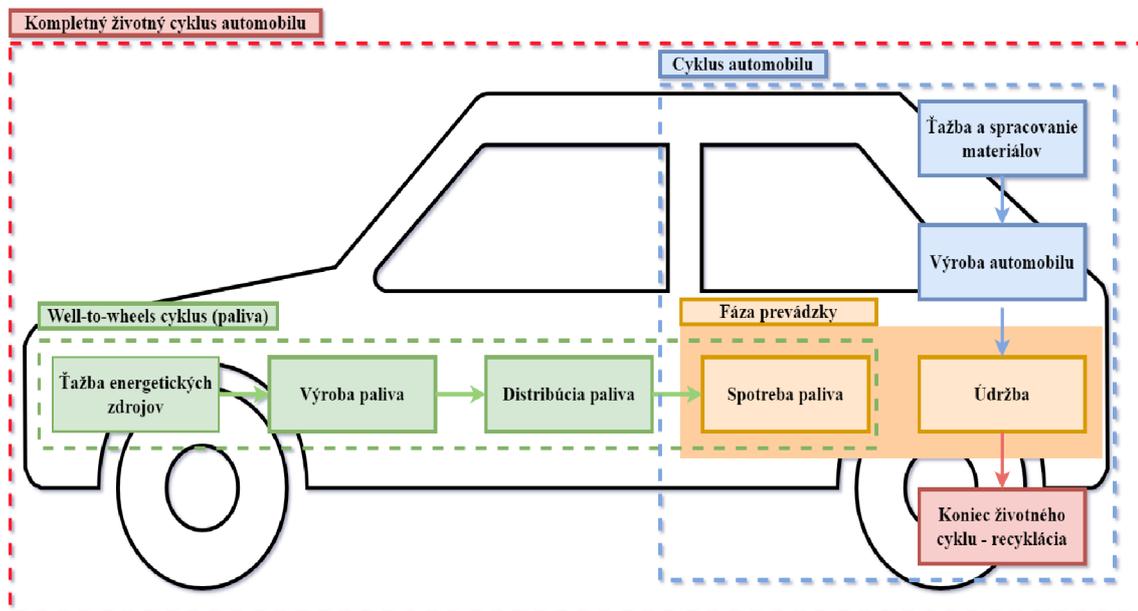
$$E_{výroba} = 2,189 \text{ gCO}_2\text{eq/km}$$

4.5 Recyklácia

Pre výpočet emisií z recyklácie karosérie vozidla je použitý recyklačný faktor o strednej hodnote -2,93 kgCO₂eq/kg hmotnosti vozidla [131]. Mohr a kol. (2020, [121]) parametrizovali procesné modely pre tri recyklačné procesy, súčasné pyrometalurgické spracovanie, súčasné hydrometalurgické spracovanie a pokročilé hydrometalurgické spracovanie pre štyri typy chemických technológií spracovania článkov (NCA, NMC, LFP a sodíkovo-iónové). Práca sa venovala aj prehľadu literatúry a podľa 16 štúdií určila priemerný rozsah emisií z recyklácie lithium-iónových batérií, ktorý sa nachádza v rozmedzí od -3 do 2 kgCO₂eq/kg v závislosti od typu spracovania a chemického zloženia batériových článkov.

5. VÝPOČET A POROVNANIE

Táto kapitola sa venuje výpočtu celkových emisií z celého životného cyklu štyroch rôznych typov pohonov. Využívajú sa určené emisné faktory získané z literárnej rešerše. Následne sa porovnávajú samostatné výsledky emisií z výroby, prevádzky a recyklácie. A nakoniec porovnanie celkových emisií za životný cyklus.



Obr. 34 - Životný cyklus vozidla (jednotlivé fázy) [132]

Environmentálny dopad na životné prostredie bude vyhodnotený v $\text{kgCO}_2 \text{ eq}$. Životný cyklus automobilu bol stanovený na 200000 km. Tab. 19 popisuje rešeršou stanovené hodnoty priemerného vozidla z vybraných modelov pre skúmané typy pohonov.

Tab. 19 - Technické parametre priemerných vozidiel podľa typu pohonnej jednotky

	Benzín	Nafta	BEV	Vodík
	kg			
Pohotovostná hmotnosť	2189,4	2235	2341,4	1932
Hmotnosť batériového modulu	-	-	579	145,9
Pohotovostná hmotnosť bez batérie	2189,4	2235	1762	1679,5*
Kapacita batérie (celková)	-	-	84,1	20,8
Kombinovaná spotreba	l/100km		kWh/100km	kg/100km
	10,06	8,08	20,78	0,815
CO ₂ emisie - WLTP	235,1	213,2	-	-

*Hmotnosť bez vodíkovej nádrže

Výpočet sa skladá z emisií z výroby vozidla, výroby paliva, spotreby paliva, údržby vozidla a recyklácie vozidla. Pre BEV a vodík je potrebné zaradiť aj emisie z výroby batérie a recyklácie. Vzorec pre výpočet celkových emisií:

$$E_{Celkovo} = E_V + E_{WTT} + E_{TTW} + E_U + E_R$$

$$\begin{aligned} E_{Celkovo} & - \text{Emisie za celý životný cyklus vozidla} \\ E_V & - \text{Emisie z výroby} \\ E_{TTW} & - \text{Emisie zo spotreby paliva} \\ E_{WTT} & - \text{Emisie z výroby paliva} \\ E_U & - \text{Emisie z údržby} \\ E_R & - \text{Celkové emisie z recyklácie} \end{aligned} \quad (5.1)$$

5.1 Emisie z výroby

Celkový objem z výroby skleníkových plynov zahŕňa všetky emisie od ťažby a spracovania materiálov, výrobu dielov, následnú montáž a taktiež energie spotrebované pri týchto úkonoch. Pri BEV a FCEV sa musí samostatne počítať s emisiami z výroby batérií, pretože ich výroba je náročnejšia či už na materiály, ale aj spotrebou energie. Je potrebné sa zamerať aj na výrobu vodíkových nádrží avšak iba pri FCEV.

$$E_V = E_{Vozidlo} + E_{Batéria} + E_{H_2nádrž}$$

$$\begin{aligned} E_{Vozidlo} & - \text{Emisie z výroby vozidla} \\ E_{Batéria} & - \text{Emisie z výroby batérie} \\ E_{H_2nádrž} & - \text{Emisie z výroby vodíkovej nádrže} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Na výpočet emisií z výroby vozidla bolo nutné zistiť hmotnosť nenaloženého vozidla m a vypočítať emisný faktor z výroby $E_{FVozidlo}$ vid'. kapitolu 4.3 Emisný faktor z výroby vozidla a z výroby batérií. Pri BEV a FCEV sa pri hmotnosti musela odčítať hmotnosť batérie respektíve vodíkovej nádrže. V tejto sekcii bol taktiež určený emisný faktor z výroby batérií $E_{FBatéria}$ na základe teoretickej rešerše.

$$\begin{aligned} E_{Vozidlo} & = E_{FVozidlo} * m_V \\ E_{Vozidlo} & = 5,90 * 2189,4 = 12917,46 \text{ kg CO}_2\text{eq} \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} E_{FVozidlo} & - \text{Emisný faktor z výroby vozidla} \\ m_V & - \text{Hmotnosť nenaloženého vozidla} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{Batéria} & = E_{FBatéria} * C_B \\ E_{FBatéria} & = 75,5 * 84,1 = 6349,55 \text{ kg CO}_2\text{eq} \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} E_{FBatéria} & - \text{Emisný faktor z výroby batérie} \\ C_B & - \text{Kapacita batérie} \end{aligned}$$

5.2 Emisie z prevádzky

Emisie z prevádzky sa delia na nepriame a priame emisie. Na základe teoretickej rešerše pracujú výpočty s emisnými faktormi WTT a TTW. S využitím hodnôt z Tab. 17 a určeným životným cyklom bolo potrebné už len dopočítať emisie z oboch procesov. Výpočet pomocou WLTP emisií nebol využitý z dôvodu rozdielov v literatúre. V práci sa uvažuje s teoretickým chemickým spaľovaním. Vozidlá s elektrickým motorom sa z pohľadu emisií TTW berú ako „čisté“, čo vyjadruje hodnota 0 kgCO₂/km.

$$E_{WTT} = E_{FWTT-Nafta} * d$$
$$E_{WTT} = 0,04824 * 200000 = 9647,20 \text{ kg CO}_2\text{eq} \quad (5.5)$$

$E_{FWTT-Nafta}$ – Emisný faktor z výroby nafty
 d – Počet kilometrov (životný cyklus)

Pri naftových vozidlách je potrebné k emisnému faktoru zo spotrebovaného paliva E_{FTTW} pripočítať aj emisný faktor pre AdBlue o hodnote 0,00148 kgCO₂eq/km.

$$E_{TTW} = E_{FTTW-Benzín} * d$$
$$E_{TTW} = 0,24064 * 200000 = 48127,04 \text{ kgCO}_2\text{eq} \quad (5.6)$$

$E_{FTTW-Benzín}$ – Emisný faktor spotrebovaného benzínu

Hodnotu emisií E_{FTTW} je možné porovnať s emisiami skleníkových plynov WLTP. Táto hodnota WLTP emisií zodpovedá zverejnením spriemerovaným hodnotám od výrobcov z Tab. 11. Vypočítané hodnoty sa líšia iba o 2,3 % oproti uvedeným hodnotám, čo môže byť spôsobené využitím výpočtu pomocou dát z dokonalého spaľovania. Emisie z údržby E_U vid'. (5.7), zodpovedajú súčtu vybraných servisných úkonov podľa Tab. 10 pre rôzne typy vozidiel. Do prevádzky spadá aj údržba vozidla počas celého životného cyklu. Za celý určený životný cyklus by sa mal pri ICEV vymeniť motorový olej 20x, chladiaca kvapalina minimálne 7x, všetky štyri pneumatiky 5x a olovený akumulátor cca 4x. BEV a FCEV nemajú tak náročnú údržbu, počíta sa iba s výmenami pneumatík, ale aj s výmenou batérie. Je to spôsobené tým, že veľa výrobcov drží záruku 160000 – 180000 km alebo 8 – 10 rokov, to ale neznamená, že vo všetkých prípadoch bude batéria vymenená. Vo výpočte je však táto výmena zahrnutá, je to z dôvodu, že tento problém môže nastať. Mimo batérie je najviac pre prostredie zaťažujúca výmena pneumatík, stredná hodnota emisií z výroby jednej pneumatiky je podľa rešerše 127 kgCO₂.

$$E_U = E_{MO} + E_{ChK} + E_P + E_{OA}$$
$$E_U = 20 * 3,22 + 7 * 7,03 + 4 * 4 * 127 + 3 * 19,5$$
$$E_U = 2731,61 \text{ kgCO}_2\text{eq} \quad (5.7)$$

E_{MO} – Emisie z motorového oleja
 E_{Chk} – Emisie z chladiacej kvapaliny
 E_P – Emisie z pneumatiky
 E_{OA} – Emisie z oloveného akumulátora

5.3 Emisie z recyklácie

Výpočet emisií z recyklácie sa skladá z recyklácie vozidla a recyklácie batérie. Tieto dva procesy majú vlastné emisné faktory, ktoré boli určené v rešerši vid'. kapitulu 4.5, lebo majú odlišnú hodnotu vyprodukovaných emisií.

$$\begin{aligned}
 E_R &= E_{R_{Vozidla}} + E_{R_{Batérie}} \\
 E_{R_{Vozidla}} &= E_{F_{RV}} * m_V \\
 E_{R_{Vozidla}} &= -2,93 * 1762 = -5162,66 \text{ kgCO}_2\text{eq} \\
 E_{R_{Batérie}} &= E_{F_{RB}} * m_B \\
 E_{R_{Batérie}} &= -1,5 * 579 = -868,5 \text{ kgCO}_2\text{eq} \\
 E_R &= -5162,66 + (-868,5) = 6031,16 \text{ kgCO}_2\text{eq}
 \end{aligned}
 \tag{5.8}$$

$E_{R_{Vozidla}}$ – Emisie z recyklácie vozidla
 $E_{R_{Batérie}}$ – Emisie z recyklácie batérie
 $E_{F_{RV}}$ – Emisný faktor z recyklácie vozidla
 $E_{F_{RB}}$ – Emisný faktor z recyklácie batérie
 m_B – Hmotnosť batérie

5.4 Celkový životný cyklus

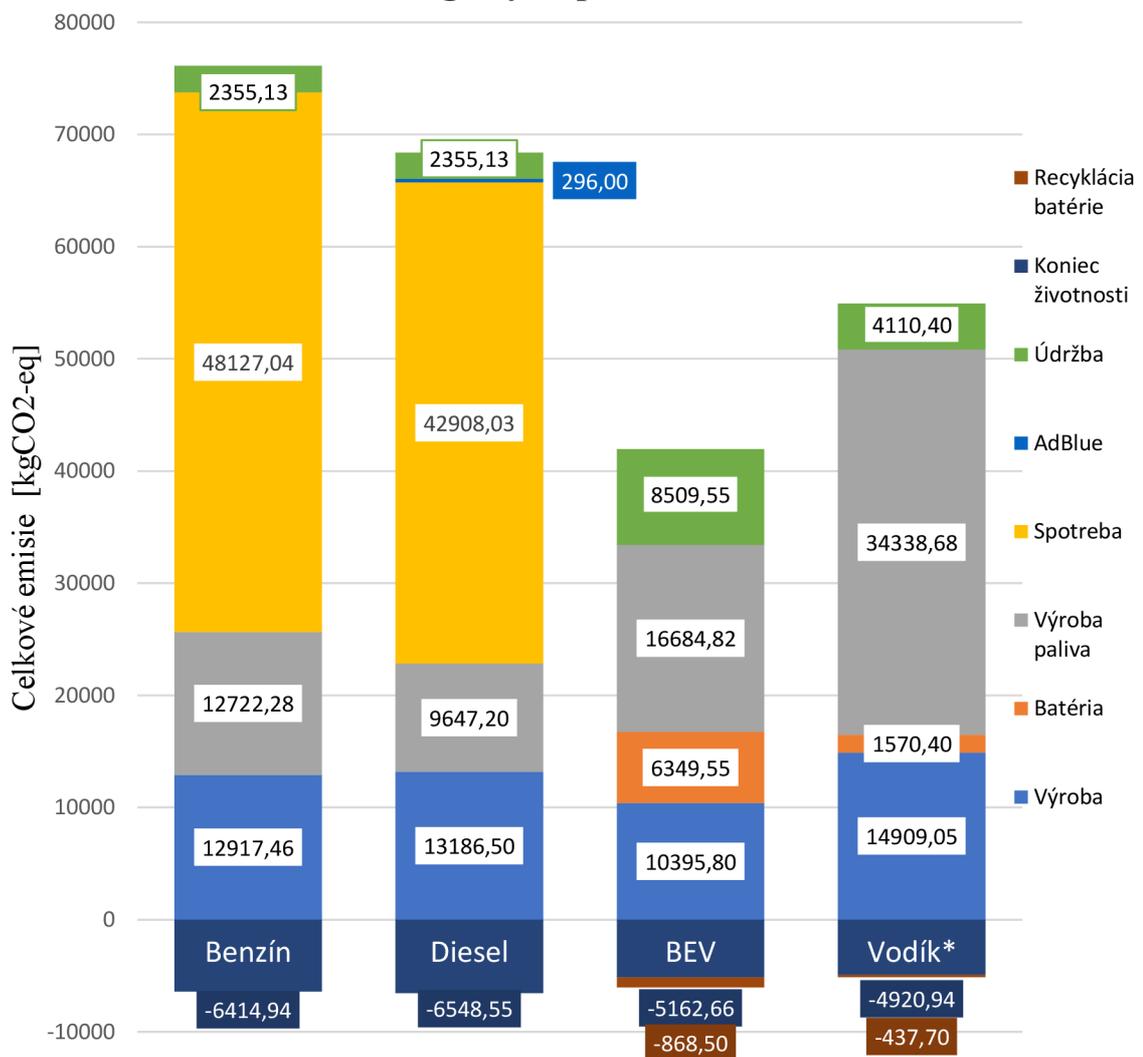
V Tab. 20 sú zobrazené vypočítané emisie zo všetkých procesov pre jednotlivé typy pohonov. Celkový súčet emisií poukazuje na dôležitosť sledovania emisií počas celého životného cyklu. SUV elektrické vozidlá vychádzajú, čo sa týka emisií takmer 2-násobne lepšie ako benzínové, respektíve za svoj životný cyklus vyprodukujú 35,42 tCO₂eq oproti 70,01 tCO₂eq. Táto hodnota je dokonca s jednou výmenou batérie. Ak by nastal prípad, kedy by nebolo nutné meniť batériu, emisie z BEV by sa pohybovali na úrovni 30 tCO₂eq. Emisie vodíkového vozidla sú taktiež výhodnejšie za celý životný cyklus oproti spaľovacím vozidlám. Najviac zaťažujúci proces na životné prostredie je spaľovanie paliva, čo odzrkadľuje problematiku spaľovacích motorov. Typ výroby vodíka má vplyv na emisie z prevádzky vodíkových vozidiel. Porovnanie rôznych typov vodíka a ich emisných stôp je v Tab. 21 a graficky na Obr. 36.

**Priemerná hodnota zo všetkých typov výroby vodíka je použitá v Tab. 20, Tab. 22 a na Obr. 35.*

Tab. 20 - Súhrn emisií za celý životný cyklus pre jednotlivé typy vozidiel

	Benzín	Nafta	BEV	Vodík*
	[kgCO ₂ eq]			
Výroba	12917,46	13186,50	10395,80	14909,05
Výroba batérie	-	-	6349,55	1570,40
Výroba paliva	12722,28	9647,20	16684,82	30100,67
Spotreba	48127,04	42908,03	-	-
AdBlue	-	296,00	-	-
Údržba	2731,61	2731,61	8889,55	4110,40
Koniec životnosti	-6414,94	-6548,55	-5162,66	-4920,94
Recyklácia batérie	-	-	-1737,00	-437,70
Spolu	70083,45	62222,79	35420,06	45331,89

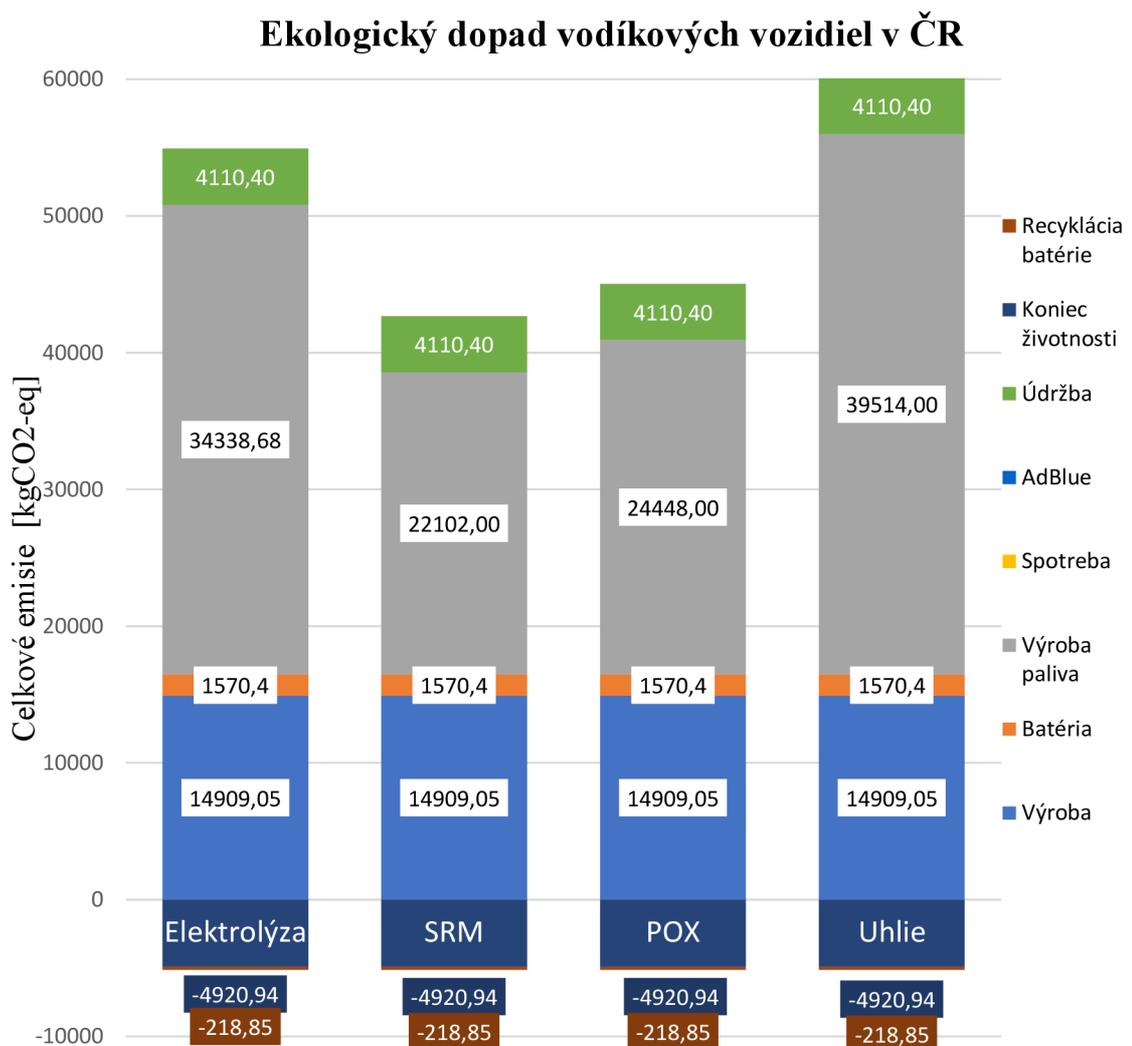
Ekologický dopad vozidiel v ČR



Obr. 35 - Ekologický dopad vozidiel v ČR

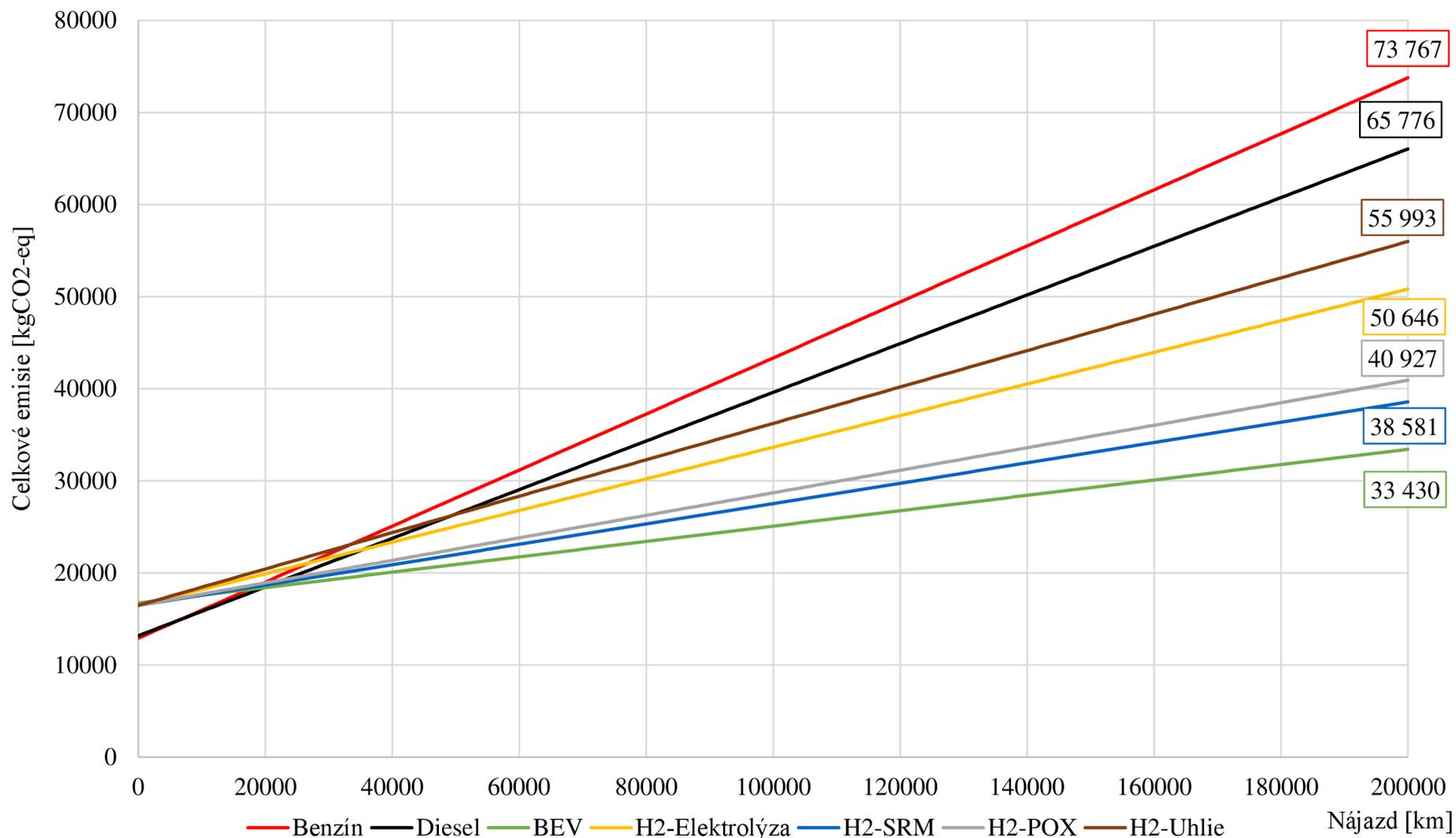
Tab. 21 - Porovnanie emisií za celý životný cyklus pre vodíkové vozidlá

	Elektrolýza	SRM	POX	Uhlie
	[kgCO ₂ eq]			
Výroba	14909,05	14909,05	14909,05	14909,05
Výroba batérie	1570,4	1570,4	1570,4	1570,4
Výroba paliva	34338,68	22102,00	24448,00	39514,00
Spotreba	-	-	-	-
AdBlue	-	-	-	-
Údržba	4110,40	4110,40	4110,40	4110,40
Koniec životnosti	-4920,94	-4920,94	-4920,94	-4920,94
Recyklácia batérie	-437,70	-437,70	-437,70	-437,70
Spolu	49569,90	37333,21	39679,21	54745,21



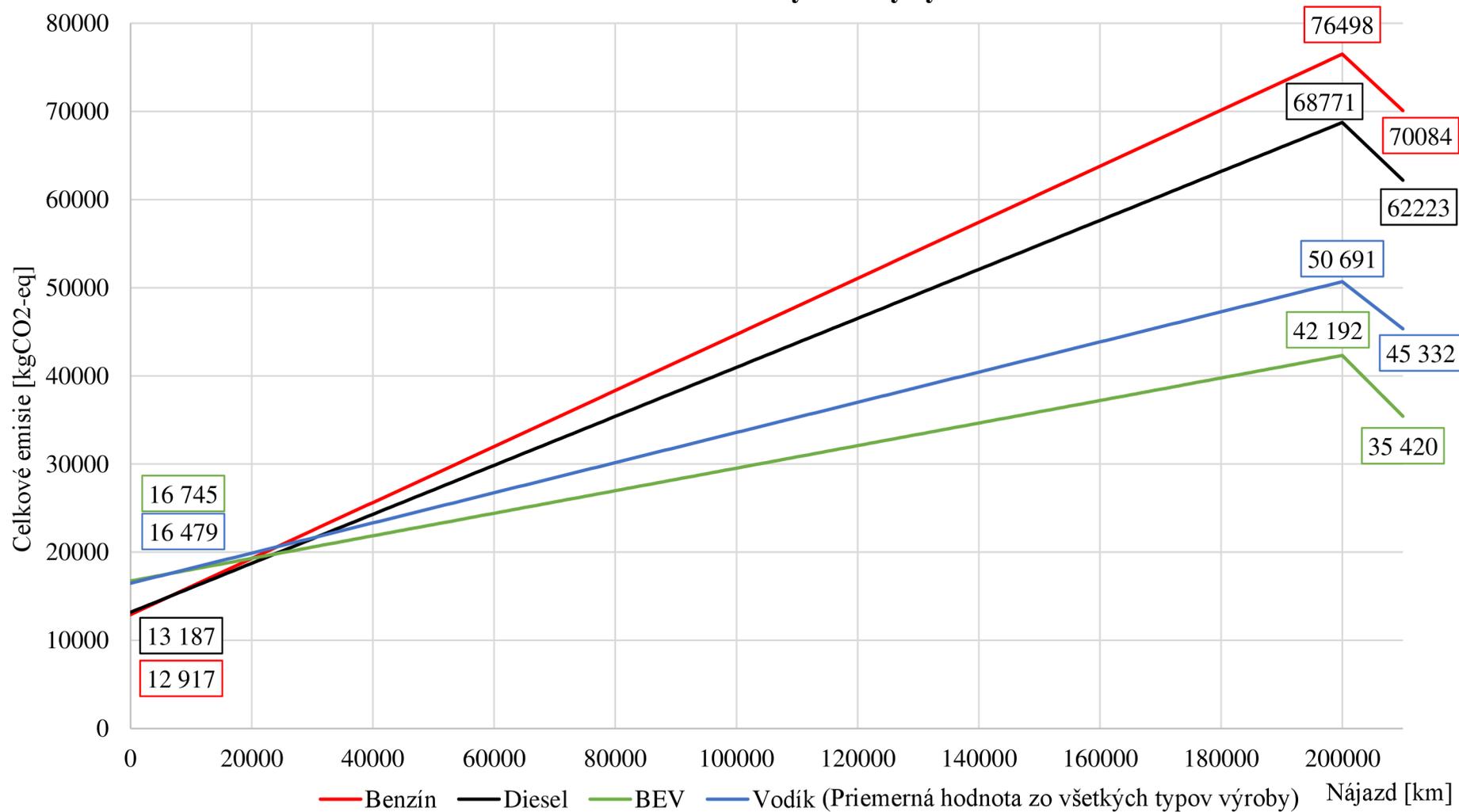
Obr. 36 - Porovnanie ekologického dopadu vodíkových vozidiel v ČR podľa typu výroby H₂

Porovnanie emisií v prevádzke za celý životný cyklus



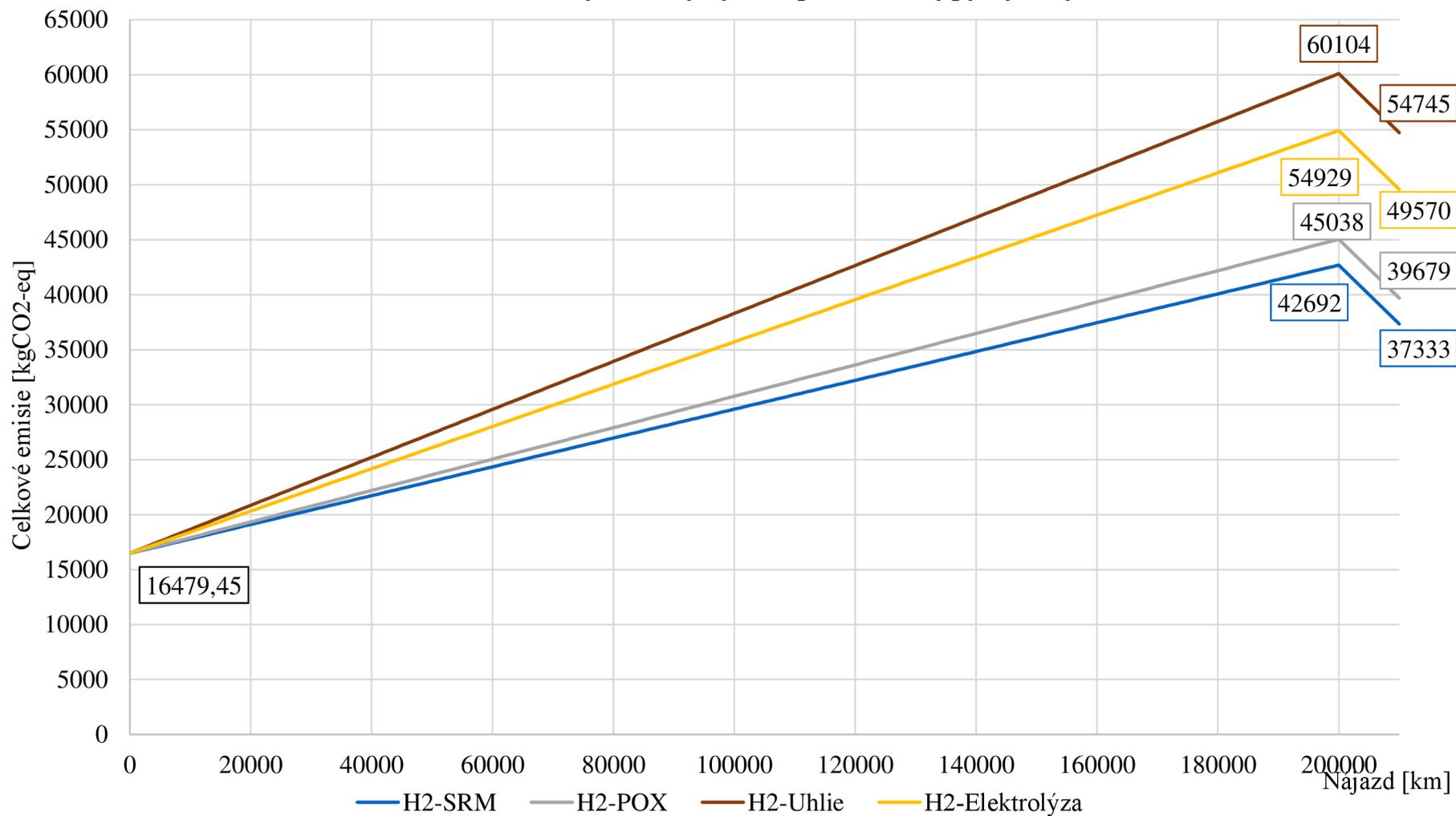
Obr. 37 - Emisie vyprodukované pri prevádzke (s výrobou paliva)

Porovnanie emisií za celý životný cyklus



Obr. 38 - Celkové emisie počas životného cyklu (výroba, prevádzka, údržba, recyklácia)

Porovnanie emisií za celý životný cyklus pre rôzne typy výroby vodíka



Obr. 39 - Celkové emisie počas životného cyklu pre vodikové vozidlá rôzne typy výroby H₂

V prípade ekvivalentného porovnania emisií počas prevádzky, vid' Obr. 37, by bolo BEV ekologickejšie už po 17335 km oproti benzínovému ICEV, resp. po 19694 km voči naftovému ICEV. Najhorší prípad pre FCEV, ktorým je výroba vodíka z uhlia dozenie emisie benzínového vozidla na 35698 km, pre naftové vozidlo je to až 55184 km. Pri ekvivalentnom porovnaní celkových emisií počas celého životného cyklu vid'. Obr. 38, by začalo byť BEV ekologicky výhodnejšie už po 20144 km oproti benzínovému ICEV, pri naftovom ICEV by to bolo po 23738 km. V prípade priemerného FCEV je výhodnejšia prevádzka vozidla po 24252 km oproti benzínovému, resp. po 30851 km voči naftovému vozidlu.

Po prepočítaní emisií pomocou (5.9) na $\text{gCO}_2\text{eq/km}$ sa vypočítané hodnoty dajú porovnať s hodnotami na Obr. 40, ktorý popisuje globálne emisie skleníkových plynov z prevádzky pre predané vozidlá v roku 2019. Dáta zaobstarala IEA – International Energy Agency. Batériové elektrické vozidlá majú najnižšie emisie, nasledujú plug-in hybridy a elektrické vozidlá s vodíkovými palivovými článkami. Pre spaľovacie motory majú najnižšie emisie hybridy, po ktorých nasledujú CNG, naftové a na poslednom mieste benzínové vozidlá. V grafe sú vyznačené minimálne aj maximálne hodnoty, ktoré boli určené zo skúmaných vozidiel. Taktiež aj priemerné hodnoty pre všetky vozidlá, nie len modely SUV. Tieto hodnoty sa môžu lokálne líšiť od rozličného typu modelov, ale aj energetických mixov pre rôzne regióny [133]. Vypočítané hodnoty sú veľmi podobné dátam od IEA. Porovnanie týchto hodnôt je v Tab. 22, spolu s emisiami na km za celý životný cyklus.

$$E_{\text{Prevádzky}/\text{km}} = \frac{E_{\text{WTT}} + E_{\text{TTW}}}{d} \quad (5.9)$$

$$E_{\text{Prevádzky}/\text{km}} = \frac{60849,32}{200000} = 304,25 \text{ gCO}_2\text{eq/km}$$

$$E_{\text{Celkovo}/\text{km}} = \frac{E_{\text{Celkovo}}}{d}$$

$$E_{\text{Celkovo}/\text{km}} = \frac{70083,45}{200000} = 350,42 \text{ gCO}_2\text{eq/km} \quad (5.10)$$

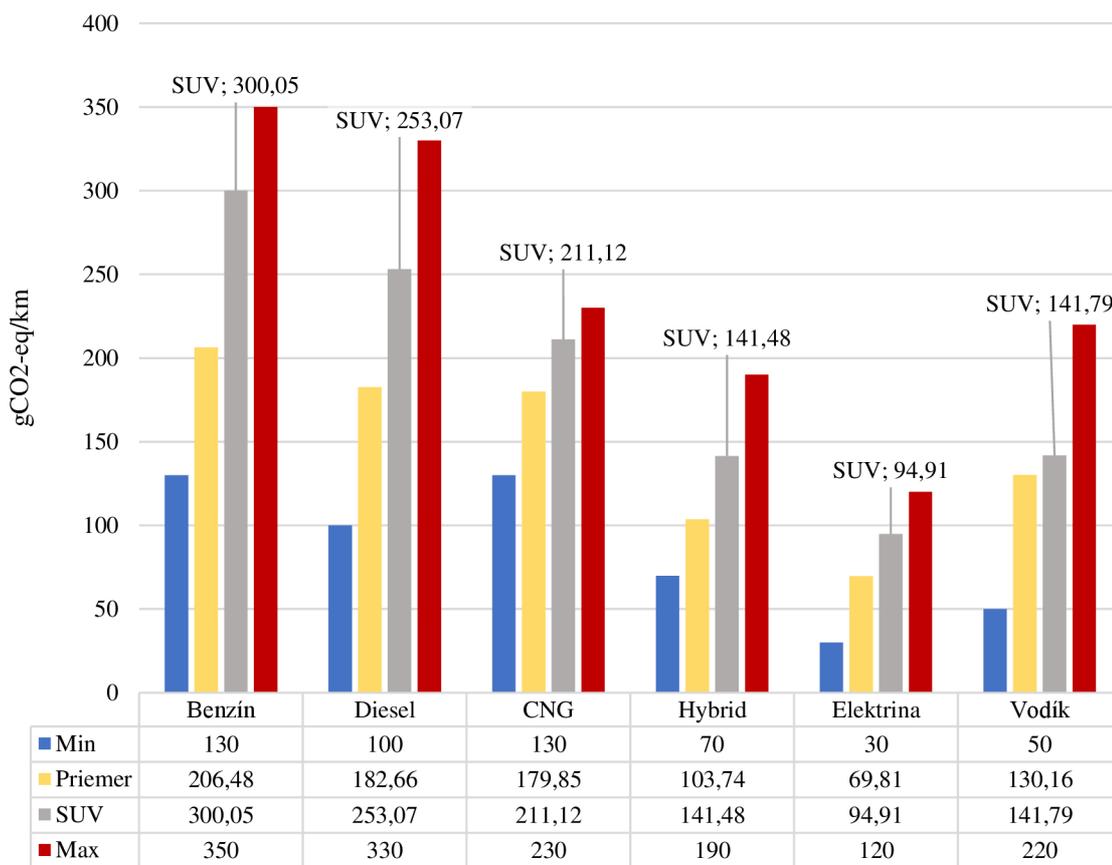
$E_{\text{Palivo}/\text{km}}$ – Emisie z paliva na jeden kilometer

$E_{\text{Celkovo}/\text{km}}$ – Celkové emisie vozidla na jeden kilometer

Tab. 22 - Porovnanie vypočítaných emisií a výsledkov IEA [133]

	Benzín	Nafta	BEV	Vodík*
	[$\text{gCO}_2\text{eq/km}$]			
$E_{\text{Prevádzky}/\text{km}}$	304,25	262,78	83,42	150,50
IEA	300,05	253,07	94,91	141,79
$E_{\text{Celkovo}/\text{km}}$	350,42	310,98	177,10	226,26

Emisie z prevádzky pre novo-predané vozidlá v EÚ



Obr. 40 - Emisie z prevádzky pre predané vozidlá v roku 2019 [133]

Z výsledkov je jasne viditeľné, že najhorším typom sú vozidlá so spaľovacími motormi. Je to z dôsledku spaľovania paliva, ktoré je zodpovedné za 68,67 % celkových emisií pri benzínových, resp. 68,98 % pri naftových vozidlách. Len spaľovanie benzínu vyprodukuje 48,13 tCO₂eq, čo je hodnota podobná tej, ktorú napríklad vygeneruje vodíkové vozidlo za celý životný cyklus. Celý životný cyklus elektrického vozidla sú cca 2/3 z emisií len zo spaľovania benzínu. Naftové vozidlá sú na tom o niečo lepšie ako benzínové, ale je to najmä z dôvodu nižšej spotreby paliva, a tým menšej produkcie emisií. Jednoznačne najlepšie vyšli elektrické vozidlá, ktorých emisie majú potenciál klesať v budúcnosti ešte viac. Bude to ovplyvnené využívaním obnoviteľných zdrojov, a tým znižovaním emisií z výroby elektrickej energie. Pre vodíkové vozidlá boli spracované rôzne typy výroby vodíka. Všetky druhy vodíka dopadli v porovnaní celého životného cyklu lepšie ako spaľovacie vozidlá. Najlepšou metódou z pohľadu emisného dopadu výroby vodíka bol parný reforming metánu, ktorý sa priblížil celkovému životnému cyklu BEV. Zároveň je predpoklad znižovania emisií v budúcnosti s inováciou technológií vo výrobe vodíka. Z dát z Tab. 22 je zrejmé, že za celý životný cyklus BEV vyprodukujú najmenej emisií a to 177,10 gCO₂eq/km. Takmer dvojnásobok emisií vyprodukujú benzínové vozidlá a to 350,42 gCO₂eq/km. Nad hranicu 300 gCO₂eq/km sa dostali aj naftové vozidlá s hodnotou 310,98 gCO₂eq/km. Priemerné emisie vodíka zo všetkých skúmaných typov výroby zodpovedajú 226,26 gCO₂eq/km.

ZÁVER

Problematika emisií a environmentálneho dopadu dopravy je aktuálne veľmi diskutovanou témou. Európska únia sa touto problematikou zaoberá už dlhší čas a snaží sa prijať opatrenia, ktoré by minimalizovali emisie z vozidiel. Jedným z týchto opatrení, ktoré musia automobiloví výrobcovia dodržiavať je prísne regulovanie emisií skleníkových plynov a škodlivých látok. Základným cieľom tejto diplomovej práce bolo porovnať rôzne typy vozidiel na základe ekologického dopadu za celý životný cyklus pre Českú republiku. Sledovaným typom osobných vozidiel v tejto práci boli modely SUV, ktoré sa v dnešnej dobe tešia obľube či už u zákazníkov, ale aj výrobcov. Keďže sú to veľkosťou, hmotnosťou a aj spotrebou náročnejšie vozidlá ako priemerné osobné automobily aj ich vplyv na životné prostredie má tendenciu byť vyšší. Z dôvodu ich rastúceho počtu a aj možných vplyvov na environmentálne prostredie boli vybrané pre túto prácu. Na základe zistených výsledkov je vhodné konštatovať, že ani menej emisne náročná výroba spaľovacích vozidiel nedokáže zabrániť problémom emisného dopadu takýchto vozidiel. Väčšina uvoľnených emisií aj tak spadá pod emisie z prevádzky, čo je najväčším problémom spaľovacích vozidiel. Elektrické a vodíkové automobily sú často kritizované z dôvodu, že uvoľňujú vysoké množstvo CO₂eq pri výrobe. Avšak podľa vypočítaných hodnôt vedľa tento deficit rýchlo dobehnúť. Je to spôsobené tým, že majú nulové emisie zo spotreby paliva. Jediné emisie počas prevádzky sú z údržby a výroby paliva. Emisie z výroby pre priemerné SUV s elektrickým pohonom zodpovedajú 16745 kgCO₂eq to je v priemere o cca 3750 kgCO₂eq viac ako pri spaľovacích vozidlách. Z hľadiska celkového životného cyklu sú elektrické automobily najlepšie s takmer polovičnými emisiami oproti benzínovým vozidlám. Ekologicky je na tom BEV lepšie už po 20144 km v prevádzke oproti benzínovému vozidlu. Pri naftovom ICEV je BEV výhodnejšie po 23738 km. Dokonca aj výroba vodíka skvapalňovaním uhlia je ekologicky výhodnejšia oproti životnému cyklu naftového vozidla a to dokonca o cca 7500 kgCO₂eq. Oproti benzínovému vozidlu je rozdiel dokonca až o cca 15250 kgCO₂eq. Česká republika má ku všetkému nadpriemernú hodnotu emisií z energetického mixu v EÚ. Je preto potrebné poznamenať, že väčším využitím obnoviteľných zdrojov energie by sa výrazne mohli zlepšiť podmienky pre BEV. Zároveň aj pre vodíkové vozidlá, ak by sa zapracovalo na infraštruktúre pre výrobu vodíka pomocou elektrolýzy.

Výsledky získané touto štúdiou dokazujú problematiku prevádzky spaľovacích vozidiel. Taktiež poukazujú ako moc je potrebné zamerať sa na elektro mobilitu a iné technologické možnosti v doprave. Väčším využitím obnoviteľných zdrojov energie, sa priepasť v emisiách medzi spaľovacími a alternatívnymi vozidlami bude len zväčšovať. Európska Únia sa snaží podporovať elektro mobilitu a vodíkové technológie rôznymi legislatívami. V boji proti emisiám bola podpísaná dohoda o zákaze predaja vozidiel so spaľovacími motormi po roku 2035. Táto dohoda má byť kľúčovým bodom k dosiahnutiu uhlíkovej neutrality v sektore dopravy do roku 2050. Tieto zmeny v doprave sú v záujme boja proti klimatickým zmenám.

LITERATÚRA

- [1] Estimated worldwide motor vehicle production from 2000 to 2021(in million vehicles). In: Statista: Driving mobility for Europe [online]. online, 2022, 2022-04-08 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>
- [2] VOELCKER, John. 1.2 Billion Vehicles On World's Roads Now, 2 Billion By 2035: Report. Greencarreports [online]. 2014-07-29 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report
- [3] NATIONAL GEOGRAPHIC STAFF. The environmental impacts of cars, explained. Nationalgeographic [online]. 2019-09-04 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/environmental-impact>
- [4] Emisie CO2 z automobilov: fakty a čísla (infografika). Európsky parlament: Spravodajstvo [online]. 2022-06-23 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/sk/headlines/society/20190313STO31218/emisie-co2-z-automobilov-fakty-a-cisla-infografika>
- [5] RITCHIE, Hannah, Max ROSER a Pablo ROSADO. Poland: CO2 Country Profile: Greenhouse gas emissions by sector, Poland, 2019. Our World in Data [online]. 2020 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2/country/poland>
- [6] RITCHIE, Hannah, Max ROSER a Pablo ROSADO. Hungary: CO2 Country Profile: Greenhouse gas emissions by sector, Hungary, 2019. Our World in Data [online]. 2020 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2/country/hungary>
- [7] RITCHIE, Hannah, Max ROSER a Pablo ROSADO. Czechia: CO2 Country Profile: Greenhouse gas emissions by sector, Hungary, 2019. Our World in Data [online]. 2020 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2/country/czech-republic>
- [8] RITCHIE, Hannah, Max ROSER a Pablo ROSADO. Slovakia: CO2 Country Profile: Greenhouse gas emissions by sector, Slovakia, 2019. Our World in Data [online]. 2020 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2/country/slovakia>
- [9] RITCHIE, Hannah a Max ROSER. Greenhouse gas emissions: By gas: how much does each contribute to total greenhouse gas emissions?. OurWorldInData [online]. [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- [10] Vývoj svetovej teplotnej anomálie. In: Fakty o klíme [online]. [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://faktyoklime.sk/infografiky/teplotna-anomalia>
- [11] RIEBEEK, Holli a Robert SIMMON. Global Warming. NASA: earth observatory [online]. 2010-03-06 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming>

- [12] ELDER, Will. What is Climate Change?. In: National Park Service [online]. 2020-10-16 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://www.nps.gov/goga/learn/nature/climate-change-causes.htm>
- [13] Vývoj koncentrácie CO₂ v atmosfére. In: Fakty o klíme [online]. [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://faktyoklime.sk/infografiky/koncentracia-co2>
- [14] Svetová teplotná anomália za 22 000 rokov. In: Fakty o klíme [online]. [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://faktyoklime.sk/infografiky/teplota-22000-rokov>
- [15] What is a carbon footprint?: Carbon Trust Definition. Carbon Trust [online]. 2011-05-11 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20090511102744/http://www.carbontrust.co.uk/solutions/CarbonFootprinting/what_is_a_carbon_footprint.htm
- [16] Greenhouse Gas Protocol. World Resources Institute [online]. [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://www.wri.org/initiatives/greenhouse-gas-protocol>
- [17] Global Warming Potentials: (IPCC Second Assessment Report). United Nations Climate Change [online]. [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>
- [18] Carbon Cycle Greenhouse Gases: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Global Monitoring Laboratory: Earth System Research Laboratories [online]. 2022-11-05 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends>
- [19] Global Warming Potentials. United States Environmental Protection Agency [online]. 2022-05-05 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- [20] CHU, Jennifer. Emissions of several ozone-depleting chemicals are larger than expected. MIT News on campus and around the world [online]. MIT News Office, 2020-03-17 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://news.mit.edu/2020/emissions-ozone-cfc-chemicals-0317>
- [21] MINJARES, Ray. Refrigerants for light-duty passenger vehicle air conditioning systems: Technical assessment of alternatives to HFC-134a. 2011-07. International Council on Clean Transportation, 2011. Dostupné také z: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_refrigerant_workingpaper_2011_0.pdf
- [22] MUNOZ, Felipe. SUVs secure highest ever monthly market share in Europe, but demand remains weak in January: SUVs and EVs alone drive growth. JATO Dynamics [online]. 2022-02-23 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.jato.com/suvs-secure-highest-ever-monthly-market-share-in-europe-but-demand-remains-weak-in-january/>
- [23] Predaje SUV na Slovensku prekonalí trhový podiel 50 %. Trh ovládli Kórejci. TOP SPEED [online]. 2022-05-08 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.topspeed.sk/novinky/predaje-suv-na-slovensku-prekonali-trhovy-podiel-50-trh-ovladli-korejci/21131>

- [24] POLSKI ZWIĄZEK PRZEMYSŁU MOTORYZACYJNEGO. PZPM_Roczny Raport Branża Motoryzacyjna 2021_2022 [online]. 2021-11-17, 33-40 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.pzpm.org.pl/en/Automotive-market/Reports/PZPM-Automotive-Industry-Report-2021-2022>
- [25] The Most Popular Cars of 2021 in Hungary. HungaryToday [online]. 2022-01-05 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://hungarytoday.hu/the-most-popular-cars-of-2021-in-hungary/>
- [26] SŮRA, Jan. Nový rekord SUV, v Česku mají už 47 % trhu. ZDopravy [online]. 2022-06-04 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/novy-rekord-suv-v-cesku-maji-uz-47-trhu-115844/>
- [27] Life Cycle Assessment of Vehicle Emissions. WorldAutoSteel [online]. [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/lca-videos/lca-life-cycle-assessment-vehicle-emissions/>
- [28] A case for Life Cycle Assessment: Cycle Assessment Sport Utility Vehicle Executive Summary. WorldAutoSteel [online]. 2015-02-23 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/lca-videos/lca-life-cycle-assessment-vehicle-emissions/>
- [29] BALZER, Russ Balzer a Dr. Don MALEN. Life Cycle Assessment:: 6 areas designers need to consider when taking an LCA approach to vehicle development. Steel e-motive [online]. 2021 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://steelemotive.world/life-cycle-assessment-for-vehicle-development/>
- [30] BERLADIR, Kristina, V. I. PERERVA, S. G. RUDENKO, A. I. MARTYNOV a T.P. HOVORUN. Modern materials for automotive industry. Journal of Engineering Sciences: Issue 2 [online]. Issue 2, 2017, 2017-12-04, (Volume 4) [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: doi:10.21272/jes.2017.4(2).f8
- [31] GHASSEMIEH, Elaheh, ed. Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects. CHIABERGE, Marcello. New Trends and Developments in Automotive Industry [online]. 2011, s. 365-394 [cit. 2022-04-09]. ISBN 978-953-307-999-8. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/13343>
- [32] EVRARD, Elisabeth, Jennifer DAVIS, Karl-Henrik HAGDAHL, Rei PALM a Lisbeth DAHLLÖF. Carbon footprint report – Volvo C40 Recharge. Volvocars [online]. 2022 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/images/v/-/media/applications/pdpspecificationpage/c40-electric/specifications/volvo-carbon-footprint-report.pdf>
- [33] GEORGE, Patrick E. Top 5 Materials Used in Auto Manufacturing .Howstuffworks [online]. 2022, 2021-05-05 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/auto-manufacturing/5-materials-used-in-auto-manufacturing.htm>
- [34] Jak se vyrábí a zpracovává ocel. SteelUnion [online]. 2018-10-12 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/jak-se-vyrabi-a-zpracovava-ocel/>

- [35] Jak vznikají skleníkové emise v ocelářském průmyslu. SteelUnion [online]. 2018-06-04 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/jak-vznikaji-sklenikove-emise-v-ocelarskem-prumyslu/>
- [36] Steel recycling and sustainability go hand-in-hand. AutoRecyclingWorld [online]. 2018-06-04 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://autorecyclingworld.com/steel-recycling-and-sustainability-go-hand-in-hand/>
- [37] Recycling Steel and Iron Used in Automobiles. WorldAutoSteel [online]. [cit. 2022-11-20].
Dostupné z: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/recycling/>
- [38] Climate action in the steel industry. Bellona [online]. 2021-08-10 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://bellona.org/publication/climate-action-in-the-steel-industry>
- [39] Our performance: Environmental sustainability indicators. Worldsteel association [online]. November 2021 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://worldsteel.org/steel-by-topic/sustainability/sustainability-indicators/>
- [40] SUER, Julian, Frank AHRENHOLD a Marzia TRAVERSO. Carbon Footprint and Energy Transformation Analysis of Steel Produced via a Direct Reduction Plant with an Integrated Electric Melting Unit. Journal of Sustainable Metallurgy [online]. 2022, 2022-08-31, 8 [cit. 2023-03-19]. ISSN 2199-3831. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1007/s40831-022-00585-x>
- [41] ABRAHAM, Abey, Richard SCHULTZ, Bertrand RAKOTO a James MURPHY. Aluminum Content in European Passenger Cars. European Aluminium [online]. 2019-10-10 [cit. 2022-11-22].
Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/457878392/aluminum-content-in-european-cars-european-aluminium-public-summary-101019-1>
- [42] MRÓZ, Marek Franciszek, Mirosław TUPAJ a Andrzej TRYTEK. Materials Used in the Automotive Industry. Archives of Foundry Engineering [online]. 2015, 2015-02-23, 15(No 2) [cit. 2022-11-22]. ISSN 2299-2944. Dostupné z: doi: 10.1515/afe-2015-0042 Dostupné z: <https://journals.pan.pl/publication/102580/edition/88596/archives-of-foundry-engineering-2015-no-2-materials-used-in-the-automotive-industry-trytek-a-orlowicz-a-w-tupaj-m-mroz-m?language=en>
- [43] CLEMENCE, Christopher. Leaders Emerge In The Aluminium Industry's Race To Zero Carbon. Aluminiuminsider [online]. 2019-04-02 [cit. 2022-04-09].
Dostupné z: <https://aluminiuminsider.com/leaders-emerge-in-the-aluminium-industrys-race-to-zero-carbon/>
- [44] The growing need for green aluminium. Lombard odier: Darier Hentsch [online]. 2021-03-17 [cit. 2022-04-09].
Dostupné z: <https://www.lombardodier.com/contents/corporate-news/ft-rethink/2021/march/the-growing-need-for-green-alumi.html>

- [45] EUROPEAN ALUMINIUM. Environmental profile report: Life-Cycle inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe [online]. 2018-02 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://european-aluminium.eu/wp-content/uploads/2022/10/european-aluminium-environmental-profile-report-2018-executive-summary.pdf>
- [46] TIANBO, Li a Li QING. THE CARBON FOOTPRINT ANALYSIS OF TIRE THROUGHOUT THE LIFE CYCLE IN CHINA. JP Journal of Heat and Mass Transfer [online]. Allahabad, India: Pushpa Publishing House, 2017-06-25, (Volume 14, Number 3), 421-443 [cit. 2022-04-09]. ISSN 0973-5763. Dostupné z: doi: <http://dx.doi.org/10.17654/HM014030421>
- [47] Corporate sustainability report 2021. Nokian Tyres [online]. 2022-03-14 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://dc602r66yb2n9.cloudfront.net/pub/web/attachments/publications/Nokian+Tyres+Corporate+Sustainability+Report+2021.pdf>
- [48] BRODSKY, Harvey. COMMERCIAL TIRES: Retreading Produces 30% Less CO2. Tirereview [online]. 2008-11-01 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.tirereview.com/retreading-produces-30-less-co2/>
- [49] Plastics Europe (2013) Automotive – The world moves with plastics. Retrieved from: https://www.plasticseurope.org/download_file/force/935/750
- [50] PRADEEP, S.A., et al. (2017) Automotive applications of plastics: past, present, and future. Applied Plastics Engineering Handbook. William Andrew Publishing, pp. (651-673). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323390408000316>
- [51] KHEMKA, Priyanka. Plastics in the Automotive Industry – Which Materials Will Be the Winners and Losers?. Resource innovations [online]. 2019-02-27 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.resource-innovations.com/resources/plastics-automotive-industry-which-materials-will-be-winners-and-losers>
- [52] ALSABRI, Amzan, Sami G. AL-GHAMDI a Furqan TAHIR. Life-Cycle Assessment of Polypropylene Production in the Gulf Cooperation Council (GCC) Region. Polymers [online]. 2021, 2022-11-02 [cit. 2022-04-09]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.3390/polym13213793>
- [53] MASHEK, William, HOLMES, Kim a Kendra MARTIN, ed. Automotive Recycling: Devalued is now Revalued.: Recycled Plastics in Automobile Parts and Components. Plasticsindustry [online]. 2016 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://www.plasticsindustry.org/sites/default/files/2016-03256-SPI-PMW-Auto-Recycle-web.pdf>
- [54] VANDERREYDT, Ive, Tom ROMMENS, Anna TENHUNEN, Lars Fogh MORTENSEN a Ida TANGE. Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics). Eionet Portal [online]. 2021-05-06 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/greenhouse-gas-emissions-and-natural-capital-implications-of-plastics-including-biobased-plastics>

- [55] ŠKODA AUTO A.S. Zpráva o trvale udržitelném rozvoji 2019/20: Materiály a recyklace. ŠkodaAuto.cz [online]. 2021-07 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/doc/bab16a96-b4dc-4898-ac9d-30af41c4ad10#page=39&zoom=100,0,0>
- [56] MORO, Chirag. Different materials used in the making of our cars!. Team-bhp [online]. 2021-02-02 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.team-bhp.com/news/different-materials-used-making-our-cars>
- [57] ZIMTU. Have you ever wondered...: How much copper is in an electric vehicle?. Zimtu [online]. 2021-02-02 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.zimtu.com/how-much-copper-is-in-an-electric-vehicle/>
- [58] DESAI, Pratima. Metals recycling to be a key plank for cutting emissions. Reuters [online]. 2021-07-15 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/business/environment/metals-recycling-be-key-plank-cutting-emissions-2021-07-15/>
- [59] STOKEL-WALKER, Chris. LCA? Well-to-wheels (WtW)? Carbon handprint? Sustainable transport jargon explained. Neste [online]. 2021-03-10 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://journeytozerostories.neste.com/sustainability/lca-well-wheels-wtw-carbon-handprint-sustainable-transport-jargon-explained#ee692928>
- [60] Life Cycle Analysis Comparison: ELECTRIC AND INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLES. FuelsInstitute [online]. 2022-01-25 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.fuelsinstitute.org/Research/Reports/Life-Cycle-Analysis-Comparison-Electric-and-Intern/Life-Cycle-Analysis-Comparison.pdf>
- [61] KAUFMANN, Kristian. Well-to-Wheel Insights. Dinex [online]. 2022-01-25 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.dinex.net/news-and-events/news/202006-well-to-wheel-insights>
- [62] GREENE, Suzanne, Haiying JIA a Gabriela RUBIO-DOMINGO. Well-to-tank carbon emissions from crude oil maritime transportation [online]. 2020 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102587>
- [63] Ropovodní síť ČR. MERO ČR [online]. c2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://mero.cz/provoz/ropovodni-sit-cr/>
- [64] VÝROČNÁ SPRÁVA 2021. Slovnaft [online]. 2022-03-22 [cit. 2022-12-22] Dostupné z: https://slovnaft.sk/images/slovnaft/pdf/o_nas/nasa_spolocnost/financne_spravy/SI_ovnaft_VS_2021.pdf
- [65] Archive of GHGRP Refineries Sector Industrial Profile. EUnited States Environmental Protection Agency [online]. 2019 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgreporting/archive-ghgrp-refineries-sector-industrial-profile>
- [66] Study on Actual GHG Data for Diesel, Petrol, Kerosene & Natural Gas. European Commission [online]. 2015-07 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2015-08/Study%20on%20Actual%20GHG%20Data%20Oil%20Gas%20Final%20Report_0.pdf

- [67] PRUSSI, Matteo, Marta YUGO, Luis DE PRADA, Monica PADELLA a Robert EDWARDS. JEC Well-To-Wheels report v5: Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020 [cit. 2022-12-22]. ISSN 1831-9424. Dostupné z: doi:10.2760/100379
- [68] Electricity generation: Explore open data. Ember [online]. 2022 [cit. 2022-12-23]. Dostupné z: <https://ember-climate.org>
- [69] How to calculate the CO2 emission from the fuel consumption?: Diesel and Petrol. Ecoscore [online]. 2022-11-18 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://ecoscore.be/en/info/ecoscore/co2>
- [70] COTTINGHAM, Darren. Fuel CO2 calculator: carbon dioxide emissions in kg: CO2 by fuel used. Drivingtests [online]. 2019 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.drivingtests.co.nz/resources/fuel-co2-calculator-carbon-dioxide-emissions-in-kg/>
- [71] Navrhňte si svoje vozidlo XC90: Výber pohonnej jednotky. Volvo Cars [online]. 2022 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/sk/build/xc90>
- [72] Nové limity na emisie CO2 z áut a dodávok v skratke: Dnešná situácia a Nové ciele. Európsky parlament: Spravodajstvo [online]. 2022-06-09 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/sk/headlines/society/20180920STO14027/nove-limity-na-emisie-co2-z-aut-a-malych-dodavok-v-skratke>
- [73] EÚ. Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO2 emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles, and repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011. In: . 2019. Dostupné také z: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/631/oj>
- [74] Average CO2 emissions from new passenger cars, by EU country. Acea: Driving mobility for Europe [online]. 2022-10-01 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.acea.auto/figure/average-co2-emissions-from-new-passenger-cars-by-eu-country/>
- [75] Emisná norma ako nočná mora?. STKOnline [online]. 2021-02-10 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.stkonline.sk/informacny-servis/emisne-normy>
- [76] Emise automobilů a jejich povolená hodnota: Do hry vstupuje CO2. Portál řidiče [online]. 2021-10-21 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/emise-automobilu-a-jejich-povolena-hodnota>
- [77] EUROPEAN COMMISSION. Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality. European Commission [online]. Brusel, 2022-11-10 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495
- [78] Limits to improve air quality and health. Theaa [online]. 2017-12-11 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>
- [79] WLTP: Nové štandardy pre hodnoty spotreby paliva. Seat [online]. 2018 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.seat.sk/o-znacke-seat/co-je-to-wltp>

- [80] LIGHT-DUTY: WORLDWIDE HARMONIZED LIGHT VEHICLES TEST PROCEDURE (WLTP). *TransportPolicy* [online]. 2018 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.transportpolicy.net/standard/international-light-duty-worldwide-harmonized-light-vehicles-test-procedure-wltp/>
- [81] Tento rok sa rozšíri platnosť metódik WLTP a RDE. Čo to znamená pre nové autá? UnitedLife [online]. 2019-04-24 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.unitedlife.sk/nove-wltp-a-rde-september-2019/>
- [82] Nové štandardy pre hodnoty spotreby: Prehľad testovacej metódy RDE. VW [online]. [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.vw.sk/wltp>
- [83] Intervaly výmeny dôležitých komponentov. GafaAuto [online]. 2019-04-05 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.autodielygafa.sk/blogs/interval-yymeny-dolezitych-komponentov-160>
- [84] KAWAMOTO, Ryuji, Hideo MOCHIZUKI, Yoshihisa MORIGUCHI, TakahiroNAKANO, Masayuki MOTOHASHI a Atsushi INABA. Estimation of CO2Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric VehicleUsing LCA [online]. 2019 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su11092690>
- [85] Údržba a servis elektromobilov. E-car [online]. [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.e-car.sk/udrzba-elektomobilov/>
- [86] Batérie a bezpečnosť: Ako dlho vydrží batéria v mojom vozidle Škoda iV?. Škoda - auto [online]. 2022 [cit. 2022-12-24] Dostupné z: <https://www.e-car.sk/udrzba-elektomobilov/>
- [87] KANARI, N., S. SHALLARI a J. -L. PINEAU. End-of-life vehicle recycling in the european union. *JOM* [online]. 2003-08, (55) [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11837-003-0098-7>
- [88] End-of-life vehicles (ELV) recycling. *Recyclinginside* [online]. 2021 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://recyclinginside.com/end-of-life-vehicles-recycling/>
- [89] Automotive End-of-Life (ELV) Compliance Requirements. Intertek [online]. 2020 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.intertek.com/assuris/automotive-elv-compliance/>
- [90] TOSTADO, Lisa. End-Of-Life Vehicles: Final Destination. *Boell* [online]. 2021-02-03 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://eu.boell.org/en/end-of-life-vehicles-final-destination>
- [91] EÚ. SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY č. 2000/53/ES: O vozidlách po dobe životnosti. In: Úradný vestník Európskej únie. 2000. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0053&from=EN>
- [92] End-of-life vehicle statistics: Reuse/recycling rate and reuse/recovery rate for end-of-life vehicles 2020. Eurostat: Statistic explained [online]. 2023-01 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=End-of-life_vehicle_statistics&oldid=555195

- [93] MERKISZ-GURANOWSKA, Agnieszka a Arkadiusz WRONA. Problems Regarding the Calculation of Recycling and Recovery Rates for End-of-life Vehicles in the European Union Member States. *European Research Studies Journal* [online]. 2022, XXV(1), 752-764 [cit. 2023-02-27]. ISSN 1108-2976. Dostupné z: <https://ersj.eu/journal/2885/download/Problems+Regarding+the+Calculation+of+Recycling+and+Recovery+Rates+for+End-of-life+Vehicles+in+the+European+Union+Member+States.pdf>.
- [94] Výrazné zvyšování průměrného stáří osobních automobilů v ČR stále pokračuje. Svaz Dovozců Automobilů [online]. 2023-03-03 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://portal.sda-cia.cz/clanek.php?id=7012&v=m>
- [95] Passenger car sales in selected European countries in 2022, by fuel type. Statista [online]. 2022-02-01 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/500546/share-of-fuel-types-of-passenger-car-fleet-in-europe-by-country/>
- [96] HARDETZKI, Marcel. Taken to the next level: new edition of the Audi Q7. Audi MediaCenter [online]. 2019-07-23 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/taken-to-the-next-level-new-edition-of-the-audi-q7-11776>
- [97] The new Audi Q7: Life Cycle Assessment. Audi [online]. 2015-08 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.audi.com/en/company/sustainability/downloads-and-contact/documents-and-policies.html>
- [98] Audi. Audi Q7 55 TFSI quattro tiptronic 250 kW MHEV 5 seats. Audi MediaCenter [online]. 2023-01-13 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audi-q7-65>
- [99] KLEINSCHMIT, Anke. Life cycle COMPACT: The new GLE 500. Group Mercedes-Benz [online]. 2015-08 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://group.mercedes-benz.com/documents/sustainability/product/daimler-environmental-certificate-compact-mb-gle.pdf>
- [100] EMISSIONS ANALYTICS. *The septillion particle problem (literally)* [online]. 2022-03-31 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.emissionsanalytics.com/news/the-septillion-particle-problem-literally>
- [101] MAMAKOS, Athanasios a Giorgio MARTINI. Particle Number Emissions During Regeneration of DPF-equipped Light Duty Diesel Vehicles. *Scientific and Technical Research series* [online]. Luxembourg: Office of the European Union, 2011 [cit. 2023-04-02]. ISSN 1831-9424. Dostupné z: doi:10.2788/31651
- [102] HUANG, Yuhan, John L. ZHOU, Xiaochen WANG, Jianbing GAO, Richard J. Brown a Wenting LIN. Effect of diesel particulate filter regeneration on fuel consumption and emissions performance under real-driving conditions. *Fuel* [online]. 2022-07-15, (Volume 320) [cit. 2023-04-02]. ISSN 0016-2361. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122007967>

- [103] HYUNDAI MOTOR GROUP. EV A to Z Encyclopedia - 1: Understanding EV Components. HyundaiMotorGroup [online]. 2020-03-16 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.hyundaimotorgroup.com/story/CONT00000000000000906>
- [104] Eaton Corporation, "Power distribution unit," [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.eaton.com/us/enus/catalog/emobility/power-distribution-unit.html>
- [105] VOLVO CARS. Volvo XC40 Recharge powertrain. In: *Volvo Cars* [online]. 2020-03-02 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/photos/263667/volvo-xc40-recharge-powertrain>
- [106] DAIMLER COMMUNICATIONS. Life cycle COMPACT: 360° Environmental Check Mercedes-Benz EQC. Group Mercedes-Benz [online]. 2019-06 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://group.mercedes-benz.com/documents/sustainability/product/daimler-environmental-check-mb-eqc-class-org.pdf>
- [107] MAN, Henry. What are LFP, NMC, NCA Batteries in Electric Cars?. *ZeCar* [online]. 2023-02-19 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://zecar.com/resources/what-are-lfp-nmc-nca-batteries-in-electric-cars#LFP%20batteries>
- [108] MATHIEU, Lucien a Cecilia MATTEA. From dirty oil to clean batteries. *Transport & Environment* [online]. 2021-03 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2021_02_Battery_raw_materials_report_final.pdf
- [109] SONG, Min-Kyu, Yuegang ZHANG a Elton J. CAIRNS. A Long-Life, High-Rate Lithium/Sulfur Cell: A Multifaceted Approach to Enhancing Cell Performance. *Nano Letters* [online]. 2013-11-12, **2013** [cit. 2023-04-03]. ISSN 5891-5899. Dostupné z: doi:10.1021/nl402793z
- [110] Audi e-tron battery: Battery pack 95kWh with 36 modules, including five on the second floor. In: *ElectricHasGoneAudi* [online]. 2021 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://electrichasgoneaudi.net/models/e-tron/drivetrain/battery/>
- [111] LEONARD, Andrew. What is Usable Battery Capacity?. *Recurrent* [online]. 2023-02-01 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.recurrentauto.com/research/what-is-usable-battery-capacity#:~:text=This%20reduced%20capacity%20is%20called,for%20the%20car%20for%20use.>
- [112] Useable battery capacity of full electric vehicles. *Electric vehicle database* [online]. 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>
- [113] BEERMANN, Vera a Frederik VORHOLT. European battery cell production expands. *IPCEI Batteries* [online]. 2022-01 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://www.ipcei-batteries.eu/fileadmin/Images/accompanying-research/market-updates/2022-01-BZF_Kurzinfo_Marktanalyse_Q4_ENG.pdf

- [114] HANLEY, Steve. The New, All New, Really New Toyota Mirai — It's NEW!. *CleanTechnica* [online]. 2020-12-10 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2020/12/10/the-new-all-new-really-new-toyota-mirai-its-new/>
- [115] CHEN, Yisong, Libo LAN, Zhuo HAO a Pei FU. Cradle-grave energy consumption, greenhouse gas and acidification emissions in current and future fuel cell vehicles:: Study based on five hydrogen production methods in China. In: *Energy Reports* [online]. 2022-11, s. 7931-7944 [cit. 2023-04-14]. ISSN 2352-4847. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722011611>
- [116] BIEKER, Georg. A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. *International Council on Clean Transportation Europe* [online]. 2021-07-21 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/07/Global-Vehicle-LCA-White-Paper-A4-revised-v2.pdf>
- [117] BEKEL, Kai a Stefan PAULIUK. Prospective cost and environmental impact assessment of battery and fuel cell electric vehicles in Germany. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2019-06-18, 2220–2237 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-019-01640-8>
- [118] JOSHI, Ashim, Raghav SHARMA a Bivek BARAL. Comparative life cycle assessment of conventional combustion engine vehicle, battery electric vehicle and fuel cell electric vehicle in Nepal. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2022-12-15 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622039798>
- [119] Hyundai nexo high pressure hydrogen tank safety. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2019-08-03 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Hyundai_nexo_high_pressure_hydrogen_tank_safety.jpg
- [120] GARBE, Jesko Santesteban. *Life Cycle Assessment of PEM fuel cell vehicles* [online]. 2020 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/329732/2020-santesteban-lca.of.pem.fuel.cell.vehicle.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
Master thesis. Technical University of Braunschweig. Vedoucí práce Juan Felipe Cerdas MSc, Sofia Pinheiro Melo MSc.
- [121] MOHR, Marit, F. PETERS, Jens F. WEIL, Manuel Johann BAUMANN, Marcel Weil a Marcel WEIL. Toward a cell-chemistry specific life cycle assessment of lithium-ion battery recycling processes. In: *Journal of Industrial Ecology* [online]. 2020-5 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jiec.13021>
- [122] Hyundai NEXO: FUV – Future Utility Vehicle. H2.LIVE [online]. 2022 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://h2.live/en/fuelcell-cars/hyundai-nexo/>

- [123] IRENA. Hydrogen: Overview. International Renewable Energy Agency [online]. 2021 [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen#:~:text=As%20at%20the%20end%20of,around%204%25%20comes%20from%20electrolysis>.
- [124] Hydrogen colours codes. H2 Bulletin [online]. 2021 [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.h2bulletin.com/knowledge/hydrogen-colours-codes/>
- [125] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČESKÉ REPUBLIKY. Vodíková strategie České republiky. HYTEP [online]. 2021-07-26 [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07.pdf
- [126] IEA. Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity. International Energy Agency [online]. 2023-04 [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07.pdf
- [127] SCR (Selective Catalytic Reduction) Emissions System, what sensor do I need?. Process Sensing Technologies [online]. 2019-02-21 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: [https://sstsensing.com/scr-emissions-system/#:~:text=An%20SCR%20\(Selective%20Catalytic%20Reduction,stream%20of%20a%20diesel%20engine](https://sstsensing.com/scr-emissions-system/#:~:text=An%20SCR%20(Selective%20Catalytic%20Reduction,stream%20of%20a%20diesel%20engine).
- [128] AdBlue®: Zloženie, vlastnosti, vzhľad [online]. Duslo, a.s. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.duslo.sk/userfiles/products/adblue2.pdf>
- [129] SOREL, Benjamin. What is the AdBlue consumption of my car? Average consumption of a vehicle in 2022 [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.palamaticprocess.com/blog/what-is-the-adblue-consumption-of-my-car>
- [130] AdBlue® Specifications: ISO 22241: Physical and chemical properties of AdBlue®. Crown Oil [online]. [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.crownoil.co.uk/fuel-specifications/adblue-iso-22241/>
- [131] BUBERGER, Johannes, Anton KERSTEN, Manuel KUDER, Richard ECKERLE, Thomas WEYH a Torbjörn THIRINGER. Total CO₂-equivalent life-cycle emissions from commercially available passenger cars. Renewable and Sustainable Energy Reviews [online]. Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Germany, 2022-01-14 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112158>
- [132] HUNG, Linda Ager-Wick. *Research for TRAN Committee - Battery-powered electric vehicles: market development and lifecycle emissions STUDY* [online]. 2018-02 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: doi:10.2861/944056
- [133] IEA (2021), Global Fuel Economy Initiative 2021, IEA, Paris [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-fuel-economy-initiative-2021>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

GHG	Greenhouse gases – Skleníkové plyny
GWP	Global warmin potential – Potenciál globálneho otepľovania
SUV	Sport utility vehicle – Športové úžitkové vozidlo
LCA	Life Cycle Assessment – Životný cyklus vozidla
EAF	Electric arc furnace – Elektrická oblúčková pec
BOF	Basic oxygen furnace – Základná kyslíková pec
EÚ	Európska únia
BEV	Battery Electric Vehicle – Batériové elektrické vozidlo
PVC	Polyvinylchlorid
WTW	Well-to-Wheels – Od zdroja po kolesá
WTT	Well- to-Tank – Od vrtu po nádrž
TTW	Tank-to-Wheel – Od nádrže ku kolesám
CNG	Compressed Natural Gas – Stlačený zemní plyn
IKL	Ingolstadt – Kralupy nad Vltavou – Litvínov
NEDC	New European Driving Cycle
WLTP	Worldwide Harmonized Light – Duty Vehicles Test Procedure
RDE	Real Driving Emissions
PEMS	Portable Emission Measurement System
ELV	End-of-life vehicle
ICE	Internal Combustion Engine - Motor s vnútorným spaľovaním
V4	Vyšehradská skupina
ČR	Česká Republika
SR	Slovenská Republika

GPF	Gasoline Particulate Filter – Filter pevných častíc pre benzínové vozidlá
DPF	Diesel Particulate Filter – Filter pevných častíc pre naftové automobily
DC	Direct Current – Jednosmerný prúd
AC	Alternating Current – Striedavý prúd
PDU	Power Distribution Unit – Rozvodná jednotka
NMC	Nickel-Manganese-Cobalt – Nikel-Mangán-Kobalt
NCA	Nickel-Cobalt-Aluminium – Nikel-Kobalt-Hliník
LFP	Lithium- ferrophosphate – Lithium-železo-fosfát
SIB	Sodium-Ion Battery – Sodno-iónová batéria
SCR	Selective Catalytic Reduction – Selektívna katalytická redukcia
DEF	Diesel Exhaust Fluid - AdBlue
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles – Elektrické vozidlá s palivovými článkami
SMR	Steam methane reforming – Parný reforming metánu
POX	Partial oxidation – Parciálna oxidácia
CNG	Compressed natural gas – Stlačený zemný plyn
IEA	International Energy Agency
PW_r	Power/weight ratio – Výkon/váha vozidla
ppt	Part-per-trilion – Častíc na trilión
ppm	Part-per-milion – Častíc na milión
<i>E_{Celkovo}</i>	Emisie za celý životný cyklus vozidla
<i>E_V</i>	Emisie z výroby
<i>E_{TTW}</i>	Emisie zo spotreby paliva
<i>E_{WTT}</i>	Emisie z výroby paliva
<i>E_U</i>	Emisie z údržby
<i>E_R</i>	Celkové emisie z recyklácie
<i>E_{Vozidlo}</i>	Emisie z výroby vozidla

<i>EBatéria</i>	Emisie z výroby batérie
<i>EH₂nádrž</i>	Emisie z výroby vodíkovej nádrže
<i>EFVozidlo</i>	Emisný faktor z výroby vozidla
<i>mV</i>	Hmotnosť nenaloženého vozidla
<i>EFBatéria</i>	Emisný faktor z výroby batérie
<i>CB</i>	Kapacita batérie
<i>EFWTT</i>	Emisný faktor z výroby paliva
<i>EFWTT-Nafta</i>	Emisný faktor z výroby paliva
<i>EFWTT-Benzín</i>	Emisný faktor z výroby paliva
<i>EFWTT-Elektřina</i>	Emisný faktor z výroby paliva
<i>EFWTT-Vodík</i>	Emisný faktor z výroby paliva
<i>d</i>	Počet kilometrov (životný cyklus)
<i>EFTTW</i>	Emisný faktor spotrebovaného paliva
<i>EFTTW-Nafta</i>	Emisný faktor spotrebovanej nafty
<i>EFTTW-Benzín</i>	Emisný faktor spotrebovaného benzínu
<i>EMO</i>	Emisie z motorového oleja
<i>EChk</i>	Emisie z chladiacej kvapaliny
<i>EP</i>	Emisie z pneumatiky
<i>EOA</i>	Emisie z oloveného akumulátora
<i>ERVozidla</i>	Emisie z recyklácie vozidla
<i>ERBatérie</i>	Emisie z recyklácie batérie
<i>EFRV</i>	Emisný faktor z recyklácie vozidla
<i>EFRB</i>	Emisný faktor z recyklácie batérie
<i>mB</i>	Hmotnosť batérie