



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

# LCA ANALÝZA A VIZUALIZACE DAT PROVOZU VOZIDEL A JEJICH DOPADU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

LCA ANALYSIS AND VISUALIZATION OF VEHICLE OPERATION DATA AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Marek Polášek**

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Jan Pokorný, Ph.D.**

**BRNO 2024**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Bc. Marek Polášek**  
Studijní program: Energetické a termofluidní inženýrství  
Studijní obor: Technika prostředí  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Pokorný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **LCA analýza a vizualizace dat provozu vozidel a jejich dopadu na životní prostředí**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Dopad vozidel na životní prostředí je aktuálním tématem, které se promítá do legislativy a ovlivňuje trendy a vývoj v oblasti výroby a provozu vozidel. LCA (Life-cycle assessment) je nástroj, jak objektivně vyhodnotit tyto dopady na životní prostředí. Oblast výroby a provozu má značný vliv na konečnou bilanci, neboť energetické mixy jednotlivých zemí mají různou míru produkce skleníkových plynů.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Vytvořit v Excelu /PowerBI interaktivní nástroj, vhodný pro vizualizaci dat z LCA analýzy získaných v rámci projektu VLCA a diplomové práce Ing. Šándora.
2. Doplnit tyto data o různá místa provozu s ohledem na energetický mix jednotlivých zemí pro elektrovozidlo.
3. Vytvořit online dostupnou verzi, prezentující výsledky práce na webu.

### **Seznam doporučené literatury:**

Becker, L. T., Gould, E. M. (2019). Microsoft Power BI: Extending Excel to Manipulate, Analyze, and Visualize Diverse Data. *Serials Review*, 45, 184–188.

Hirz, M, Brunner, H., Nguyen, T. T. (2022) Greenhouse Gas Emissions of Electric Cars. Online. *Tehnički glasnik*. 2022, roč. 16, č. 2, s. 280-287. ISSN 18485588.

Jolliet, O., Saade-Sbeih, M., Shaked, S., Jolliet, A., & Crettaz, P. (2015). *Environmental Life Cycle Assessment* (1st ed.). CRC Press.

Liu, F., Shafique, M., Xiaowei, L. (2023). Literature review on life cycle assessment of transportation alternative fuels. *Environmental Technology Innovation*, 32.

Rovelli, D.; Brondi, C.; Andreotti, M.; Abbate, E.; Zanforlin, M.; Ballarino, A. A. (2022). ModularTool to Support Data Management for LCA in Industry: Methodology, Application and Potentialities Sustainability 2022, 14.

Šándor, K. (2023). Aplikace metody posuzování životního cyklu výrobku (LCA) na osobní vozidla. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce bylo provést analýzu životních cyklů vozidel s různými typy pohonů, vyhodnotit jejich vliv na životní prostředí a výsledky zpracovat v nástroji Power BI. Bylo také uvažováno více zemí provozu na základě energetických mixů. Výsledky byly publikovány na webu formou interaktivní vizualizace.

### Klíčová slova

Posuzování životního cyklu, environmentální dopady, vozidla se spalovacím motorem, bateriová elektrická vozidla, plug-in hybridní vozidla

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to analyse the life cycles of vehicles with different types of powertrains, evaluate their environmental impact and process the results in Power BI. Multiple countries of operation based on energy mixes were also considered. The results were published on the web in the form of an interactive visualization.

### Key words

Life cycle assessment, environmental impacts, internal combustion engine vehicle, battery electric vehicle, plug-in hybrid electric vehicle

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

POLÁŠEK, Marek. *LCA analýza a vizualizace dat provozu vozidel a jejich dopadu na životní prostředí* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157607>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jan Pokorný.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **LCA analýza a vizualizace dat provozu vozidel a jejich dopadu na životní prostředí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Marek Polášek

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chci poděkovat panu Ing. Janu Pokornému, Ph.D. za připomínky a rady ke zpracování diplomové práce.

Děkuji také mé partnerce Markétě za neustálou podporu.



## OBSAH

ÚVOD.....	12
1 Metoda posuzování životního cyklu.....	13
1.1 Význam LCA .....	13
1.2 Vznik, vývoj a současnost LCA .....	13
1.2.1 Základní členění LCA.....	14
1.2.2 Software pro LCA.....	15
1.3 Fáze LCA .....	17
1.3.1 Cradle to Grave.....	17
1.3.2 Cradle to Cradle .....	17
1.3.3 Well To Wheel.....	17
2 Životní cyklus automobilu .....	18
2.1 Výroba vozidel se spalovacím motorem.....	19
2.2 Výroba elektromobilů .....	19
2.2.1 Konstrukční součásti elektrických vozidel .....	19
2.2.2 Elektrický trakční systém.....	25
2.2.3 Systém tepelného řízení .....	26
2.3 Výroba plug-in hybridů .....	27
2.4 Provoz spalovacích automobilů.....	28
2.4.1 Benzín E10 .....	28
2.4.2 Motorová nafta B7 .....	28
2.4.3 Výhled biopaliv .....	29
2.5 Provoz elektromobilů.....	30
2.5.1 Ztráty při nabíjení .....	32
2.6 Provoz plug-in hybridů .....	33
2.7 Konec životního cyklu spalovacích automobilů .....	34
2.8 Konec životního cyklu elektromobilů .....	34
2.8.1 Nové využití .....	34
2.8.2 Recyklace .....	35
3 Parametry pro hodnocení životních cyklů automobilů .....	39
3.1 Škodliviny .....	39
3.1.1 Skleníkové plyny vypouštěné do atmosféry .....	39
3.1.2 Prachové částice.....	40
3.2 Přírodní zdroje.....	41

---

3.2.1	Energetická náročnost .....	41
3.2.2	Využití vody .....	42
4	Analýza problému a cíl práce .....	43
4.1	Stanovení vozidel dle druhu pohonu .....	43
4.2	Stanovení environmentálních vlivů.....	43
4.3	Stanovení velikostní třídy automobilu.....	43
4.4	Stanovení rozsahu metody LCA.....	45
4.5	Geografické rozlišení .....	46
5	Materiály a Metody .....	47
5.1	Software GREET.....	47
5.2	Microsoft Power BI .....	48
5.3	Emisní faktory spotřeby elektřiny .....	49
6	Výpočty a výsledky .....	50
6.1	Výroba.....	50
6.1.1	Výroba automobilů .....	50
6.1.2	Výroba paliva .....	56
6.1.3	Výroba elektřiny .....	57
6.2	Provoz.....	58
6.2.1	Spotřeba aut .....	58
6.2.2	Provoz vozidel.....	59
6.3	Celkové výsledky .....	60
6.4	Ukázka vizualizace Power BI .....	65
7	Diskuse výsledků.....	66
7.1	Výroba automobilů .....	66
7.1.1	Vyšší hmotnost .....	66
7.1.2	Náročnost výroby baterií .....	66
7.2	Paliva .....	66
7.3	Zhodnocení energetických mixů a emisních faktorů zemí.....	67
7.4	Provoz plug-in hybridního vozu .....	67
7.5	Vznik pevných částic při provozu vozidel .....	68
7.5.1	PM <sub>2.5</sub> .....	68
7.5.2	PM <sub>10</sub> .....	68
7.5.3	Životnosti baterií.....	68
	ZÁVĚR.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	70

---

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	80
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	83
SEZNAM TABULEK.....	84
SEZNAM PŘÍLOH.....	85

## ÚVOD

Dopravní sektor je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících životní prostředí, přičemž jeho dopady zahrnují emise skleníkových plynů, znečištění ovzduší a spotřebu přírodních neobnovitelných zdrojů. Z tohoto důvodu je nezbytné zkoumat vozidla s různými typy pohonů, aby bylo možné navrhnout efektivní strategie pro jejich minimalizaci. Jedním z nejužšího nástrojů pro komplexní posouzení těchto dopadů je analýza životního cyklu (Life Cycle Assessment, LCA).

LCA analýza poskytuje metodický rámec pro hodnocení environmentálních dopadů produktů, procesů nebo služeb během jejich celého životního cyklu, od těžby surovin přes výrobu a provoz až po konečnou likvidaci. V kontextu dopravních prostředků umožňuje LCA analýza identifikovat klíčové oblasti, kde je možné dosáhnout úspor a zlepšení z hlediska životního prostředí

Vizualizace dat je dalším klíčovým prvkem této problematiky, neboť umožňuje přehledné a srozumitelné prezentování komplexních informací. Efektivní vizualizace může pomoci jak odborné, tak i široké veřejnosti lépe porozumět environmentálním dopadům různých dopravních scénářů a podpořit tak informované rozhodování na úrovni jednotlivců, organizací i vládních institucí.

Cílem této diplomové práce je provést LCA analýzu životního vozidel a následně zpracovat a vizualizovat získaná data tak, aby byly zřetelně patrné environmentální dopady různých vozidel s různými typy pohonu. Tato práce se zaměří na porovnání jednotlivých typů vozidel, zahrnujících konvenční spalovací vozy, elektrické vozy a vozidlo s plug-in hybridním pohonem, s ohledem na jejich náročnost výroby, emise a celkový dopad na životní prostředí. Důraz bude kladen na identifikaci hlavních faktorů ovlivňujících environmentální výkonnost jednotlivých dopravních prostředků a na možnosti zlepšení současného stavu prostřednictvím technologických a provozních změn.

Výsledky této práce mohou sloužit jako základ pro další výzkum v oblasti vozidel s alternativními pohony a jako podklad pro rozhodovací procesy v oblasti environmentální politiky.

# 1 Metoda posuzování životního cyklu

Metoda posuzování životního cyklu [1] spojuje zkoumání výtěžků lidské civilizace a jejich dopad na životní prostředí. Je to analytická metoda hodnocení environmentálních vlivů výrobků, služeb a technologií. Metoda zahrnuje celý životní cyklus produktu, od fáze získávání a výroby vstupních materiálů, kompletaci produktu, používání produktu až po likvidaci, případně recyklaci. Jedná se o kompletní analýzu hodnocení skutečných přínosů nebo zátěží k životnímu prostředí.

## 1.1 Význam LCA

Na příkladu biopaliv první generace pro dopravu lze demonstrovat význam LCA [1]. Biopaliva první generace jsou pěstována na orné půdě a přimíchávají se do benzínu a nafty.

Zpočátku byla biopaliva považována za uhlíkově neutrální, protože jejich emise oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) byly součástí biogenního uhlíkového cyklu. LCA však ukázalo, že biopaliva nejsou zcela uhlíkově neutrální [1] kvůli fosilním palivům potřebným při jejich výrobních procesech. Zvýšená poptávka po plodinách na biopaliva může vést také k odlesňování a uvolňování dalšího CO<sub>2</sub>.

LCA hodnotí kromě CO<sub>2</sub> další kritéria [1], jako je eutrofizace způsobená odtokem živin, toxicita z pesticidů, ztráta biodiverzity v důsledku využívání půdy a nedostatek vody kvůli zavlažování. Nelze opomenout také sociální dopady [1], produkce biopaliv může zvyšovat ceny potravin tím, že odvádí plodiny od potravin k palivům.

Poznatky z LCA ohledně biopaliv vedly ke změně veřejného mínění a tlaku na politiky, což vedlo k úpravě legislativy Evropské komise v roce 2010 [1], která zavedla kritéria udržitelnosti pro biopaliva. Tato kritéria zohledňují emise skleníkových plynů během celého životního cyklu a zakazují přeměnu půdy s vysokým obsahem uhlíku a vysokou biodiverzitou pro výrobu biopaliv.

## 1.2 Vznik, vývoj a současnost LCA

Metoda LCA vznikla v USA na přelomu 60. let 20. stol [1]. V Evropě se objevila na konci 70. let 20. Během této doby došlo k vylepšování metody posuzování a také ke změnám názvu. Současný název LCA – Posuzování životního cyklu vznikl až v roce 1990. V roce 2006 byla vydána ČSN EN ISO 14040 [2], která stanovuje členění, principy a způsob posuzování životního cyklu materiálů.

Norma ČSN EN ISO 14040 neřeší pouze posuzování životního cyklu označovaného jako LCA, ale uvádí také studie posouzení inventarizace životního cyklu označovaná jako LCI [2]. Právě studie LCI je druhou fází posouzení. Zmiňovaná norma však upozorňuje na možný problém při kombinaci jednotlivých fází posouzení. Postup zpracování studie je rozdělen do 4 fází [2]:

### 1.2.1 Základní členění LCA

- Definice cílů a rozsahu
- Inventarizační analýza
- Posuzování dopadů
- Interpretace

Tyto fáze na sebe časově navazují [79], ale zároveň mezi nimi dochází k výměně a kontrole.

#### **Definice cílů a rozsahu**

Úvodní fáze LCA je plánovací [2]. Pro studie LCA je nutné definovat, za jakým účelem se studie provádí a pro koho jsou určena výsledná data. Tato data pak mohou být použita buď pro interní účely organizace, která LCA provádí, nebo pro účely externí.

Požadavky na rozsah studie vyplývají jednak z účelu a cíle studie, dále také z finančních a časových možností zadavatele studie a možností zpracovatele. Vzhledem k omezujícím kritériím je nezbytné vybrat procesy, které budou zařazeny do produktového systému. Zadavatel i zpracovatel si musí při zadávání jednoznačně stanovit veškeré okrajové podmínky. Všechna vynechání či omezení musí být zdokumentována a odůvodněna pro všechny osoby, které přijdou se studií do styku. Dle průběžně získávaných dat lze upřesnit rozsah studie i během jejího průběhu [2].

#### **Inventarizační analýza (LCI)**

Inventarizační analýza následuje po určení základního rámce LCA a jejím cílem je kvantifikovat všechny elementární toky přes hranici systému směrem dovnitř i vně vlastního systému [2]. Obdobně jako u první fáze LCA lze také u inventarizační analýzy účelně měnit její rozsah během jejího provádění. Po prvotním zpracování analýzy dojde k lepšímu poznání zkoumaného průmyslového systému a lze následně zjistit další požadavky na doposud nezjištěné údaje. Jakmile jsou definovány vstupy a výstupy, provádí se revize cílů studie a jejího rozsahu. Některé ze vstupů či výstupů taktéž vyžadují změnu systému sběru dat na systém, jenž bude lépe vyhovovat k zajištění splnění vytyčeného cíle studie [2].

#### **Posuzování dopadů (LCIA)**

Pro zjištění možného dopadu jednotlivých položek inventarizační analýzy na životní prostředí se provádí tzv. posuzování dopadů [2]. Potenciální dopady se hodnotí tak, že se srovnává významnost všech emisních toků a porovnává se s jejich celkovými známými dopady lidské činnosti na životní prostředí v dané kategorii. LCIA tak spojuje údaje z inventarizační analýzy se specifickými dopady na životní prostředí. Jaká je úroveň detailu, volba hodnocených dopadů a použitých metodologií, se odvíjí od definovaného cíle studie a jejího rozsahu. Výstup z LCIA jsou soubory výsledků

indikátoru různých kategorií dopadu. Kategorií dopadu se rozumí třída, která představuje určitý problém z hlediska životního prostředí, který je výsledkem lidské činnosti a lze k němu přiřadit výsledky inventarizační analýzy [2].

## **Interpretace**

Interpretací životního cyklu je postup, během kterého se identifikují environmentální problémy daného produktového systému a hledají se možnosti, jak by se dala snížit spotřeba energie či surovin a také dopad na životní prostředí [2]. Charakter interpretace LCA se odvíjí od toho, za jakým účelem se daná studie od počátku prováděla. Interpretace životního cyklu podává kompletní a důsledné informace o výsledcích LCA studie.

V průběhu interpretace se spojují informace získané z inventarizační analýzy a z hodnocení dopadu na životní prostředí. Během těchto dvou fází LCA se udělaly určité odhady, předpoklady a rozhodnutí, jak se nadále bude v analýze pokračovat. Taktéž se přijala nějaká zjednodušení a aproximace. Všechna data včetně předpokladů a zjednodušení jsou zařazena do interpretační fáze a taktéž jsou vždy uváděna při prezentaci výsledků. Interpretace životního cyklu [2] je složena z následujících etap:

- Identifikace významných problémů
- Hodnocení
- Formulace závěru a doporučení

### **1.2.2 Software pro LCA**

Na trhu jsou již komerčně dostupné databáze, které usnadňují práci při stanovování LCA materiálů. Zde jsou uvedeny některé z nich:

#### ***SimaPro***

SimaPro [4] je LCA software vybraný výzkumnými ústavami a konzultanty. SimaPro nabízí funkce, které by odborníci na LCA očekávali od profesionálního softwarového balíku LCA. SimaPro umožňuje uživatelům přizpůsobit modelování jejich LCA úpravou parametrů a vstupů tak, aby odrážely specifické průmyslové nebo regionální faktory [9].

#### ***Mobius***

Ecochain Mobius [5] je populární softwarový nástroj LCA, který podniky a organizace široce používají k provádění hodnocení životního cyklu. Ecochain Mobius je známý pro své uživatelsky přívětivé rozhraní a pokročilé funkce, které uživatelům usnadňují shromažďování a analýzu dat v průběhu životního cyklu produktu [9]. [9]

## **Umberto**

Umberto [6] je softwarový nástroj pro provádění hodnocení životního cyklu (LCA) a dalších analýz udržitelnosti. Je navržen tak, aby byl uživatelsky přívětivý a flexibilní a umožňoval uživatelům provádět širokou škálu analýz a simulací udržitelnosti [9].

## **One Click LCA**

One Click LCA [7] je automatizovaný LCA & EPD software pro stavební průmysl. Globálně integruje všechny přední standardy, databáze a softwarové nástroje pro návrh. Software lze použít pro budovy, infrastrukturu, renovace, stavební výrobky a materiály a portfolia [9].

## **OpenLCA**

OpenLCA [8] je celosvětově jediný bezplatný, open source LCA software, který lze použít pro profesionální ekologické, sociální a ekonomické hodnocení životního cyklu. OpenLCA lze mimo jiné použít pro LCA, uhlíkovou a vodní stopu, ekodesign, environmentální prohlášení o produktech, kalkulaci nákladů životního cyklu a sociální hodnocení životního cyklu [9].

## **Sphera LCA**

Sphera LCA for Experts (dříve GaBi) [9] kombinuje LCA modelovací a reportovací software se spolehlivými a konzistentními environmentálními daty. S více než 20 databázemi pro konkrétní odvětví umožňují analýzy společnosti Sphera organizacím porozumět dopadům na životní prostředí během každého životního cyklu produktu a činit rozhodnutí založená na faktech [9].

## **ECOINVENT**

Ecoinvent [10] je rozsáhlá databáze inventarizace životního cyklu (LCI), která poskytuje data pro environmentální hodnocení produktů a služeb. Je široce využívána ve studiích hodnocení životního cyklu (LCA), které posuzují environmentální dopady spojené se všemi fázemi života produktu, od těžby surovin až po likvidaci nebo recyklaci [11].

## **GREET**

Model skleníkových plynů, regulovaných emisí a využití energie v dopravě (GREET) [12] je nástroj, který zkoumá dopady technologií vozidel, paliv, produktů a energetických systémů na životní cyklus. Poskytuje transparentní platformu, jejímž prostřednictvím mohou výrobci energie a vozidel, výzkumníci a regulační orgány vyhodnocovat energetické a environmentální účinky technologií vozidel a energetických a produktových systémů. Pro jakýkoli daný energetický a automobilový systém může GREET vypočítat celkovou spotřebu energie (neobnovitelné a obnovitelné), emise látek znečišťujících ovzduší, emise skleníkových plynů a spotřebu vody [13].



## 1.3 Fáze LCA

Podle typu výrobku a způsobu jeho likvidace existují různé způsoby LCA [79].

### 1.3.1 Cradle to Grave

Cradle to Grave (C2G, „od kolébky do hrobu“) [1] je mapování životního cyklu [2] výrobku od těžby primárních surovin, až po jeho likvidaci na konci životnosti [14].

- ***Cradle to Gate***

Cradle to Gate („od kolébky po bránu“) [1] je podmnožinou předchozího Cradle to Grave. Zde je mapován životní cyklus výrobku od těžby primárních surovin po finální kompletní výrobku [2], kdy opouští bránu továrny [14]. Analyzuje tak celý výrobní cyklus výrobku.

### 1.3.2 Cradle to Cradle

Cradle to Cradle (C2C, „od kolébky do kolébky“) [14] je případ uzavřeného výrobního procesu, kdy se výrobek na konci životnosti přetvoří na surovinu, z které se vyrobí opět stejný výrobek nebo jiný výrobek. Prvním případem může být recyklace skleněných obalů, druhým recyklace PET lahví pro výrobu oblečení [1].

### 1.3.3 Well To Wheel

Well to Wheel (W2W, „z pramene na kola“) [14] je metoda vhodná pro paliva a jiné energetické suroviny, včetně elektřiny. Mapuje životní cyklus od získávání energetické suroviny až po energetickou přeměnu na pohyb vozidla. Ta se dělí na tyto podmnožiny [1].

- ***Well to Tank***

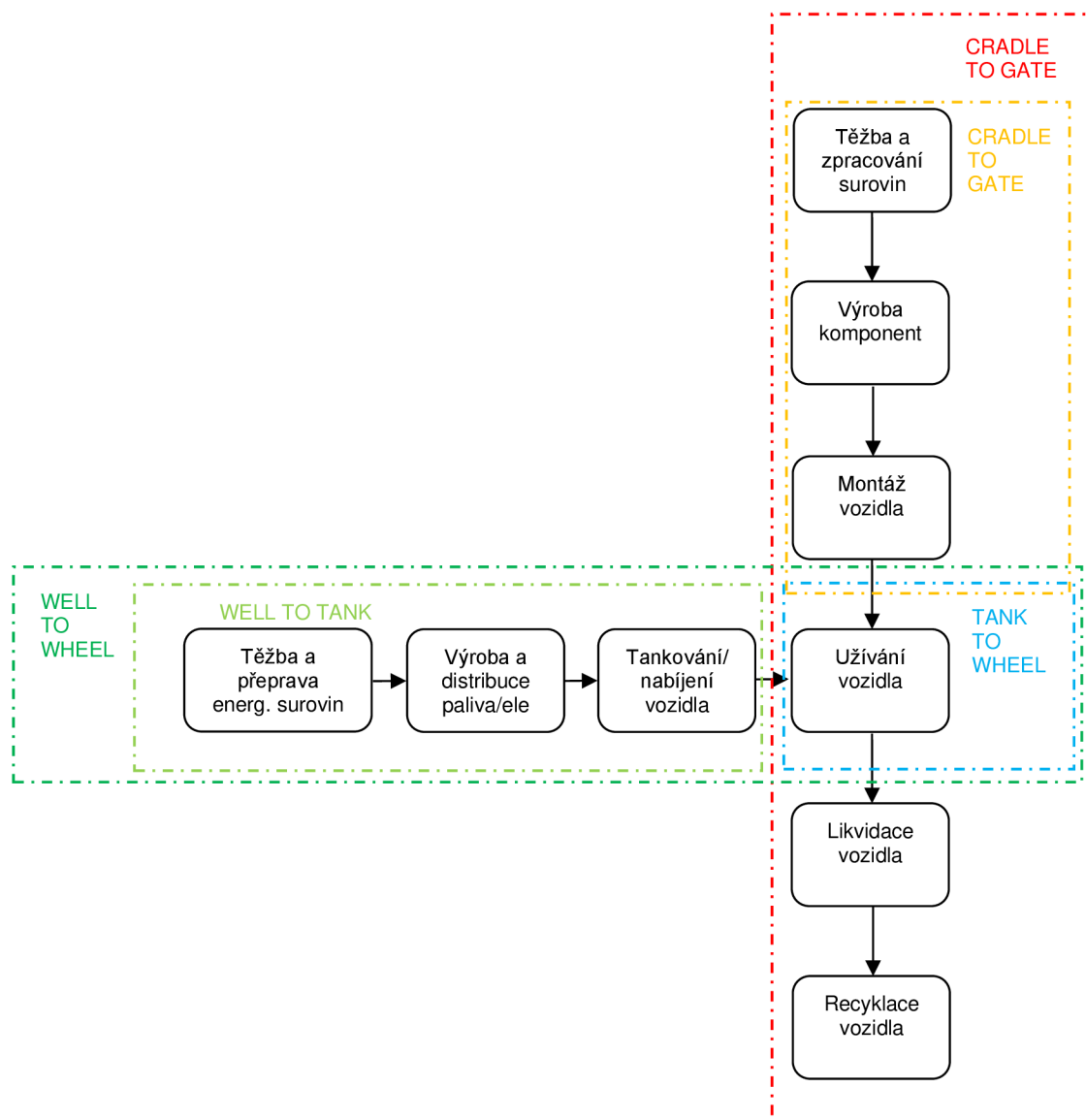
Well to Tank (W2T, „z pramene do nádrže“) [14] mapuje proces od těžby energetické suroviny až po natankování (nabití) ve vozidle [1].

- ***Tank to Wheel***

Tank to Wheel (T2W, „z nádrže na kola“) [14] mapuje přeměnu energie paliva na pohyb vozidla [1].

## 2 Životní cyklus automobilu

Automobilový průmysl představuje odvětví, na které lze aplikovat metodu LCA. Konkrétně lze porovnávat životní cyklus automobilů v rozmezí Cradle to Grave. Paralelně k životnímu cyklu vozu lze porovnávat životní cyklus paliva Well to Wheel. Jednotlivé výsledky lze mezi sebou porovnávat. Schéma životního cyklu automobilu a paliva je na obrázku 1.



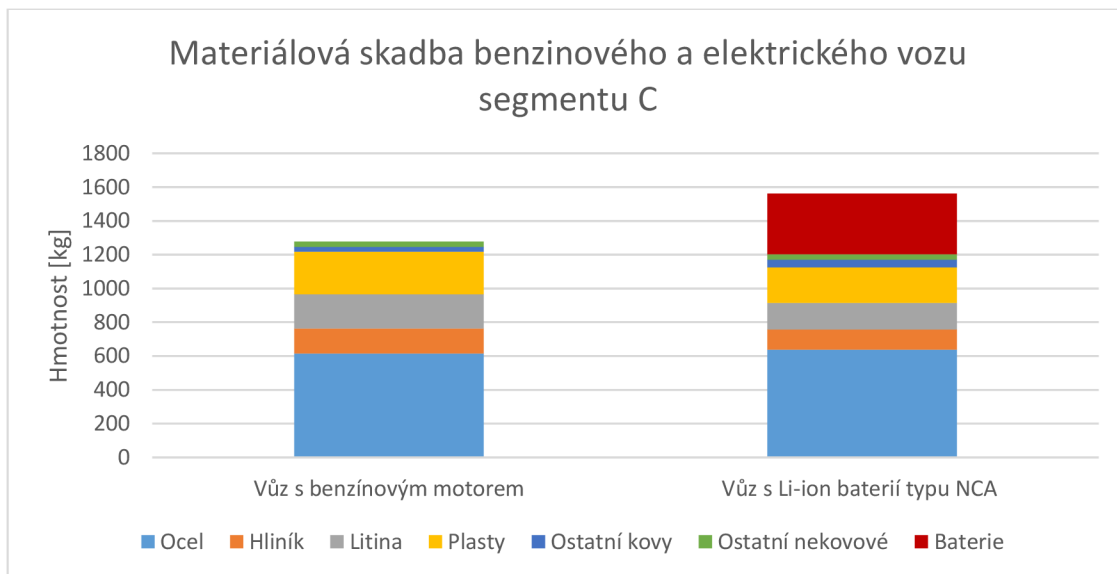
## 2.1 Výroba vozidel se spalovacím motorem

Konstrukce konvenčního vozu se spalovacím motorem [14] se zejména vyznačuje spalovacím motorem, která spaluje nejčastěji benzín anebo naftu. Dále je vůz vybaven manuální nebo automatickou převodovkou s pěti a rychlostními stupni, přes kterou se přenáší točivý moment motoru na kola hnané nápravy.

## 2.2 Výroba elektromobilů

Je předpoklad, že bateriová elektrická vozidla (BEV) jsou proti vozidlům se spalovacím motorem (ICE) více náročná na výrobu [16]. To je způsobeno trakčními bateriemi, které u BEV představují významný hmotnostní podíl a jejichž výroba představuje velkou environmentální zátěž, neboť jsou složeny z prvků [17], které jsou v přírodě těžko získatelné.

Na obrázku 2 je zobrazena materiálová skladba vozu s benzínovým motorem a elektromobilu velikostí nižší střední třídy (segment C), typy baterií jsou vysvětleny v dalších kapitolách.



Obrázek 2 Materiálová skladba benzínového a elektrického vozu segmentu C

### 2.2.1 Konstrukční součásti elektrických vozidel

Graf ukazuje, že elektroauto je o 22 % těžší než auto s benzínovým motorem. Jak už bylo řečeno, nárůst hmotnosti je především kvůli baterii, ovšem elektroauto obsahuje další odlišné komponenty, které mají za následek jinou materiálovou skladbu vozidla. Níže jsou uvedeny ty hlavní:

## **Trakční baterie**

Trakční baterie elektroaut se dobíjejí za pomoci usměrněného proudu elektrické energie, která se uvnitř bateriových článků přeměňuje na energii chemických vazeb. Při jízdě se energie chemických vazeb přeměňuje zpět na energii elektrickou. Ta je elektromotorem přeměňována na mechanickou energii, která roztáčí kola elektromobilu.

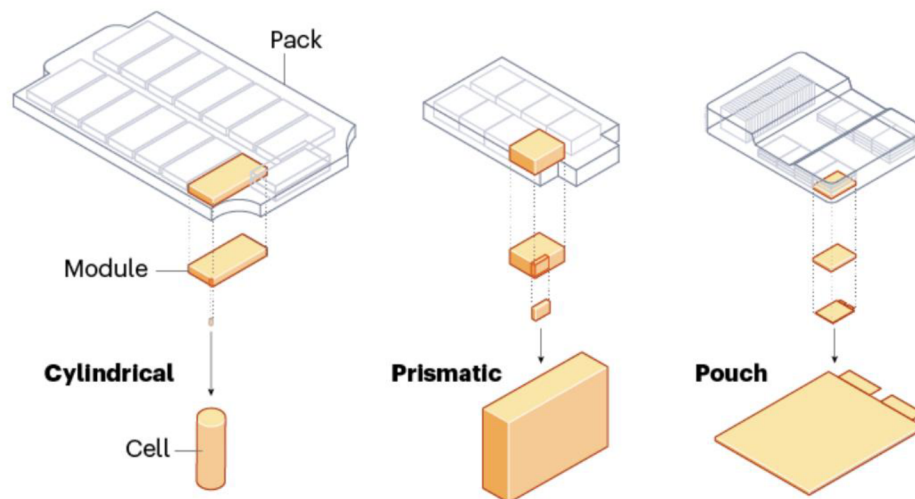
Trakční baterie představují největší výzvu v konstrukci elektrických vozidel. Pro svoji velkou hmotnost se významně podílejí na pohotovostní hmotnosti vozidla. Při vývoji trakčních baterií je proto zejména kladen důraz na vysokou energetickou hustotu [18]. Energetická hustota uvádí, kolik energie dokáže baterie uložit na jednotku hmotnosti (gravimetrická hustota) nebo jednotku objemu (volumetrická hustota) [19]. S rostoucí energetickou hustotou baterie se zvyšuje dojezd elektromobilu při zachování stejné hmotnosti nebo objemu baterie.

- Gravimetrická energetická hustota:  $q_m$  [Wh/kg]
- Volumetrická energetická hustota:  $q_v$  [Wh/l]

Dalším důležitým parametrem je životnost baterie [28]. Stejně jako u mobilních telefonů a laptopů se kapacita trakční baterie užíváním postupně snižuje. To je dáno postupným opotřebením způsobeným cyklickým nabíjením a vybíjením, a také stárnutím materiálů. Cyklická životnost baterie obvykle značí, kolik cyklů nabití na maximum a vybití na minimum baterie zvládne, než její kapacita klesne pod 80 % [28]. Poté lze zařízení dále používat, ale s nižší výdrží, v případě elektromobilu s o 20 % nižším dojezdem na jedno nabití, který se bude pravděpodobně dále snižovat. Vhodným provozem lze zvýšit cyklickou životnost baterie. Například dobíjením v nižším rozsahu kapacity (20-80 %) a provozu ve správném teplotním okně [20].

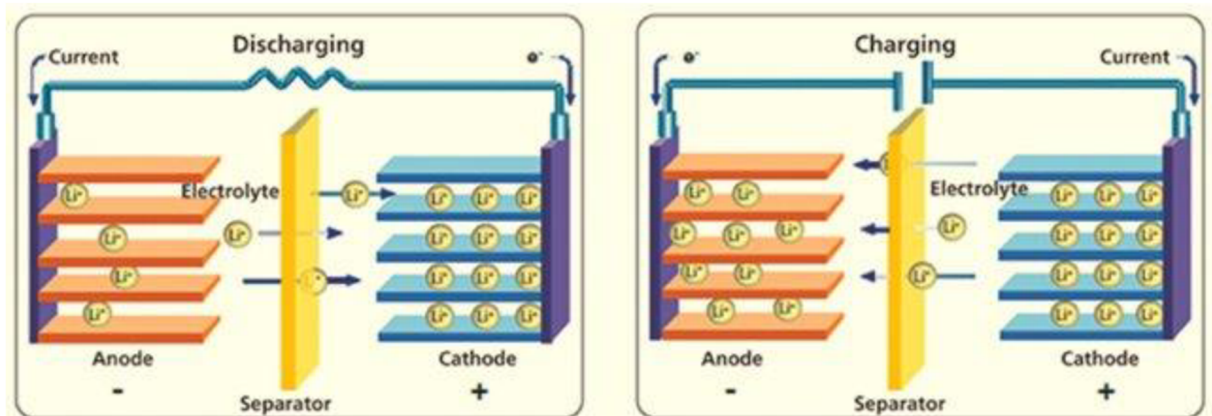
## **Lithium iontové trakční baterie**

Výše zmíněné požadavky v současnosti nejlépe splňují lithium-iontové baterie (Li-ion), které představují dominantní typ baterií v elektrických vozidlech. Vyznačují se zejména vysokou energetickou hustotou a dlouhou cyklickou životností. Li-ion baterie se běžně vyskytují také v mobilních telefonech, tabletech, laptotech a dalších nositelných elektronických zařízeních. Na obrázku 3 jsou znázorněny nejčastější konstrukční typy Li-ion článků [22]. Je to zleva cylindrický, prizmatický a pouzdrový. [19]



Obrázek 3 Konstrukční typy Li-ion článků v modulární sestavě [22]

Li-ion baterie se skládá z kladně nabitě katody, záporně nabitě anody a separátoru 0. Během fáze vybíjení se kladně nabitě ionty lithia uvolňují z anody a přesunují se do katody skrz elektrolyt, a tím generují elektrický proud. Během fáze nabíjení se ionty lithia uvolňují z katody a přesunují se zpět do anody 0. Tyto elektrochemické reakce se odehrávají v jednotlivých bateriových člancích. Ty se paralelně a sériově seskupují a společně tvoří celou baterii [22]. Obrázek 4 níže ukazuje základní princip fungování Li-ion baterie.



Obrázek 4 Princip elektrochemických reakcí uvnitř Li-ion článku 0

Li-ion baterie jsou převážně složeny z materiálů, které jsou obtížně získatelné. Jsou to vzácné kovy jako například kobalt (Co), nikl (Ni), mangan (Mn), lithium (Li), měď (Cu) a hliník (Al). Dále grafit (C) a případně i fosfáty ( $XPO_4$ ) [17]. Získávání a zpracování těchto materiálů pro výrobu Li-ion baterií představuje velkou environmentální zátěž.

Obal trakční baterie v elektrických vozidlech tvoří hliník, ocel a polymery. Elektrické vodiče a konektory uvnitř baterie zahrnují měď, hliník a polymery. Elektrolyt funguje na bázi tekutých lithiových solí. Anoda je obvykle tvořena z grafitu [17].

Materiál katody je různý [23], dle její chemické směsi se Li-ion baterie dělí na následující typy.

- NMC nikl-mangan-kobalt
- NCA nikl-kobalt aluminium
- LFP lithium-železo-fosfát
- LCO lithium-kobalt-oxid
- LMO lithium-metal-oxid

Rozdělení Li-ion baterií dle chemického složení katody je zásadní, protože z hlediska environmentální zátěže se od sebe jednotlivé druhy značně odlišují. V automobilovém průmyslu se v současnosti používají zejména typy NMC, NCA a LFP.[26] [27] Níže jsou popsány podrobněji.

### **Baterie Li-ion NMC**

V základu je poměr prvků (Ni, Mn, Co) v poměru 1:1:1. S postupným technologickým vývojem se navyšuje poměr niklu na úkor ostatních prvků. Pokročilejší směsi jsou 5:3:2, 6:2:2 a 8:1:1 [61]. Výrobci baterií tak postupně upouštějí od baterií bohatých na kobalt a nahrazují ho vyšším množstvím niklu. Důvodem je vysoká cena kobaltu a etické otázky [72] spojené s jeho nešetrnou těžbou v rozvojových zemích.

Provozní nevýhodou NMC baterií je, že pokud zůstanou po delší době ve stavu plného nabití, tak se rychle opotřebovávají. Baterie NMC se v současnosti používají v nejvíce typech elektroaut a hybridů. Jsou ve většině modelech automobilek [28] Audi, BMW, Fiat, Mercedes, Porsche, Renault, Škoda, Volkswagen, Mitsubishi, Nissan, Toyota, Hyundai, Kia, Chevrolet, Ford a dalších [23] [25] [26].

### **Baterie Li-ion NCA**

Obsahují nikl, kobalt a hliník v různém poměru. Svými vlastnostmi jsou podobné NMC bateriím. Vyznačují se nejvyšší energetickou hustotou a širokým rozmezím provozních teplot. Jejich nevýhodou je nejvyšší environmentální zátěž při výrobě kvůli vysokému obsahu kobaltu. Baterii NCA používá [28] zejména americká Tesla S a Tesla X [23] [25] [26].

### **Baterie Li-ion LFP**

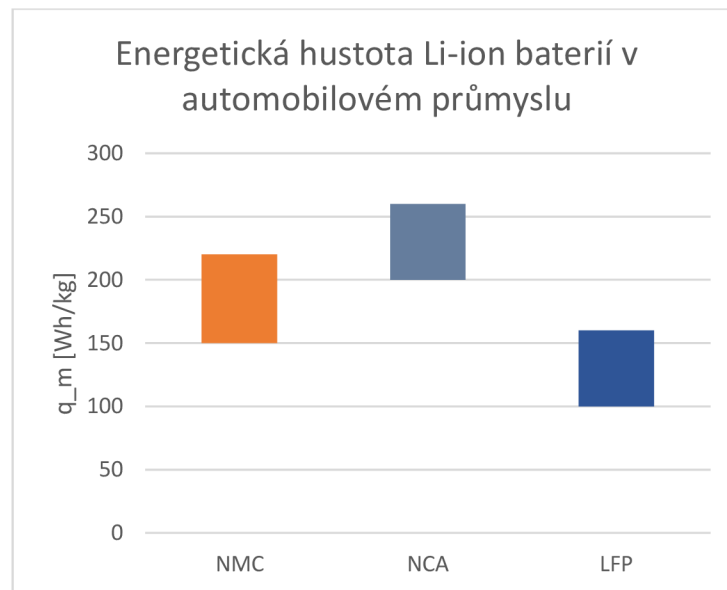
Obsahují lithium, železo a fosfáty v různém poměru. Oproti bateriím na bázi kobaltu mají nižší energetickou hustotu, tudíž bývají těžší, anebo mají nižší dojezd. Jejich výhodou je však nižší environmentální zátěž při výrobě a také to, že oproti NMC a NCA bateriím neztrácejí výrazně životnost při nabíjení na plnou kapacitu.

LFP baterie také zvládnou nejvyšší počet dobíjecích cyklů a mají nejvyšší bezpečnost, protože jsou nejméně hořlavé. Jejich nevýhodou je nízká účinnost za nízkých teplot, často jsou proto vybaveny výhřevem, což může mít v zimě za následek

velký nárůst spotřeby vozu. Baterii LFP používají nejvíce čínské elektromobily, jsou například v modelech automobilky BYD. V poslední době je používají i vybrané modely Tesla 3 a Tesla Y [23] [26]. Níže je tabulka 1 s přehledem a porovnáním nejčastějších typů trakčních baterií a obrázek 5 zobrazuje rozmezí energetických hustot dle typu baterie.

Tabulka 1 Srovnání trakčních Li-ion baterií [18] [19] [24]

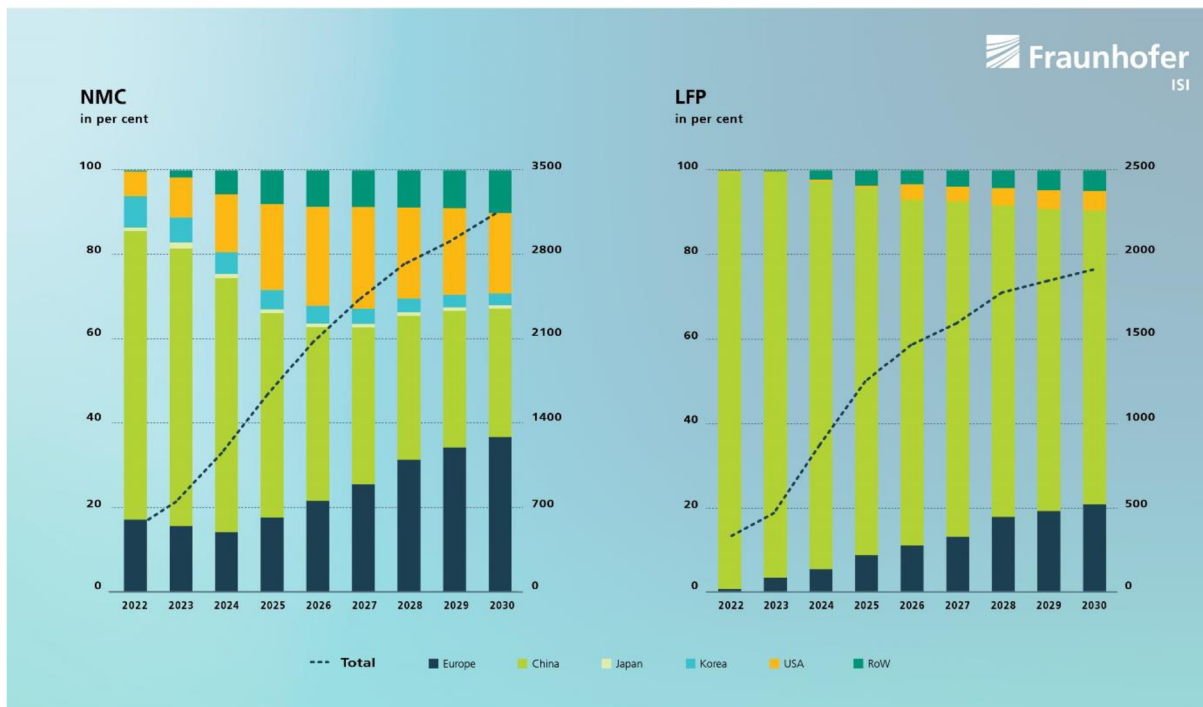
	Energetická hustota	Počet nabíjecích cyklů	Energetická náročnost výroby	Produkce skleníkových plynů (GHG) při výrobě
NMC	150–220 Wh/kg	1000-2000	127 MJ/kg	9,2 kgCO <sub>2</sub> eq/kg
NCA	200–260 Wh/kg	500-1000	201 MJ/kg	14,2 kgCO <sub>2</sub> eq/kg
LFP	100–160 Wh/kg	2000-5000	84 MJ/kg	6,2 kgCO <sub>2</sub> eq/kg



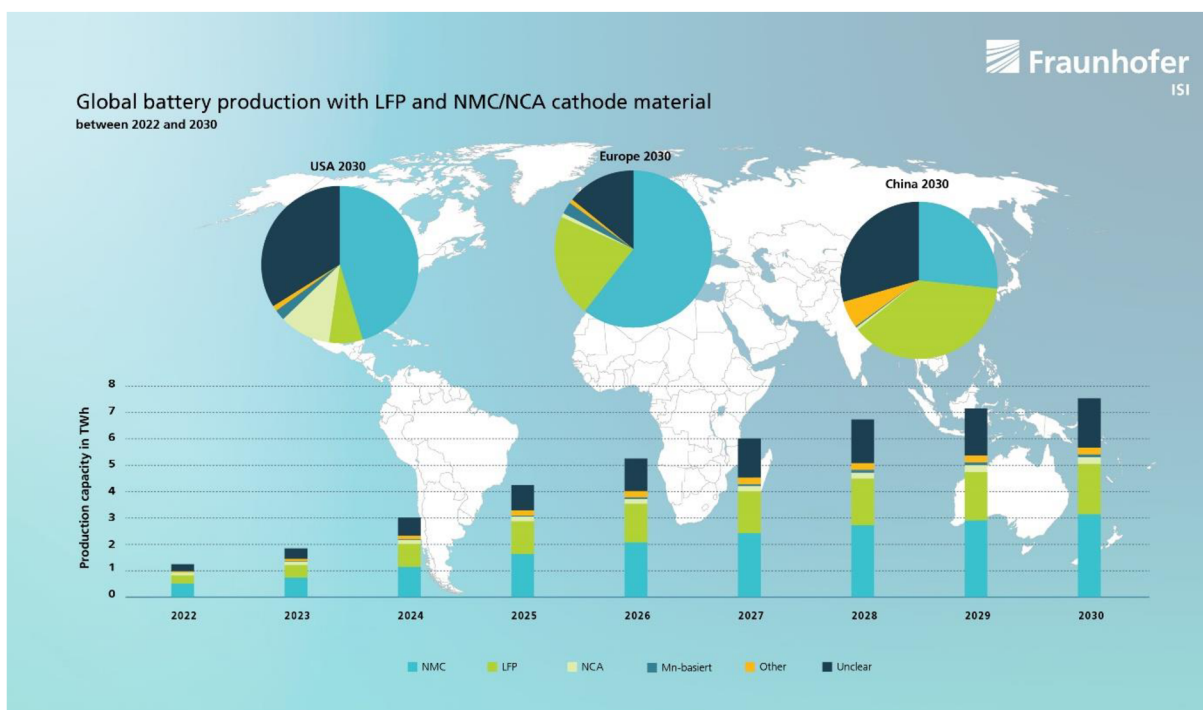
Obrázek 5 Energetická hustota Li-ion baterií v elektromobilech [18] [19] [24]

### Výhled výroby baterií ve světě

Produkce jednotlivých typů baterií je řízena trhem. Zatímco v Evropě a Severní Americe jsou často rozšířena výkonná a luxusnější elektrická vozidla s bateriemi NMC a NCA, tak v Číně se zase vyskytuje mnoho malých elektroaut s bateriemi LFP 0. Obrázky 6 a 7 ukazují předpokládaný vývoj produkce baterií ve světě v roce 2030.



Obrázek 6 Výhled podílu regionů ve výrobě baterií 0



Obrázek 7 Výhled globální výroby hlavních typů baterií 0

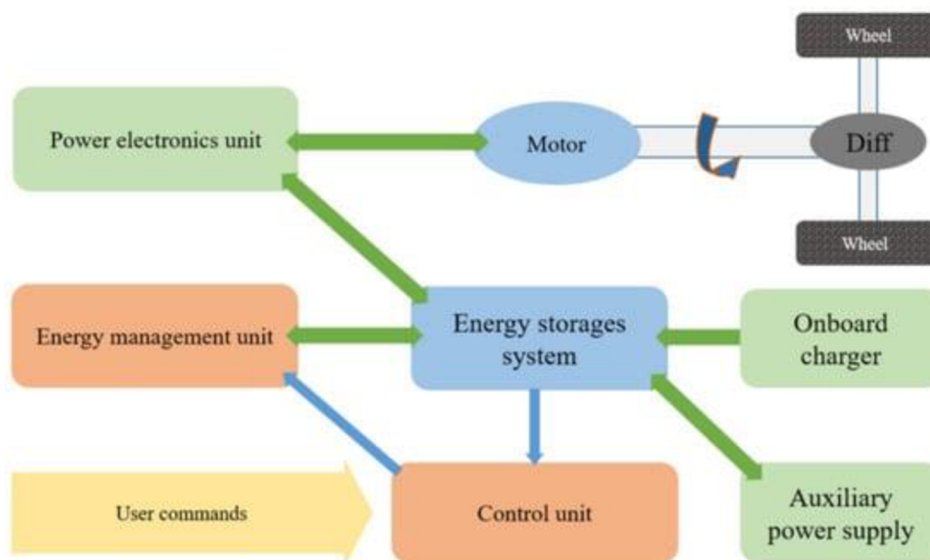
Světová produkce baterií LFP se odehrává především v Číně, kde tvoří více než třetinu tamní produkce. Naopak baterie NMC tvoří pouze jednu čtvrtinu baterií vyráběných v Číně. V Evropě bude dominovat výroba baterií NMC baterií, také mírně poroste podíl LFP baterií 0.



## 2.2.2 Elektrický trakční systém

Trakční systém elektrických vozidel je flexibilnější než trakční systém konvenčního vozidla se spalovacím motorem, protože obsahuje méně pohyblivých částí [30]. U EV chybí spojka a konvenční převodový systém je nahrazen jednoduchým převodovým poměrem.

Tok energie v elektrických vozidlech je zajištěn pomocí elektrické kabeláže a minimálního množství pohyblivých mechanických spojů. Hlavními složkami elektrického hnacího ústrojí jsou zdroj energie, elektronické řídicí jednotky, elektromotor [31], převodový systém a palubní nabíječka baterie [30]. Sekundární zdroj elektrického vozidla zajišťuje napájení potřebné pro všechny pomocné systémy [30], především pro jednotky regulace teploty, které sledují příznivou teplotu bateriového systému pro jeho dlouhodobý provoz, a pro jednotky posilovače řízení. Schéma architektury hnacího ústrojí EV je na obrázku 8.



Obrázek 8 Architektura hnacího ústrojí elektrického vozu [30]

### **System nabíjení**

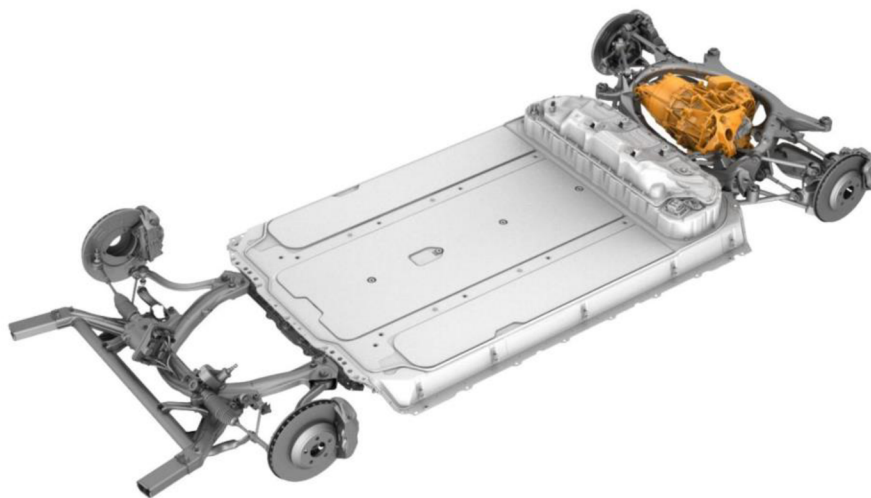
Elektromobily lze dobít střídaným nebo stejnosměrným proudem. V domácích podmínkách se obvykle jedná o střídavý proud, který bude muset procházet palubní nabíječkou. Právě to zpomaluje rychlost dobíjení, protože zabudovaný usměrňovač ve vozidle nemůže mít velký výkon [30], obvykle je maximum kolem 20 kW. Rychlonabíječky (superchargery) jsou stejnosměrné a nemusí procházet vnitřním měničem ve voze; dobíjecí výkon pak může být obrovský, přesahující 250 kW.

### **Elektromotor**

Elektrické motory se používají k přeměně elektrické energie na mechanickou a naopak [31] a k zajištění točivého momentu a výkonu hnacího ústrojí elektromobilu. Účinnost přeměny energie elektrického stroje se pohybuje mezi 80 a 96 % [30].

Elektromotor poskytuje vysoký točivý moment a vysokou hustotu výkonu s lepšími charakteristikami točivého momentu ve fázi rozběhu, s okamžitým jmenovitým výkonem, který je dvakrát až třikrát vyšší než jmenovitý výkon konvenčního ICE [30], a je využíván v rekuperačním režimu při brzdění a zpomalování pro nabíjení akumulárního systému.

Motor se vyznačuje velmi vysokým pracovním rozsahem (například 16 000 ot/min u Tesly Model S) a točivým momentem rychle dostupným při nízkých otáčkách [30], což eliminuje nutnost použití převodovky. Běžně se využívá reduktor s převodovým poměrem s jednou nebo maximálně dvěma rychlostmi [30].

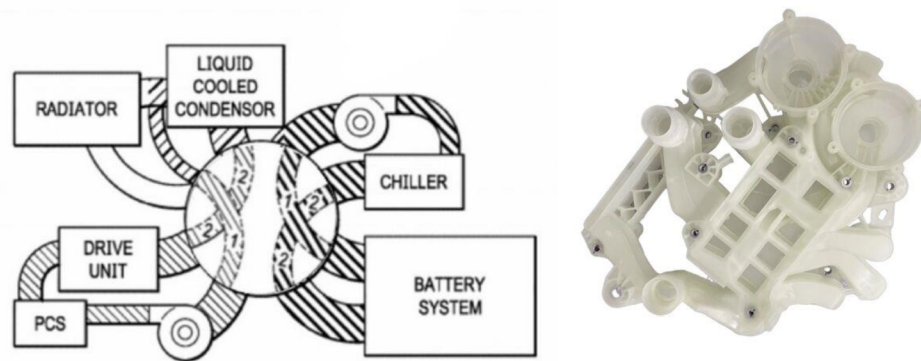


Obrázek 9 Povozeček EV s elektromotorem na zadní nápravě [32]

### 2.2.3 Systém tepelného řízení

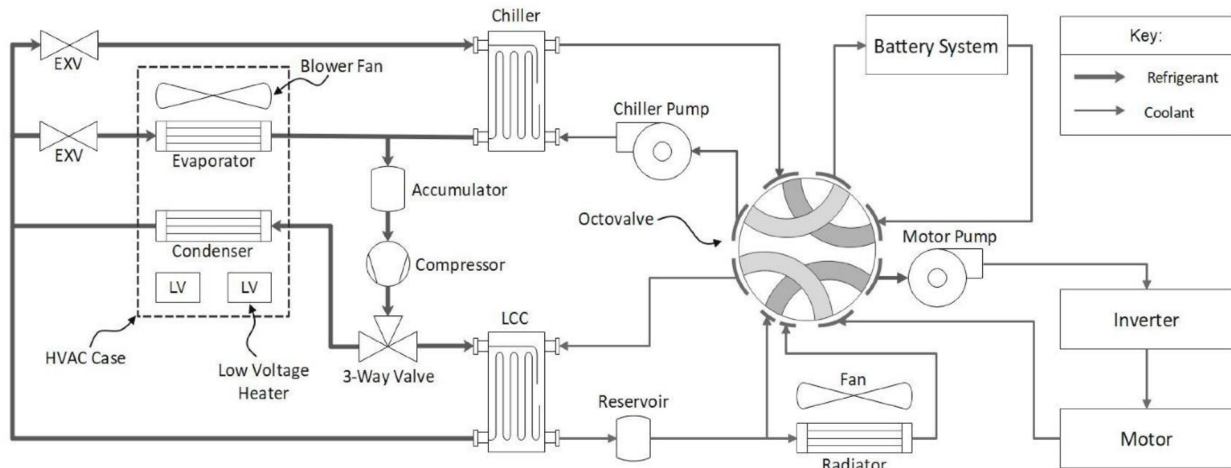
Systém tepelného řízení (thermal management) [33] představuje další výzvu ve vývoji elektromobilů. Oproti ICE neprodukují BEV velké množství odpadního tepla. To může představovat problém zejména při zimních startech. Při zimním startu je totiž požadavek na rychle vyhřátou kabinu pro tepelnou pohodu posádky a zároveň požadavek na zahřátí baterie na provozní teplotu, aby se nezvyšovala její degradace. Obzvláště baterie s nízkým obsahem nebo bez obsahu kobaltu jsou citlivé na nízké teploty. Baterie jsou proto často vybaveny systémem výhřevu/chlazení. Pro efektivní systém tepelného řízení se v dražších modelech využívá tepelné čerpadlo (TČ). TČ se obvykle stará o centrální distribuci tepla ve vozidle. Zajišťuje tepelnou pohodu kabiny, stará se o výhřev nebo chlazení baterie (potřeba chladit může nastávat při dobíjení). Dále se stará o chlazení elektromotoru, střídače a dalších elektronických prvků.

Propracovaným systémem tepelného řízení jsou vybaveny vozy Tesla. Srdcem tepelného čerpadla je takzvaný octovalve [33]. Octovalve je otočný ventil s osmi otvory viz obrázek 10.



Obrázek 10 Octovalve, schéma a fotografie [33] [34]

Jeho rotací může řídicí jednotka volit z šesti možností ohřevu a dvou možností chlazení [32]. Schéma celého systému tepelného řízení je zobrazeno na obrázku 11 níže.



Obrázek 11 Schéma tepelného řízení ve vozidlech Tesla [33]

## 2.3 Výroba plug-in hybridů

Plug-in hybridní elektromobily [68] (PHEV, Plug-in Electric Vehicle) využívají baterie k napájení elektromotoru a další palivo, například benzin nebo naftu [70], k pohonu spalovacího motoru nebo jiného zdroje pohonu. PHEV mohou nabíjet své baterie pomocí nabíjecího zařízení a rekuperačního brzdění. Využívání elektriny ze sítě k částečnému nebo trvalému pohonu vozidla snižuje provozní náklady a spotřebu paliva ve srovnání s konvenčními vozidly [68] [28].

PHEV mají spalovací motor a elektromotor, který využívá energii uloženou v bateriích. Chemie katody je většinou NMC [28]. PHEV mají obvykle větší akumulátory než hybridní elektromobily [70]. Díky tomu je možné ujet střední vzdálenosti pouze na elektrinu (u současných modelů přibližně 20 až více než 100 km [70]), což se běžně označuje jako elektrický dojezd vozidla.

## 2.4 Provoz spalovacích automobilů

Environmentální zátěž provozu spalovacího automobilu se odvíjí od spotřeby paliva. Z každého spáleného litru paliva vzniká stanovené množství oxidu uhličitého a dalších škodlivin. Mimoto se fosilní palivo uvažuje jako vstupní produkt, který se těží, přepravuje, rafinuje a distribuuje, a tudíž jeho zpracováním vznikají další emise.

Benzín a motorová nafta jsou v současnosti nejběžnějšími palivy automobilů. Hodnoty CO<sub>2</sub> jsou uvedeny v tabulce níže. V současnosti se do paliv přidávají biosložky, které jsou vyráběny z potravinářských plodin pěstovaných na orné půdě [36]. Takto vyráběná biopaliva jsou nazývána biopalivy první generace [35].

### 2.4.1 Benzín E10

E10 je kódové označení benzínu pro automobily, který obsahuje maximálně 10 % bioetanolu [35]. Od 1. ledna 2024 v České republice povinně nahradil předchozí E5 (maximálně 5 % bioetanolu). Bioetanol je biopalivem první generace. Vyrábí se technologií alkoholového kvašení biomasy, obvykle se jedná o rostliny s vysokým obsahem škrobu. Jsou to zejména kukuřice, obilí a brambory.

Prospěšnost bioetanolu v palivovém systému je často rozporována, neboť při vyšší koncentraci může mít za následek rychlejší degradaci paliva a může poškozovat pryžové součásti palivového systému u starších vozidel, která na podíl biosložky nebyla konstruována [35]. Přidávání bioetanolu do benzínu je však součástí snahy o snížení emisí skleníkových plynů.

Bioetanol je klasifikován jako CO<sub>2</sub> neutrální zdroj [36], protože při růstu plodiny se uhlík ze vzduchu váže na pletivo rostliny a spálením se vypouští zpět do ovzduší. Jedná se tak o stabilní cyklus, který nemá za následek zvyšování atmosférické koncentrace oxidu uhličitého. To se projevuje nižším množstvím vyprodukovaného CO<sub>2</sub>, které je fosilního (ropného) původu viz tabulka níže. Některá vozidla mohou být upravena na spalování E85, tedy směsi 85 % bioetanolu a pouze 15 % benzínu.

### 2.4.2 Motorová nafta B7

B7 je kódové označení motorové nafty, která obsahuje maximálně 7 % metylesteru řepkového oleje (MEŘO) [35]. MEŘO je biopalivo první generace. Vyrábí se esterifikací, hlavní surovinou je řepkový olej.

Prospěšnost MEŘO je často rozporována, neboť vyšší podíl MEŘO v palivu může mít za následek tvorbu usazenin v palivovém systému [35] a až ucpání některých komponent, např. palivového filtru a vstříků. Přidávání MEŘO do motorové nafty je však součástí snahy o snížení emisí skleníkových plynů.

MEŘO je klasifikováno jako CO<sub>2</sub> neutrální zdroj [36], protože při růstu plodiny se uhlík ze vzduchu váže na pletivo rostliny a spálením se vypouští zpět do ovzduší. Jedná se tak o stabilní cyklus, který nemá za následek zvyšování atmosférické

koncentrace oxidu uhličitého. To se projevuje nižším množstvím vyprodukovaného CO<sub>2</sub>, které je fosilního (ropného) původu viz tabulka níže. V minulosti se v ČR prodávala nafta B100 neboli bionafta tvořena 100% biosložkou. Také existovala tzv. směsná nafta B30 s 30 % biosložky. Tabulka 2 zobrazuje množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> z jednoho litru paliva.

Tabulka 2 Produkce CO<sub>2</sub> při spalování paliva

	Množství CO <sub>2</sub> při výrobě (Well to Tank)	Množství CO <sub>2</sub> při provozu (Tank to Wheel) bez biosložky	Typ biosložky	Podíl biosložky	Množství CO <sub>2</sub> při provozu (Tank to Wheel) s biosložkou
	m <sub>CO2</sub>	m <sub>CO2_FOS</sub>	-	% <sub>BIO</sub>	m <sub>CO2_BIO</sub>
Benzín E10	564 g/l	2290 g/l [37]	Bioetanol	10	2061 g/l
Nafta B7	447 g/l	2600 g/l [37]	MEŘO	7	2418 g/l

Tabulka ukazuje, že 1 litr spálené nafty vyprodukuje více CO<sub>2</sub> než 1 l benzínu. Ovšem ve skutečnosti je provoz na naftu z hlediska vypouštěného CO<sub>2</sub> šetrnější, protože naftové motory jsou úspornější.

Přepočítání vyprodukovaného CO<sub>2</sub> bylo provedeno dle rovnice 1.

$$m_{CO2\_BIO} = \frac{100 - \%_{BIO}}{100} \% \cdot m_{CO2\_FOS} \quad (1)$$

$\%_{BIO}$  Procentuální podíl biosložky v palivu

$m_{CO2\_FOS}$  [g/l] Množství CO<sub>2</sub> vzniklé spálením 1 litru fosilního paliva

### 2.4.3 Výhled biopaliv

Jak již bylo zmíněno, přidávání biopaliv je součástí snahy o snižování emisí skleníkových plynů. Současná biopaliva přidávána benzínu a nafty se nazývají biopalivy první generace, protože jsou pěstována na orné půdě [36]. Jsou sice CO<sub>2</sub> neutrální, ale jsou kritizována za to, že jejich pěstování konkuruje zemědělským plodinám [36] a může mít za následek zdražování potravin. Proto jsou zkoumány pokročilejší metody výroby biopaliv.

#### **Biopaliva druhé generace**

Další evolucí jsou biopaliva druhé generace [36], která se vyrábějí z odpadní biomasy. Odpadní biomasa zahrnuje biomasu na bázi lignocelulózy nebo dřeviny,

zemědělské a potravinářské organické zbytky nebo odpady, kaly z čistíren odpadních vod a záměrně pěstovanou biomasu v půdě, která je nevhodná k pěstování potravin.

Biopaliva druhé generace tak díky svému způsobu získávání nekonkurují produkci potravin [36]. Jejich další výhodou je, že svými vlastnostmi a chemickou čistotou se vyrovnají palivům vyráběným z ropy.

### **Biopaliva třetí generace**

Biopaliva třetí generace [38] jsou získávána z řas. Řasy ke svému růstu potřebují světelné záření, oxid uhličitý, živiny a vodu. Z produktů řas lze vyrábět velkou škálu paliv, protože řasy produkují olej, který lze rafinovat na naftu nebo dokonce na některé složky benzínu [38]. Řasy lze geneticky modifikovat za účelem výroby etanolu, butanolu, benzínu a nafty. Produkce biopaliv z řas může dosahovat velkých výnosů.

Existuje několik způsobů pěstování řas [38]. První způsob je pěstování řas v jezírku v otevřeném prostředí. Tato metoda je investičně levná, ale málo účinná. Je zde riziko, že vlivy vnějšího prostředí mohou řasy zabít. Dalším způsobem jsou uzavřené systémy, zde řasy nejsou vystaveny okolní atmosféře, místo toho jim jim dodáván čistý oxid uhličitý. Nejpokročilejším způsobem je pěstování řas ve fotobioreaktorech [39], což jsou laboratorní zařízení pro pěstování řas.

Nevýhodou biopaliv třetí generace spočívá ve velkém množství vody, dusíku a fosforu potřebných k růstu řas. Výroba hnojiv pro uspokojení potřeb řas v současné době produkuje více emisí skleníkových plynů [38], než by se ušetřilo. To také znamená, že jsou v současnosti výrazně dražší než ostatní technologie. Podle společnosti Exxon Mobil, která zkoumala pěstování řas, bude tato technologie začne být dostupná až po roce 2040 [38].

### **Biopaliva čtvrté generace**

Zdrojem energie pro biopaliva čtvrté generace [40] je elektrická energie z obnovitelných zdrojů (OZE), která je transformována na energii chemických vazeb, například redukcí CO<sub>2</sub> na organické sloučeniny jako metan nebo etanol. Zatím jsou tyto procesy velmi energeticky náročné, ale s rostoucím množstvím instalací OZE můžou mít v budoucnu velký potenciál [41] [42].

## **2.5 Provoz elektromobilů**

Environmentální zátěž elektromobilu závisí jednak na spotřebě a na původu elektřiny. Spotřeba EV je v zimě vyšší zejména kvůli vytápění kabiny a baterie. Původ elektřiny se odlišuje dle státu, kde se elektromobil provozuje. Pro je třeba znát energetický mix země, to znamená, jakými způsoby a v jakém množství se tam vyrábí elektřina.

Z energetického mixu se vypočítává národní emisní faktor země, někdy též označován uhlíková intenzita. Ten značí, kolik emisních plynů se vyprodukuje na určité množství vyrobené energie.

Národní emisní faktor (uhlíková intenzita):  $e_f [t_{CO_2_{eq}}/MWh]$

$t_{CO_2_{eq}}$  značí množství skleníkových plynů, které mají stejný vliv na globální oteplování jako 1 tuna oxidu uhličitého. Je vysvětleno podrobněji v dalších kapitolách. Rozlišuje se emisní faktor výroby a spotřeby elektrické energie.

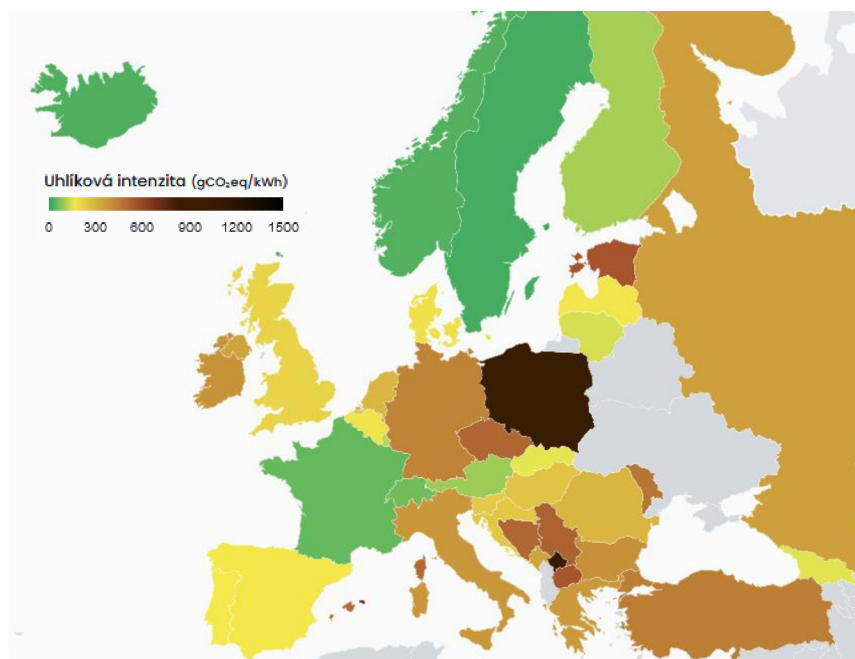
- Emisní faktor výroby elektřiny [74] udává množství emisí skleníkových plynů z netto výroby elektrické energie, tzn. se započítáním vlastní spotřeby elektráren. (Na provoz čerpadel, kompresorů, osvětlení, zabezpečovací prvky atd.
- Emisní faktor spotřeby elektřiny [43] zahrnuje nejen emise vzniklé při samotné výrobě elektřiny, ale také emise spojené se ztrátami přenosem a distribucí elektřiny ke koncovým zákazníkům. Dá se proto vztáhnout na spotřebu koncového uživatele, např. domácnost, firmu nebo elektromobil.

V tabulce 3 jsou vypsané emisní faktory spotřeby elektrické energie Evropské Unie a vybraných států a podle dvou zdrojů.

Tabulka 3 Emisní faktory spotřeby elektřiny pro vybrané evropské státy [43]

Rok 2020	Národní emisní faktor (IPCC) [ $t_{CO_2_{eq}}/MWh$ ]	Národní emisní faktor (LCA) [ $t_{CO_2_{eq}}/MWh$ ]
<b>Evropská Unie (EU27)</b>	0,255	0,293
<b>Česká republika</b>	0,596	0,632
<b>Slovensko</b>	0,188	0,214
<b>Polsko</b>	0,725	0,796
<b>Německo</b>	0,376	0,418
<b>Francie</b>	0,067	0,079

Jsou také dostupné on-line interaktivní mapy, které zobrazují národní emisní faktory států v aktuálním čase viz obrázek 12



Obrázek 12 Uhlíková intenzita států Evropy z výroby elektřiny, z interaktivního webu [44]

### 2.5.1 Ztráty při nabíjení

Ke stanovení spotřeby elektromobilu nestačí uvažovat s hodnotou normované spotřeby při jízdě. Je nezbytné přičíst také ztráty elektrické energie při nabíjení, které vznikají ve formě odpadního tepla. Ztráty Německý autoklub ADAC zkoumal účinnost domácího nabíjení střídavým proudem (AC) pro různé elektromobily viz tabulka 4.

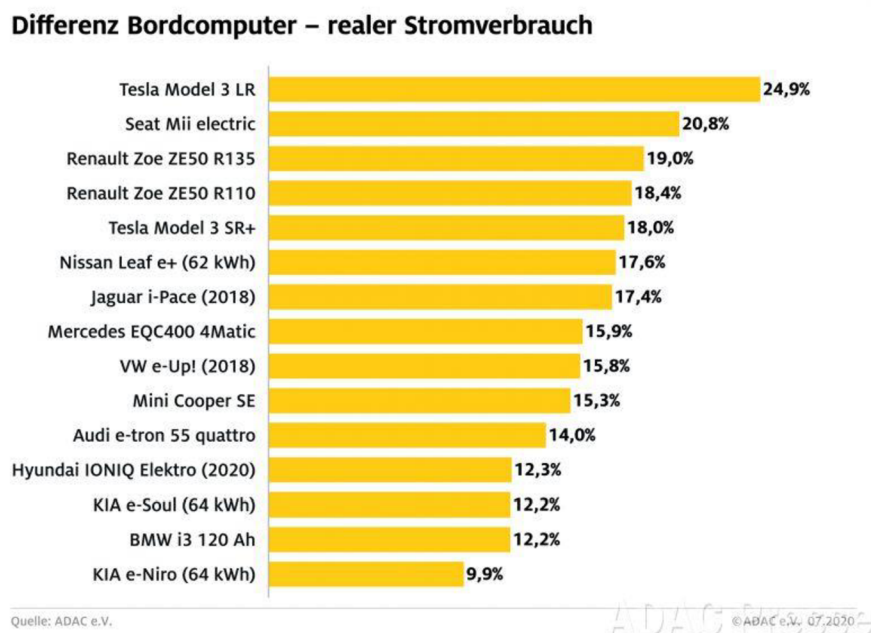
Tabulka 4 Test nabíjecích ztrát elektroaut [45]

Tabulka ADAC	Elektrická zásuvka (2,3 kW)	Wallbox (11 kW)	Wallbox se sníženým výkonem
Renault Zoe	24,2 %	9,7 %	-
WW ID.3	13,6 %	9,0 %	9,2 % (5,5 kW)
Tesla Model 3	15,2 %	7,7 %	11,4 % (3,5 kW)
Fiat 500e	12,7 %	6,3 %	13,9 % (13,6 kW)

Z tabulky 4 vyplývá, že z hlediska efektivity je ve všech případech wallbox lepší než klasická zásuvka. Wallbox je taky šetrnější k baterii, protože má konstrukci přímo navrženou pro nabíjení elektromobilů, včetně konektorů a díky monitoringu baterie nabízí vždy optimální dobíjecí režim. Bylo také testováno dobíjení z wallboxu při sníženém příkonu, které v praxi může nastávat v důsledku přetížení sítě. V tomto případě vycházejí vyšší ztráty než za nominálního příkonu, ale menší než při dobíjení ze zásuvky.



ADAC také zkoumal účinnost AC dobíjení 15 elektromobilů z wallboxu o výkonu 22 kW [49]. Výsledky zobrazuje obrázek 13.



Obrázek 13 Ztráty při nabíjení EV s 22kW wallboxem [46]

Pro rychlonabíjení se používají stejnosměrné nabíječky se stejnosměrným proudem (DC). Účinnost DC dobíjení je i přes vyšší příkony stejná nebo vyšší než AC dobíjení [47]. Je to způsobeno efektivnějším usměrňovačem proudu v rychlonabíječce. Nepodařilo se najít data DC nabíječek pro EV, ale z dat efektivity stacionárních úložišť elektrické energie za pomoci Li-ion baterií [48] vyplývá, že ztráta se pohybuje v rozmezí 10 až 15 %.

## 2.6 Provoz plug-in hybridů

Baterie PHEV lze nabíjet z vnějšího zdroje elektrické energie, spalovacího motoru nebo rekuperačním brzděním [70]. Při brzdění funguje elektromotor jako generátor a využívá energii k nabíjení baterie, čímž získává zpět energii, která by byla ztracena.

Spotřeba paliva PHEV závisí na vzdálenosti ujeté mezi jednotlivými nabíjenými baterie. Pokud například vozidlo není nikdy připojeno k síti za účelem nabíjení, bude spotřeba paliva přibližně stejná jako u podobně velkého hybridního elektromobilu. Pokud vozidlo ujede kratší vzdálenost, než je jeho plně elektrický dojezd, a mezi jízdami se připojí k nabíjení, může být možné využívat pouze elektrickou energii. Proto je důsledné nabíjení vozidla nejlepším způsobem, jak maximalizovat výhody elektrické energie [70].

Kromě ukládání energie z baterií a motoru existují různé způsoby, jak kombinovat výkon elektromotoru a motoru. Dvě hlavní konfigurace jsou paralelní a sériové [70]. Některé vozy PHEV používají převodovky, které umožňují provoz v paralelní nebo sériové konfiguraci a přepínají mezi nimi podle profilu pohonu.

Paralelní hybridní [70] provoz spojuje motor a elektromotor s koly prostřednictvím mechanické spojky. Elektromotor i motor mohou pohánět kola přímo.

Sériové plug-in hybridy [70] využívají k pohonu kol pouze elektromotor. Spalovací motor slouží k výrobě elektrické energie pro motor. Vozidla tohoto typu se často označují jako elektromobily s prodlouženým dojezdem.

## 2.7 Konec životního cyklu spalovacích automobilů

Na konci životnosti automobilu nastává fáze likvidace. Auto je nejprve zbaveno součástí obsahující nebezpečné látky. Jsou to olovené baterie, olejové náplně a filtry a chladiva. Poté se demontují recyklovatelné a cenné díly pro druhotné použití, včetně motorů, pneumatik a nárazníků. V EU se hmotnost autovraku po demontáži snižuje na 55 až 70 %. Autovrak se po demontáži šrotuje. Pomocí magnetických separátorů se odděluje železo a barevné kovy [50].

Po separaci zůstávají zbytky odpadu z drtiče, které zatím nemají využití. V angličtině se nazývají ASR (Automotive Shredder Residue) neboli zbytky z automobilového drtiče. Skládá se ze skla, textílií, pryže, plastů a nečistot. [51] ASR také často obsahuje jedovaté látky jako olovo a kadmium. Zatímco polovinu odpadu, který obsahuje pryž, textil a plasty, lze přeměnit na alternativní paliva nebo recyklovat, zbývající část se primárně skládá. V současnosti může být dle směrnice EU skládkováno jen 5 % hmotnosti vozidla [51].

## 2.8 Konec životního cyklu elektromobilů

Elektromobily se na konci životnosti likvidují podobně. Avšak velkou výzvu navíc představuje proces likvidace Li-ion baterií. Ta se nejprve musí bezpečně oddělit od vozidla. Baterie se dále zužitkovává těmito způsoby:

### 2.8.1 Nové využití

Nalezení nového využití pro použité baterie může představovat environmentálně šetrnou alternativu k recyklaci, protože prodlužují životnost baterie. Kapacita trakčních baterií v elektrických vozech se s přibývajícimi cykly nabíjení a vybíjení snižuje, ale použité baterie mohou stále nabízet užitečnou kapacitu pro jiné aplikace. Například, baterie elektrických vozidel, které už nemají dostatek kapacity pro minimální dojezd, mohou být použity k ukládání přebytečné elektrické energie z fotovoltaických elektráren. Nové využití trakčních baterií je stále vyvíjeno, ale v budoucnu může být velká část z nich využita pro jinou aplikaci namísto recyklace.

Některé bateriové sady nebo moduly mohou být také vyhodnoceny pro opravu nebo opětovné použití. Buď jsou vloženy zpět do zařízení podobného jejich původnímu, nebo jsou znovu použity v jiném produktu nebo aplikaci. Některé společnosti například experimentují s přeměnou použitých baterií elektrických vozidel k ukládání přebytečné elektřiny z fotovoltaických panelů. U bateriových sad, které lze opravit, může být před opětovným uvedením do provozu v původních nebo jiných vhodných aplikacích vyměněn jeden nebo více špatných modulů [52].

## 2.8.2 Recyklace

Bezpečná recyklace Li-ion baterií na konci jejich životnosti šetří cenné materiály, které se v bateriích používají. Je to mnohem udržitelnější přístup než se jich zbavovat na skládkách.

V prvním kroku jsou baterie sesbírány specializovanou firmou. Následuje mechanický proces, baterie jsou na speciální lince sešrotovány. Protože při mechanickém poškození baterie hrozí vysoké riziko jejich vznícení či výbuchu, jsou nejprve provedeny tyto opatření. Pokud lze, tak zejména velké trakční baterie jsou nejprve zcela vybity, aby v nich zůstalo pouze minimum chemické energie. Druhým důležitým opatřením je, že celá fáze sešrotování probíhá ve vodní lázni. Díky tomu se minimalizuje přístup atmosférického kyslíku a eliminuje se tak riziko samovolného zahoření, které je projevem oxidace. Voda navíc slouží jako chladicí médium pro odvod tepla z případného samovolného vznícení.

Baterie se nadrtí na jemný granulát, který je roztříděn na základě rozdílné hustoty na tyto složky [52]:

- „Černá hmota“ (anglicky “Black mass”, zrnitý materiál z drcených katod a anod).
- Měděné a hliníkové vločky (držely anodový a katodový materiál).
- Plastová drť.



Obrázek 14 Drcení Li-ion baterií [22]

Black mass obsahuje materiály, které mohou být dále zpracovány a přeměněny na nové katody a anody. I když je termín “black mass” běžně používán, tak pro něho nejsou žádné průmyslové standardy [52]. Běžně však obsahuje cenné kovy, jako kobalt, nikl a lithium, a grafit.

Měděné a hliníkové vločky jsou posílány zákazníkům k dalšímu zpracování.

Není jasné, co se děje s plastovou drtí. Podle některých výrobců je posílána zákazníkům k recyklaci. Vhodný způsob likvidace může být energetické využití.



Obrázek 15 Black mass (černá hmota) [52]

Extrakce cenných kovů z černé hmoty představuje největší výzvu a jsou zkoumána nová řešení. V současnosti se používají tyto dvě metody [52]:

- Pyrometalurgie, proces tavení při vysokých teplotách.

- Hydrometalurgie, chemický proces vyluhování.

### **Pyrometalurgie**

Pyrometalurgie je proces odstranění nekovových materiálů zahříváním směsi na vysoké teploty v metalurgických pecích a následné tavení jednotlivých drahých kovů. Následně jsou kovy regenerovány a rafinovány pomocí magnetické separace, gravitační separace nebo na základě rozdílných teplot tání [52].

Přestože má pyrometalurgie jednoduchý provoz a vysokou technickou vyspělost a dokáže se vypořádat s různými druhy Li-ion baterií současně, vznikají nebezpečné plyny, je to energeticky náročný proces, který vyžaduje vysoké provozní a investiční náklady. Kromě toho tato metoda nedokáže účinně recyklovat lithium, elektrolyt a anodový grafit, dá se získat pouze kobalt a nikl [17]. V budoucnu se očekává klesající obsah kobaltu v bateriích elektrických vozidel, tudíž pyrometalurgie bude pravděpodobně ztrácet na významu.

## **Hydrometalurgie**

Procesy hydrometalurgické regenerace zahrnují kroky předúpravy, loužení a regenerace kovu. Podle různých louhovacích činidel je lze rozdělit na anorganické kyseliny, organické kyseliny, alkalické a hluboké eutektické rozpouštědlové loužení [52].

Účinnost loužení anorganickou kyselinou je vysoká, může však produkovat velké množství kyselých odpadních vod. Jiné metody loužení neprodukují příliš mnoho kyselých odpadních vod, jejich rychlost vyluhování je ale pomalá a vyžaduje přídavná redukční činidla nebo kombinaci dalších metod, jako ultrazvukové úpravy a jiné pomocné technologie pro zlepšení účinku vyluhování.

Obecně se hydrometalurgie musí vypořádat s problémy, jako jsou složité provozní kroky a emise odpadních vod [17]. Nicméně vezme-li se v úvahu, že hydrometalurgie má výhody vysoké míry regenerace, vysoké selektivity kovů, méně nečistot a vysoké procesní nákladové efektivity, má větší potenciál než pyrometalurgie a získá pravděpodobně převahu v recyklaci odpadních baterií.

## 3 Parametry pro hodnocení životních cyklů automobilů

Metoda LCA může vyhodnocovat a porovnávat celou řadu veličin. Tato práce se zaměřuje na následující ukazatele:

### 3.1 Škodliviny

Jedná se o emise vypouštěné do ovzduší. Mají za následek zvyšování skleníkového jevu atmosféry, anebo jinak škodí zdraví a životnímu prostředí.

#### 3.1.1 Skleníkové plyny vypouštěné do atmosféry

V životních fázích automobilů vznikají skleníkové plyny (GHG). Svoji přítomností zesilují skleníkový jev, a tak se zásadně podílejí na oteplování planety [57]. Příčinou nadměrného množství skleníkových plynů v atmosféře je lidská činnost, zejména spalování fosilních paliv. Existuje celá řada skleníkových plynů, níže jsou ty, které vznikají v životních fázích automobilů.

##### ***Atmosférický oxid uhličitý***

Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) se v atmosféře nachází přirozeně, je součástí přírodního uhlíkového cyklu. Vzniká například i vulkanickou činností. Rostoucí koncentrace  $\text{CO}_2$  je však způsobena spalováním fosilních paliv pro energetiku, dopravu, průmysl a domácnosti. Významné množství  $\text{CO}_2$  se také uvolňuje při výrobě cementu oxidací uhlíku z vápence. Růst koncentrace  $\text{CO}_2$  je částečně zapříčiněn i nadměrným kácením lesů [53].

##### ***Atmosférický metan***

Metan ( $\text{CH}_4$ ) vzniká mnoha přírodními procesy, avšak na jeho rostoucí koncentraci se podílí lidská činnost. Významný podíl se uvolňuje únikem při těžbě zemního plynu (je z většiny tvořen metanem), těžbě roponosných písků, výrobě fosilních paliv a v zemědělství [54].

##### ***Oxid dusný***

Oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se přirozeně vyskytuje v atmosféře. Je součástí přírodního koloběhu dusíku. Antropogenní oxid dusný vzniká především užíváním umělých hnojiv, spalováním biomasy a fosilních paliv [55].

Tyto plyny se především podílejí na zvyšování skleníkového jevu zemské atmosféry. Níže je tabulka 5, která udává jejich vliv a nárůst koncentrace.

Tabulka 5 Hlavní skleníkové plyny [56]

		Potenciál globálního oteplování (GWP-100)	Koncentrace v roce 1750	Koncentrace v roce 2019	Relativní nárůst koncentrace
Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	1	278 ppm	410 ppm	+47 %
Metan	CH <sub>4</sub>	28	700 ppb	1866 ppb	+167 %
Oxid dusný	N <sub>2</sub> O	273	270 ppb	332 ppb	+23 %

Koncentrace škodlivin se vyjadřuje v jednotkách ppm (parts per milion) a ppb (parts per bilion). Jsou to bezrozměrné jednotky, 1 ppm je jedna miliontina celku a 1 ppb je jedna miliardtina celku.

GWP-100 (Global Warming Potential) udává, kolikrát více tepla pohltí 1 tuna plynu v porovnání s 1 tunou CO<sub>2</sub>. Pro stanovení GWP-100 je zohledněno mnoho faktorů, číslovka 100 značí, že hodnota platí pro periodu sto let [56]. Důvodem časového ohraničení je, že řada skleníkových plynů má životnost v řádu let až desítek let. Používají se například i GWP-20 a GWP-500 pro dvacetiletou a pětisetletou periodu.

### Ekvivalent CO<sub>2</sub>

Pro přepočítání skleníkových plynů se používá ekvivalent CO<sub>2</sub> [57]. Množství skleníkového plynu se vynásobí s jeho příslušným GWP. Např. 1 tuna metanu uvolněného do atmosféry bude mít stejnou míru skleníkového jevu, jako 28 tun oxidu uhličitého [56]. Výpočet byl proveden dle rovnice 2.

$$1 t_{GHG} \cdot GWP_{GHG} = xyz t_{CO_2eq} \quad (2)$$

$GWP_x$  [–]                      *Potenciál globálního oteplování skleníkového plynu, udává, kolikrát silněji zesiluje skleníkový jev než stejné množství CO<sub>2</sub>*

Přepočítání na CO<sub>2</sub> je vhodné pro posouzení procesů, kde vzniká více skleníkových plynů. Sečtením se stanoví celkový příspěvek na globální oteplování.

### 3.1.2 Prachové částice

Prachové částice jsou heterogenní směs mikroskopických pevných a kapalných částic suspendovaných ve vzduchu, nazývají se též aerosoly [60]. Jsou přírodního i antropogenního původu. Antropogenní prachové částice prokazatelně zhoršují zdraví lidí, protože při jejich vdechování se mohou usazovat v dýchacím ústrojí, ba dokonce mohou pronikat až do krevního řečiště. Způsobují vyšší úmrtnost na kardiovaskulární a dýchací choroby, chronický zánět průdušek a dráždění sliznic [58] [60].

Zdroje antropogenních částic jsou zejména vedlejší produkty ze spalování fosilních paliv a biomasy, stavitelství, průmysl a doprava. Mohou vznikat i sekundárně chemickými reakcemi plyných škodlivin [58]. Míra škodlivosti částic silně závisí na



tom, jak jsou zdroje emisí blízko sídlům. V životním cyklu automobilu, během provozu, se často jedná o bezprostřední kontakt. Prachové částice jsou jedny z emisí výfukových plynů, u všech aut ale vznikají i otěrem pneumatik, brzd a vozovky [59].

Podle velikostí prachových částic se stanovují frakce PM (Particulate Matter) [58]. Tabulka zobrazuje hlavní velikostní třídy:

Tabulka 6 Prachové částice tříd PM

	Velikost	Zdroje	Dosah v těle [58]
<b>PM<sub>10</sub></b>	<10 μm	Zejm. prach z otěru brzd, pneumatik a vozovky	Horní část plic
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<2,5 μm	Zejm. emise ze spalování fosilních paliv a biomasy	Dolní část plic

## Emisní norma Euro 6

Množství vypouštěných výfukových emisí u osobních automobilů je limitováno závaznou emisní normou Euro. První Euro 1 je v EU platná od roku 1992, každý následující stupeň zpřísňoval množství vypouštěných nečistot. V tabulce níže jsou uvedeny současné limity dle současné Euro 6, která je platná od roku 2014.

Tabulka 7 Emisní limity škodlivin pro osobní automobily dle normy Euro 6 [71]

Typ pohonu	CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC [g/km]	NMHC [g/km]	HC + NO <sub>x</sub> [g/km]	PM[g/km]	PN [# /km]
<b>Benzín</b>	1,00	0,06	0,10	-	-	0,0045	6,0 × 10 <sup>11</sup>
<b>Nafta</b>	0,50	0,08	0,10	0,0068	0,7	0,0045	6,0 × 10 <sup>11</sup>

CO – hmotnost oxidu uhelnatého, NO<sub>x</sub> – hmotnost oxidů dusíku, HC – celková hmotnost uhlovodíků, NMHC – hmotnost nemetanových uhlovodíků, PM – hmotnost pevných částic, PN – počet částic

## 3.2 Přírodní zdroje

Životní cyklus automobilů také představuje zátěž na přírodní zdroje. Ty mohou zahrnovat například náročnost na využívání fosilních paliv nebo spotřebu a znečištění vodních zdrojů.

### 3.2.1 Energetická náročnost

Energetická náročnost [65] udává množství energie, které se musí během celého životního cyklu dodat. Dá se vztáhnout k určité hmotnosti výrobku nebo k jedinci, firmě či státu. Dle druhu vstupní energie se dělí na podmnožiny, pro potřeby této práce je důležitá zejména energie z fosilních paliv.

## **Energie z fosilních paliv**

Udává, kolik energie z fosilních paliv bylo spotřebováno k produkci určitého množství produktu [65]. Fosilní paliva jakožto zdroj emisí skleníkových plynů a často i dalších škodlivin jsou sledovaným ukazatelem. Je potřeba dodat, že množství energie z fosilních paliv velmi závidí na energetickém mixu země, kde se automobil vyrábí.

### **3.2.2 Využití vody**

Vodní stopa, Water footprint (WF) [64] ukazuje rozsah využití vody vzhledem k lidské spotřebě. Je definována jako objem vody, který je potřeba k produkci určitého množství zboží či služby. Dá se stanovit vodní stopa spotřebitelů, např. jedince, firmy nebo státu. Dále se dá stanovit vodní stopa producentů, hospodářského odvětví, nebo jednoho procesu, např. vodní stopa výroby bavlněného trika. Podle zdroje vody a způsobu jejího využití se vodní stopa dělí na:

#### **Zelená vodní stopa**

Vztahuje se k množství vody z přímého úhrnu srážek [64], která byla přijata těly rostlin nebo pomocí dýchání rostlin (transpirace) vypařena do atmosféry. Zelená vodní stopa se používá zejména v zemědělství, lesnictví a zahradnictví.

#### **Modrá vodní stopa**

Pochází-li voda z povrchového nebo podzemního zdroje [64], např. jezero, nádrž nebo řeka, odkud je čerpána a využívána, pak jedná se o modrou vodní stopu. Jedná se např. o zavlažování v zemědělství, vodu odpařovanou v chladicích věžích elektráren nebo vodu z řádu pro potřeby domácností.

#### **Šedá vodní stopa**

Vztahuje se k množství vody potřebné k rozředění polutantů, aby se jejich koncentrace snížila pod zákonný limit [64].

## 4 Analýza problému a cíl práce

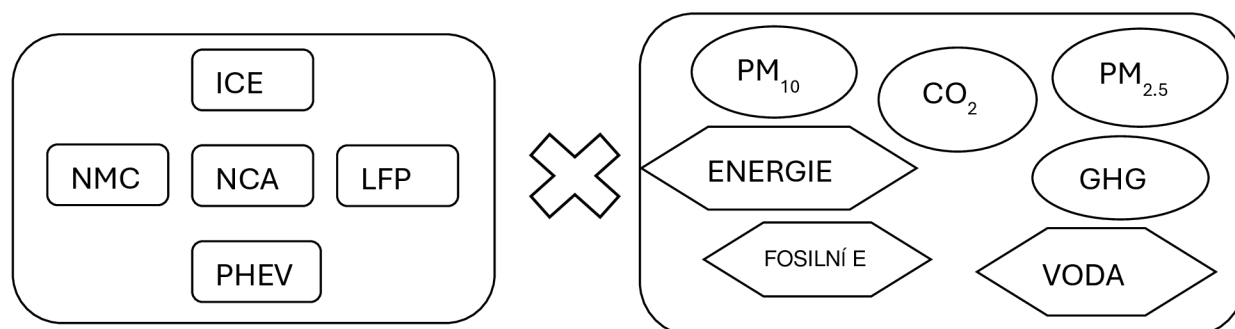
Tato kapitola stanovuje hranice řešení LCA. Analýza je omezena těmito parametry.

### 4.1 Stanovení vozidel dle druhu pohonu

Tato práce si dává za cíl aplikovat metodu LCA na vozidla se spalovacím motorem na benzín (E10) a naftu (B7), na elektrická vozidla s bateriemi NMC, NCA a LFP a na plug-in hybridní vozidlo (PHEV), benzínový motor v kombinaci s NMC baterií. Druhy pohonu vozidel jsou zobrazeny na obrázku 16.

### 4.2 Stanovení environmentálních vlivů

K aplikaci metody LCA je potřeba stanovit environmentální dopady, tato práce kvantifikuje environmentální dopady, které byly představeny a vysvětleny v předchozích kapitolách. Řešené environmentální vlivy jsou emise  $\text{CO}_2$ , emise skleníkových plynů GHG, prachové částice velikostních frakcí  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2.5}$  a náročnost na zdroje celkové energie, fosilní energie a vody. Jsou také zobrazeny na obrázku 16.



Obrázek 16 Cíle metody LCA

### 4.3 Stanovení velikostní třídy automobilu

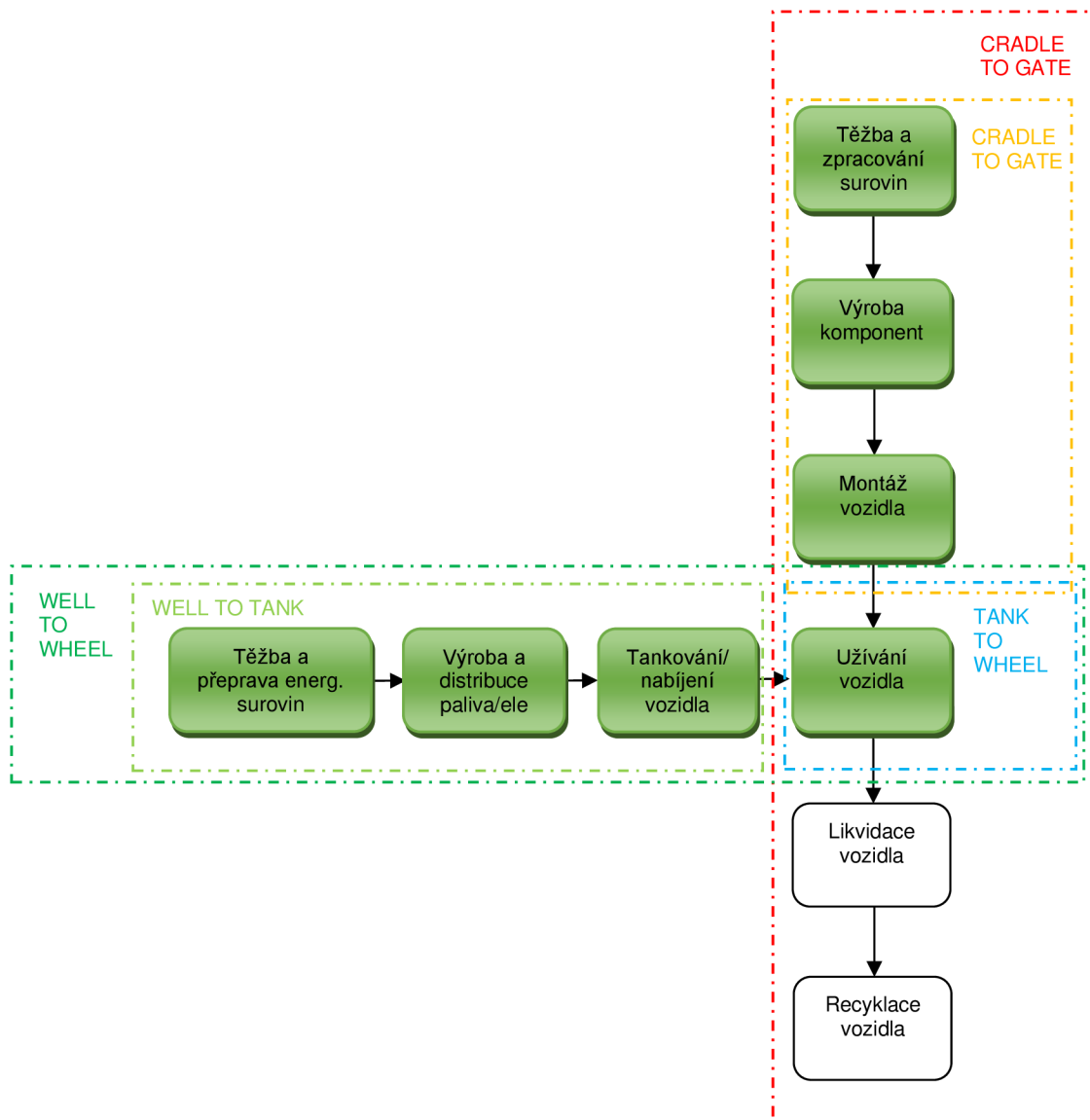
K aplikaci metody LCA je třeba uvažovat s vozidly podobné velikosti, aby šla vzájemně objektivně porovnávat. Tato práce analyzuje vozidla nižší střední třídy neboli segment C, která jsou jedním z nejběžnějších aut provozovaných v Evropě. Jsou to osobní pětidveřová vozidla s karoserií typu hatchback, kombi, sedan nebo liftback. Mezi typické vozy střední třídy patří Volkswagen Golf, Renault Megane nebo Škoda Octavia. Další jsou uvedeny na obrázku 17.



*Obrázek 17 Příklad vozů segmentu C: Ford Focus ICE [66], Škoda Octavia iV PHEV [67] a  
Hyundai IONIQ EV [68]*

## 4.4 Stanovení rozsahu metody LCA

Tato práce řeší životní cykly vozidel v od těžby surovin až po konec provozu. Likvidace není zahrnutá, neboť recyklace elektromobilů je stále předmětem zkoumání a nejsou k ní dostupná relevantní data. Likvidace byla probrána teoreticky v předchozích kapitolách. V rámci životního cyklu paliva nebo elektřiny je v této práci zkoumán celý životní cyklus. Na obrázku jsou zobrazeny fáze LCA, kterými se tato práce zabývá, jsou vyznačeny zeleně.



Obrázek 18 Schéma fází životního cyklu automobilů, které řeší tato práce, upraveno [14] [15]

## **4.5 Geografické rozlišení**

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, čistota provozu elektrických vozidel závisí na původu elektřiny. Pro LCA analýzu byly uvažována zejména Česká republika a okolní státy Slovensko, Rakousko, Polsko a Německo.

Kromě toho, že se jedná o sousední země, s kterými je ČR propojena skrze elektrizační přenosovou soustavu, tak navíc se odlišují skrze energetický mix, a proto jsou vhodné pro porovnání provozu vozidel. Kvůli svému specifickému energetickému mixu na bázi jaderných zdrojů je uvažována také Francie. V evropském kontextu je také uvažován vážený energetický mix EU.

## 5 Materiály a Metody

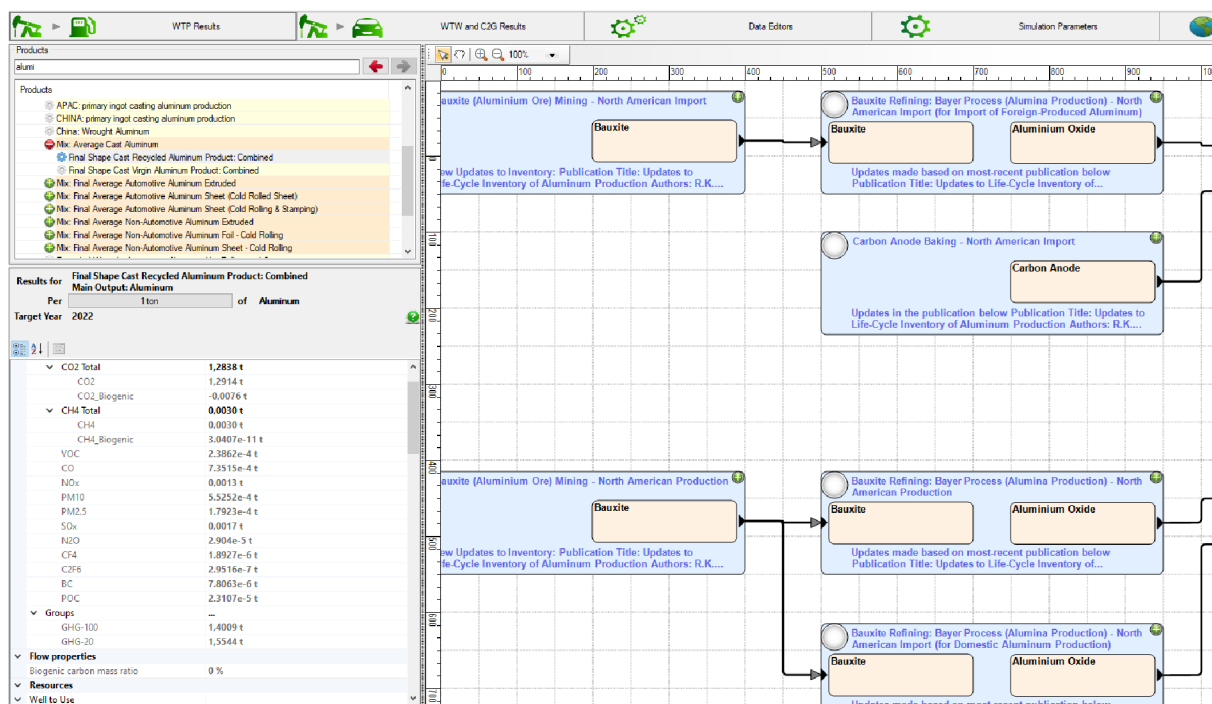
Pro sběr dat o emisních zátěžích byl použit specializovaný software a odborné vědecké publikace.

### 5.1 Software GREET

V softwaru GREET [12] [13] se prováděla inventarizační analýza (LCI), jejíž cílem je kvantifikace environmentálních kritérií.



Obrázek 19 Logo GREET

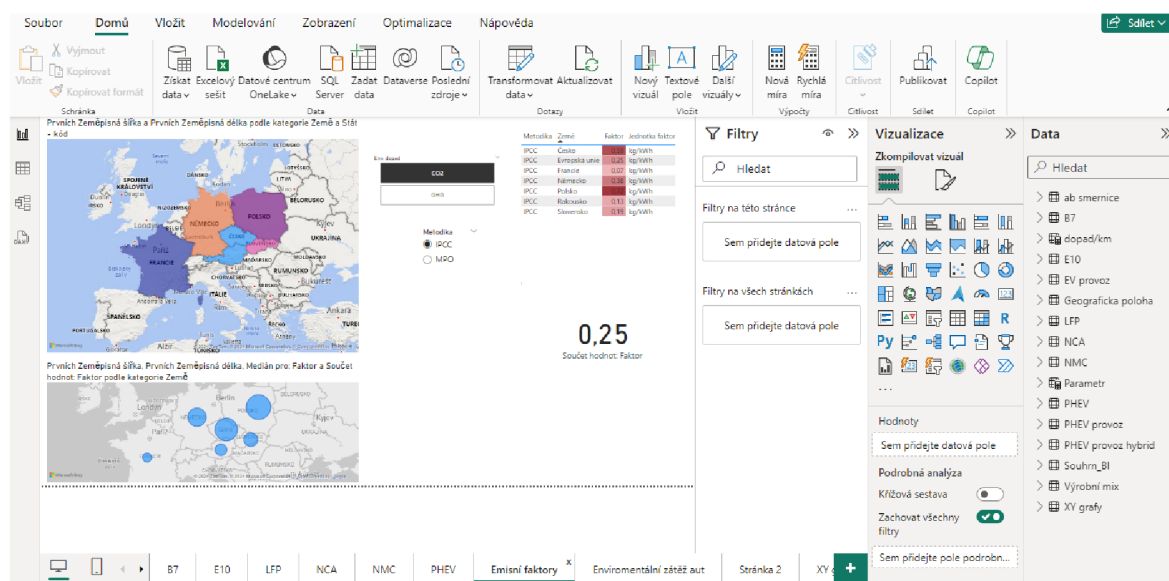


Obrázek 20 Ukázka prostředí softwaru GREET

Na obrázku 20 je pracovní prostředí. Nahoře jsou tlačítka s volbou fáze životního cyklu (Well to Pump, Well to Well a Cradle to Gate). Vlevo nahoře se nachází databáze materiálů a průmyslových procesů (na obrázku je vybrán hliník). Vlevo dole se nachází výpis měrných kritérií LCA pro zvolený materiál (na obrázku je vztaheno k 1 tuně vyrobeného hliníku). Schéma zobrazuje kombinovaný proces výroby hliníku.

## 5.2 Microsoft Power BI

Microsoft Power BI [62] je softwarový produkt pro interaktivní vizualizaci dat vyvinutý společností Microsoft s primárním zaměřením na business intelligence (BI). Business Intelligence je softwarové řešení, které obsahuje nástroje pro efektivní zobrazení historických, současných a prediktivních dat důležitých především pro efektivní řízení výkonnosti podniku, pro přehledné zobrazování vybraných manažerských informací [63]. Data v Power BI lze zadávat přímým čtením z databáze, webové stránky, PDF nebo strukturovaných souborů, jako jsou tabulky, CSV, XML, JSON, XLSX a SharePoint [62].



Obrázek 21 Ukázka prostředí softwaru Power BI



## 5.3 Emisní faktory spotřeby elektřiny

Pro stanovení provozu elektrických vozidel se uvažují emisní faktory spotřeby elektřiny, protože dobíjení EV je proces na konci distribuční soustavy, který zahrnuje i ztráty v síti.

Jako stěžejní dataset se použila publikace z webových stránek evropské komise [43]. Obsahuje emisní faktory ze spotřeby elektrické energie pro jednotlivé státy EU a vážený unijní průměr. Nejnovější data jsou za rok 2020. Jsou použity dvě nezávislé metodiky, metodika IPCC (Mezivládní panel pro změnu klimatu) obsahuje emise CO<sub>2</sub> a zvláště celkové emise skleníkových plynů (včetně CO<sub>2</sub>). Metodika LCA obsahuje jen celkové emise skleníkových plynů.

Jako doplňující zdroj posloužil národní emisní faktor z výroby elektřiny na stránkách Ministerstva průmyslu a obchodu [81]. Ministerstvo upozorňuje, že výrobní emisní faktor je počítán z hrubé výroby elektřiny v ČR (tzn. bez vlastní spotřeby elektráren). Ve výpočtech jsou proto ztráty navíc započítány. Dále ministerstvo specifikuje, že emise uhlíku z OZE jsou uvažovány nulové a data slouží výhradně pro informativní účely. Jsou dostupná data i za rok 2023, pro konzistentnost se použily za rok 2020.

## 6 Výpočty a výsledky

Tato kapitola se zabývá výpočty jednotlivých environmentálních zátěží pro různé typy automobilů a země provozu.

### 6.1 Výroba

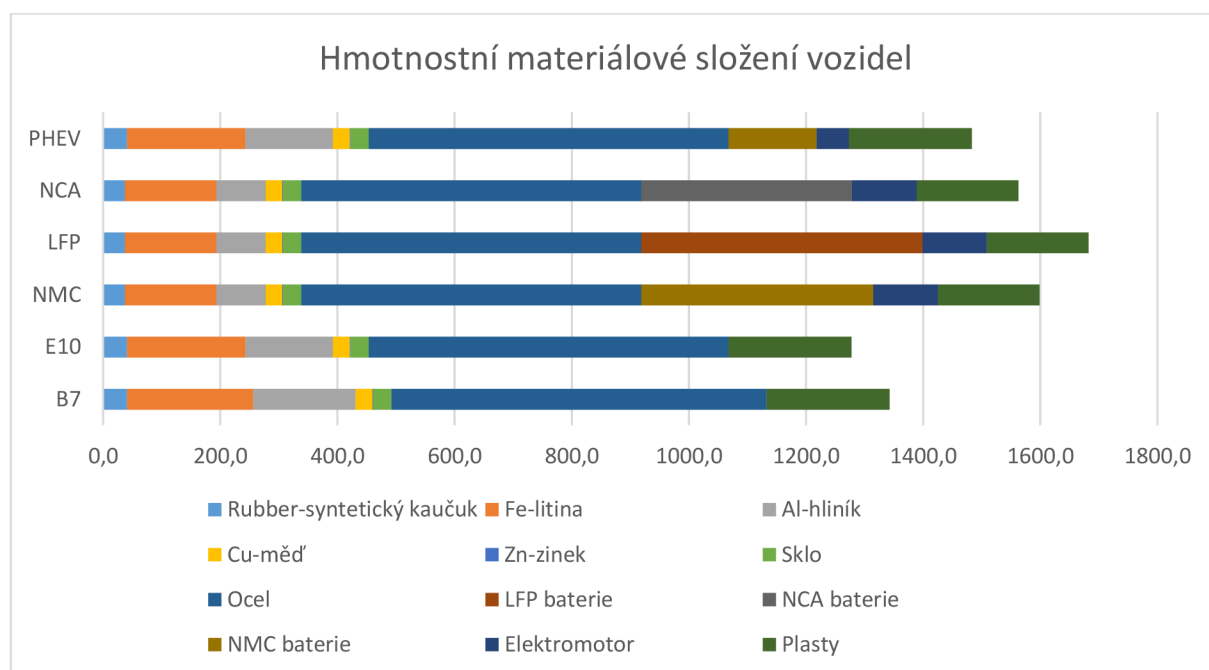
Výroba zahrnuje jednak výrobu samotných automobilů, ale také fázi Well to Tank (z pramene do nádrže) benzínu, nafty a elektřiny. Správně se často se klade velký důraz na to, jak byla elektřina vyrobená. Stejně tak tato práce započítává i environmentální zátěž spojenou s těžbou a zpracováním fosilních paliv.

#### 6.1.1 Výroba automobilů

Výroba automobilů je fáze Cradle to Gate (od kolébky po bránu), zahrnuje těžbu a zpracování surovin, výrobu komponentů a montáž vozidla.

Pro výpočet byl použit materiálový rozbor automobilu Škoda Octavia 1.8 TSI, který je přílohou diplomové práce Ing. Kristiána Šándora [14]. Součástí práce pana Šándora bylo vůz rozebrat na jednotlivé díly, které byly zváženy a posouzeny z hlediska materiálového složení. Komponenty byly inventarizovány do datové tabulky.

Dataset [14] slouží jako podklad této práce pro materiálové složení auta s benzínovým motorem. Položky zastupující komponenty vozidla byly upraveny dle konstrukčních koncepcí dalších typů vozidel, a tak bylo vymodelováno celkově šest typů vozidel, které byly představeny již v kapitole 4. Základní materiálové složení vozidel je zobrazeno na obrázku 22.



Obrázek 22 Materiálové složení vozidel

Pro posouzení LCA vozidel byl použit software GREET, kde byly jednotlivě dosazeny materiály (viz tabulka 8 X). GREET obsahuje databázi environmentálních vlivů pro jednotlivé materiály (viz tabulka 8 Y). V tabulce 8 je ukázka LCA rozboru hliníku

Tabulka 8 Výpočet environmentálních kritérií při výrobě vozidel

Hliník			X					
			$m_{E10}$ [kg]	$m_{B7}$ [kg]	$m_{LFP}$ [kg]	$m_{NMC}$ [kg]	$m_{NCA}$ [kg]	$m_{PHEV}$ [kg]
Měrná kritéria (z GREETu) vztahovaná k 1 kg vyprodukované suroviny			148,8	174,8	119,5	190,7	210,3	199,1
Y	Měrné CO <sub>2</sub> [kg/kg]	4,4	654,7	769,1	525,7	839,0	925,2	876,0
	Měrné GHG [kg/kg]	4,8	714,2	839,0	573,5	915,3	1009,3	955,6
	Měrné PM <sub>10</sub> [g]	0,93	138,4	162,6	111,1	177,3	195,6	185,1
	Měrné PM <sub>2.5</sub> [g/kg]	0,847	126,0	148,1	101,2	161,5	178,1	168,6
	Měrná energie [MJ/kg]	73	10862	12760	8722	13921	15350	14533
	Měrná fosilní [MJ/kg]	54	8035	9439	6452	10297	11355	10750

Výpočty environmentálních kritérií se vypočítaly dle rovnice 3.

$$m_{x,y} = m_x \cdot m_y \quad (3)$$

$m_x$  měrné množství škodliviny

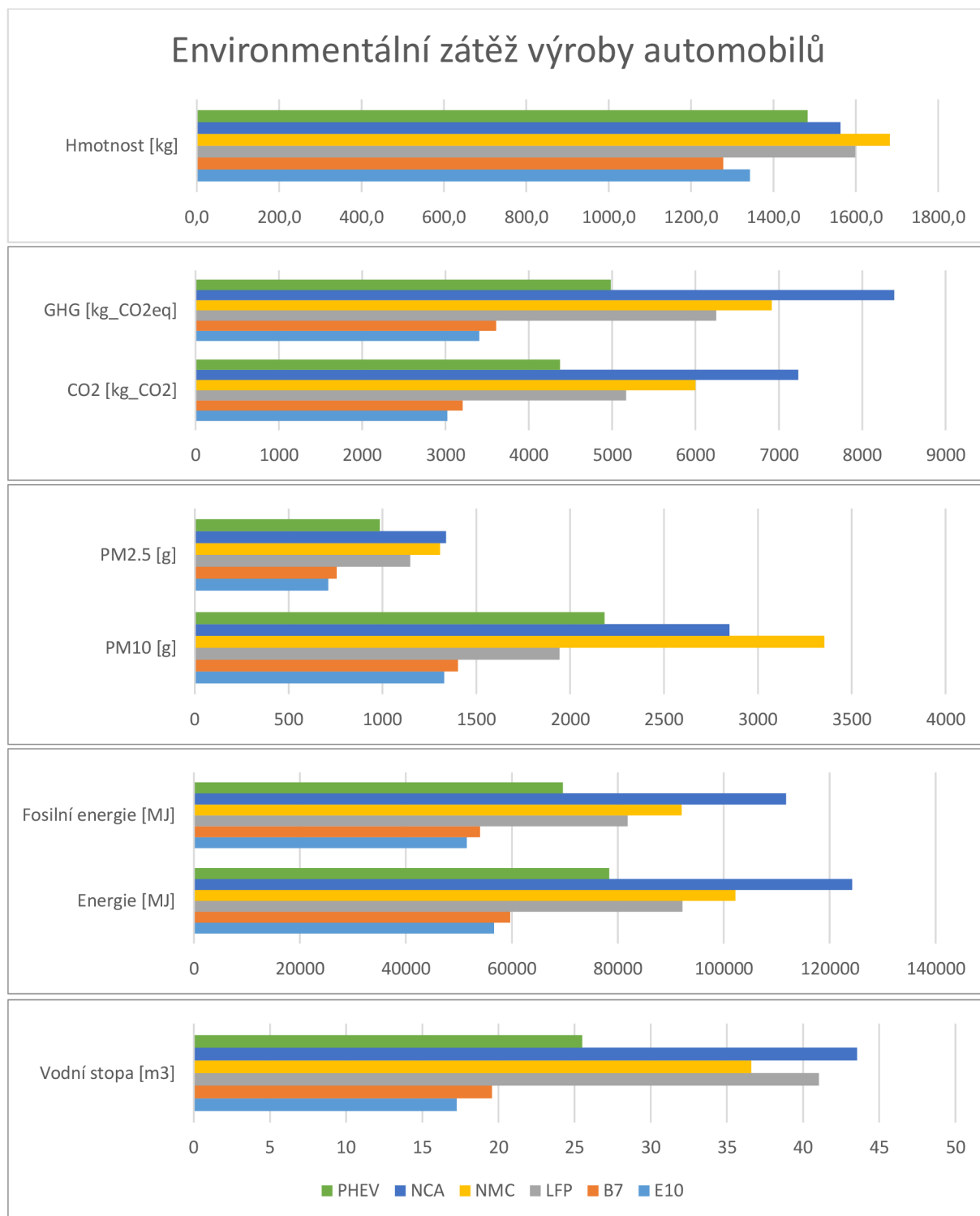
$m_y$  hmotnost materiálu ve vozidle

Environmentální vlivy všech materiálů se sečetly, a tak se kvantifikovaly celkové hodnoty environmentální náročnosti výroby pro jednotlivé typy automobilů, které jsou zobrazeny v tabulce 9.

Tabulka 9 Environmentální zátěže výroby automobilů

	<b>Hmotnost vozidla</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>GHG</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>Energie</b>	<b>Fosilní energie</b>	<b>Vodní stopa</b>
	<b>[kg]</b>	<b>[kgCO<sub>2</sub>]</b>	<b>[kgCO<sub>2</sub>_eq]</b>	<b>[g]</b>	<b>[g]</b>	<b>[MJ]</b>	<b>[MJ]</b>	<b>[m<sup>3</sup>]</b>
<b>E10</b>	1278	3020	3405	1329	711	56638	51493	17,26
<b>B7</b>	1343	3205	3608	1402	756	59682	54017	19,58
<b>LFP</b>	1683	5167	6248	1943	1147	92219	81877	41,04
<b>NMC</b>	1599	6000	6915	3355	1307	10211	92065	36,59
<b>NCA</b>	1563	7231	8384	2849	1339	124259	111757	43,55
<b>PHEV</b>	1483	4372	4984	2183	986	69603	68443	27,24

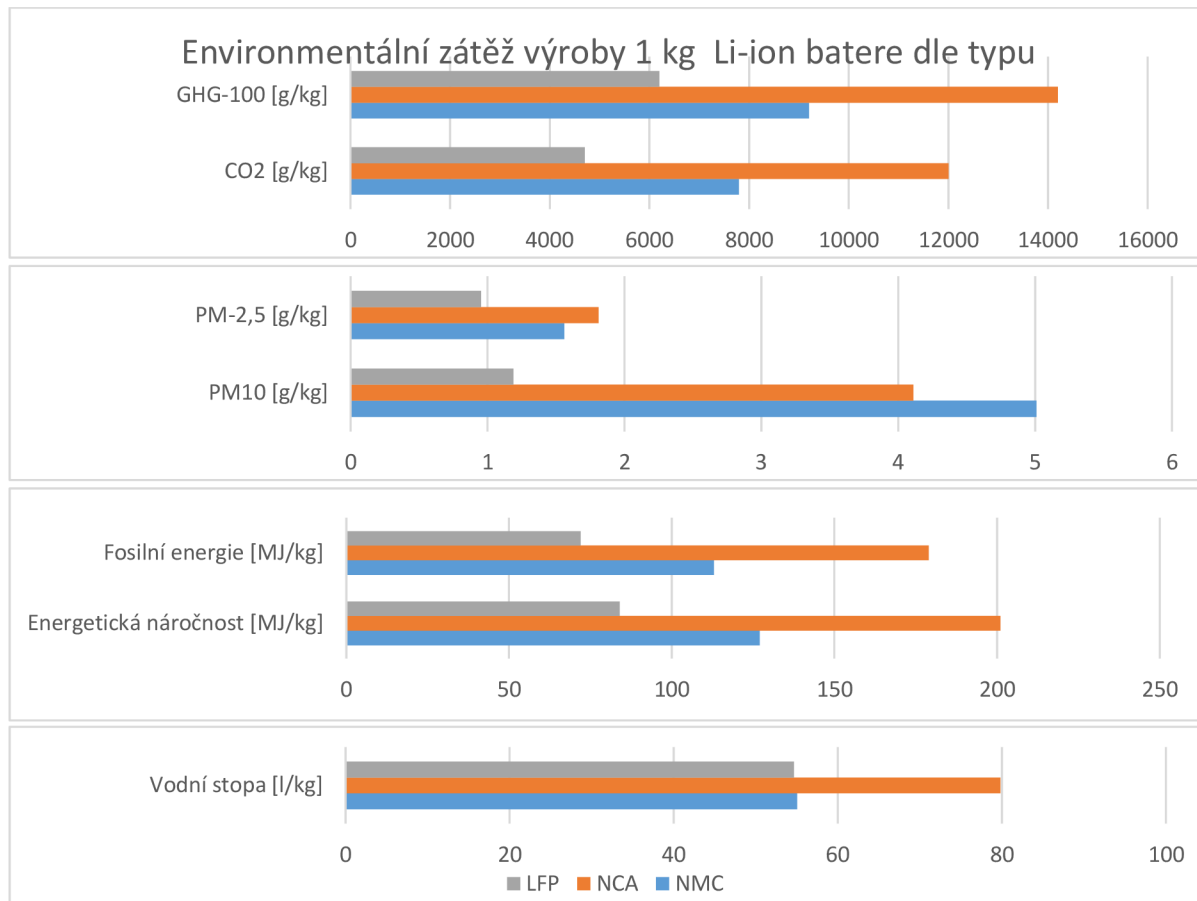
Na obrázku 23 jsou výrobní data zobrazena v podobě grafu.



Obrázek 23 Graf environmentální zátěže výroby automobilů

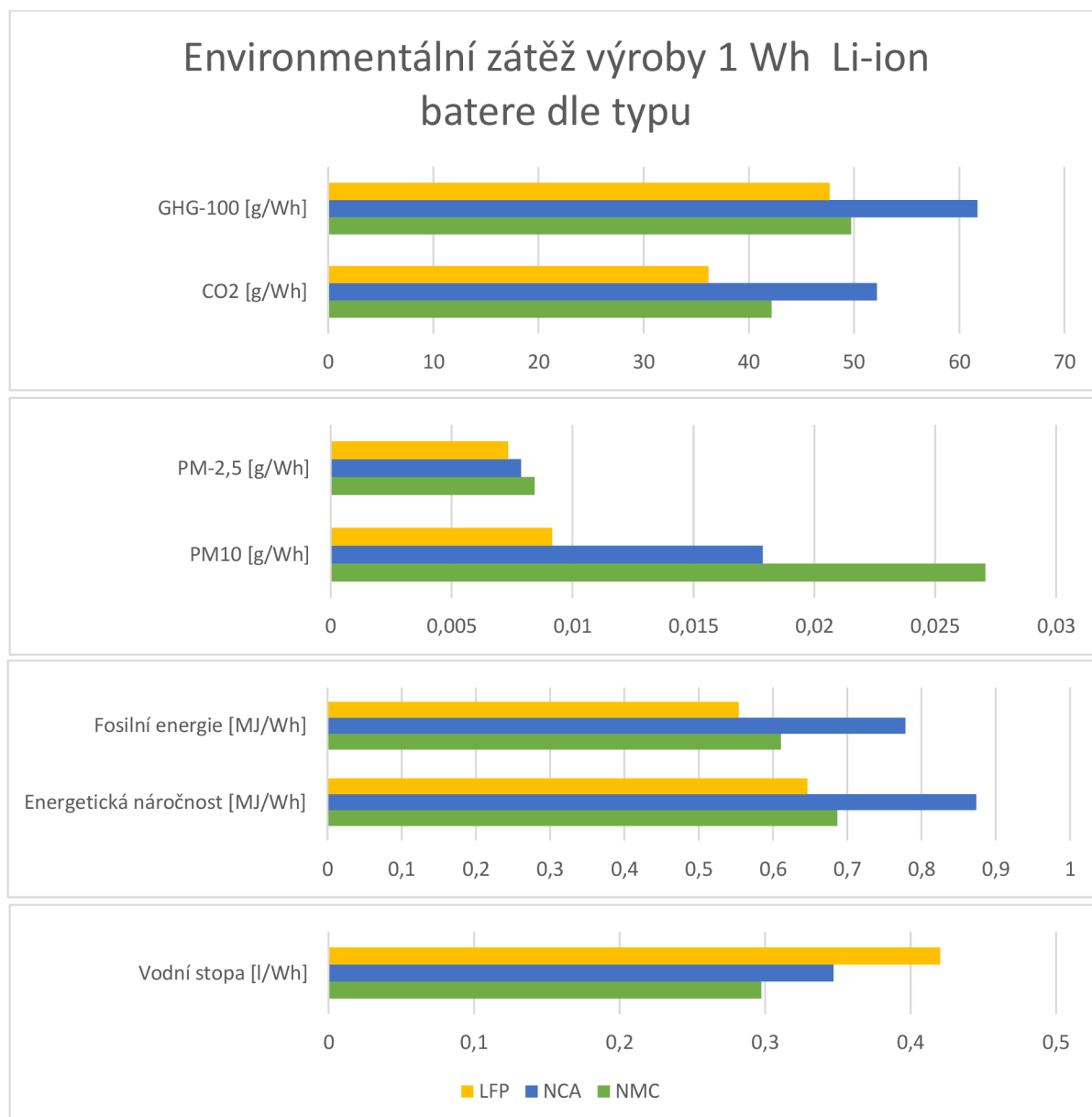
## Výroba baterií

Výroba baterií je významnou částí výroby EV. Na obrázku 24 jsou zobrazeny náročnosti výroby 1 kg baterie dle typů.



Obrázek 24 Environmentální zátěž výroby 1 kg baterie

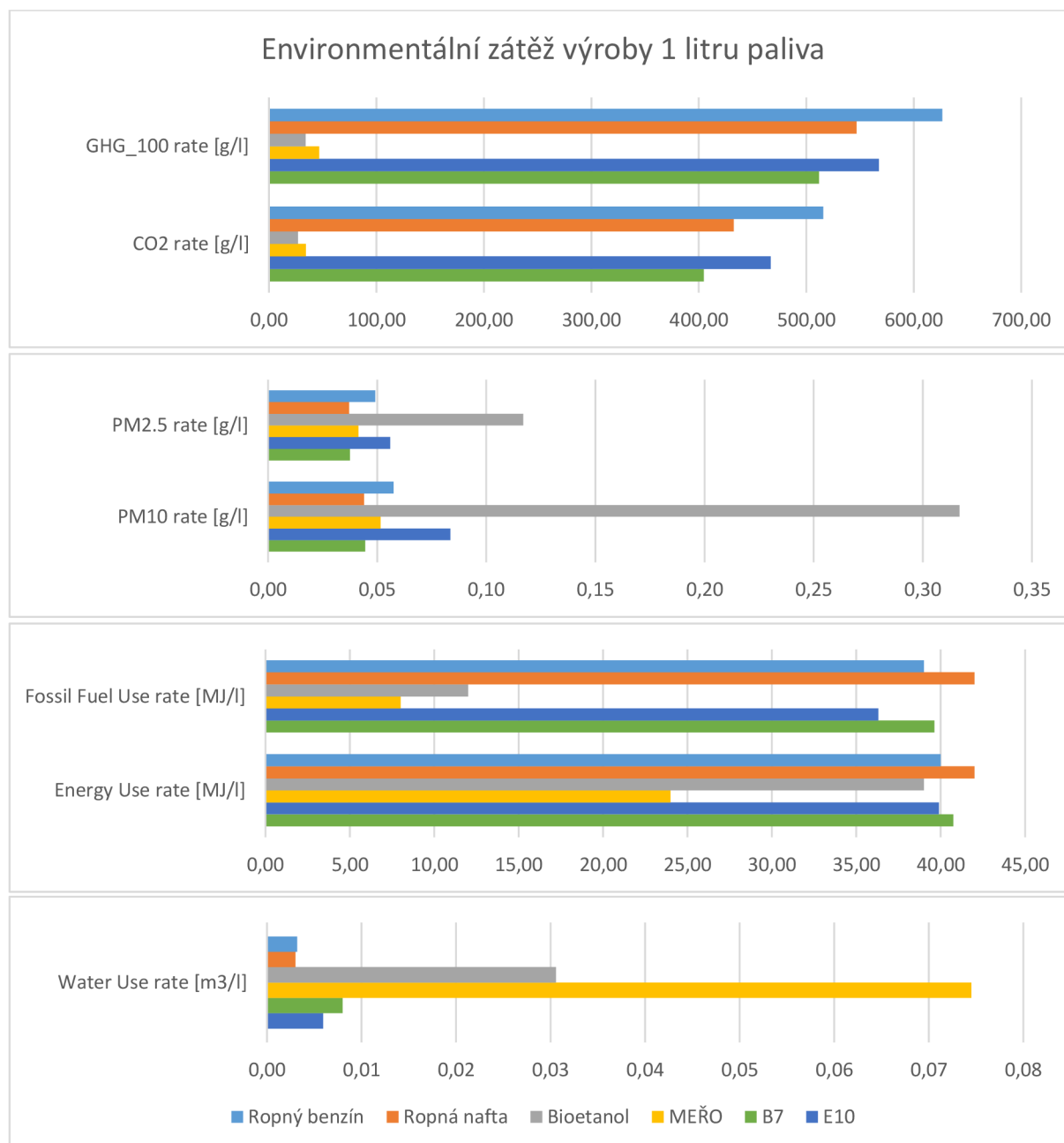
Při zohlednění energetických hustot baterií byl proveden přepočítání náročnosti výroby 1 Wh kapacity baterií dle typů viz obrázek 25. Toto porovnání je férovější, protože bere v potaz, že např. NCA baterie má vyšší energetickou hustotu než LFP, a proto by měla ve voze menší hmotnost při zachování stejného dojezdu.



Obrázek 25 Environmentální zátěž výroby 1 Wh baterie

## 6.1.2 Výroba paliva

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách, paliva do aut jsou směsí ropného paliva a tzv. biosložky. Paliva jsou zkoumána v rozsahu Well to Tank (Z pramene do nádrže), zahrnuje těžbu ropy, transport, výrobu, distribuci a tankování do vozidla. Na straně biopalivo to je pěstování energetické plodiny, zpracování, smíšení s ropným palivem, distribuce a natankování do nádrže. Data výroby paliv jsou čerpána z databáze GREtu a jsou zpracována v excelu, který je součástí přílohy. Obrázek 26 zobrazuje LCA analýzu výroby 1 l paliva dle druhů.



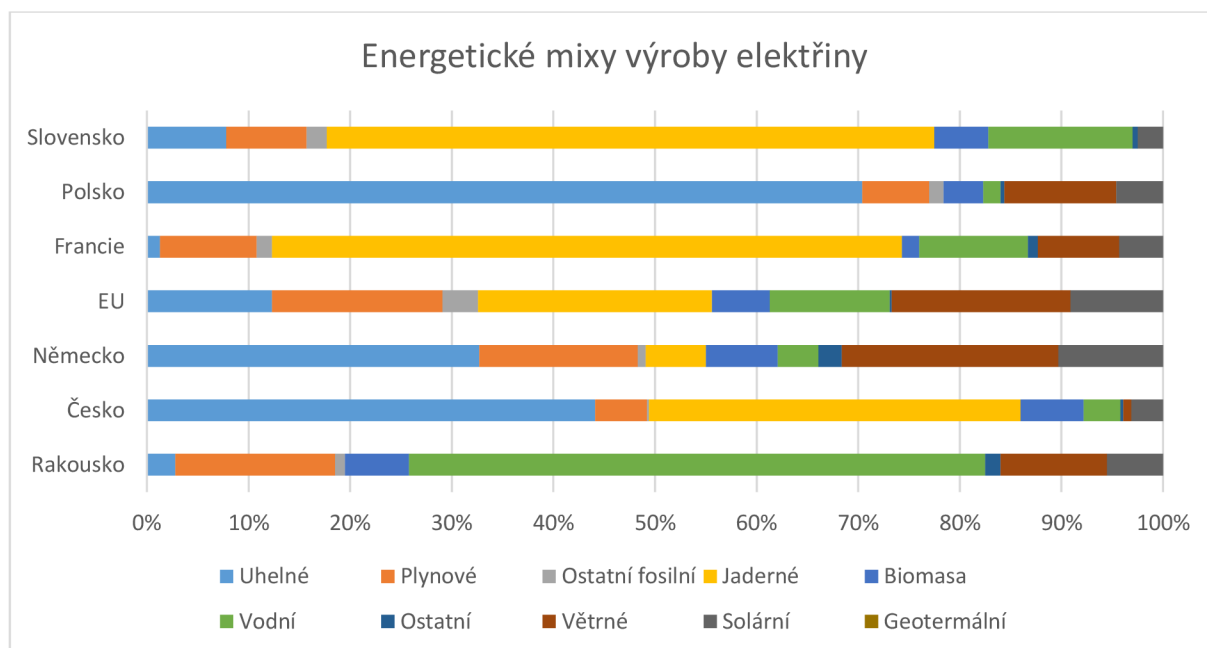
Obrázek 26 Environmentální zátěž výroby biopaliv 1 litru paliva [78]



### 6.1.3 Výroba elektřiny

Výroba elektřiny je fáze LCA Well to Tank (Z pramene do nádrže), zahrnuje těžbu energetických surovin, transport, výrobu elektřiny, distribuci elektrizační soustavou a nabíjení baterie. Data byla čerpána z webové stránky společnosti EMBER [73].

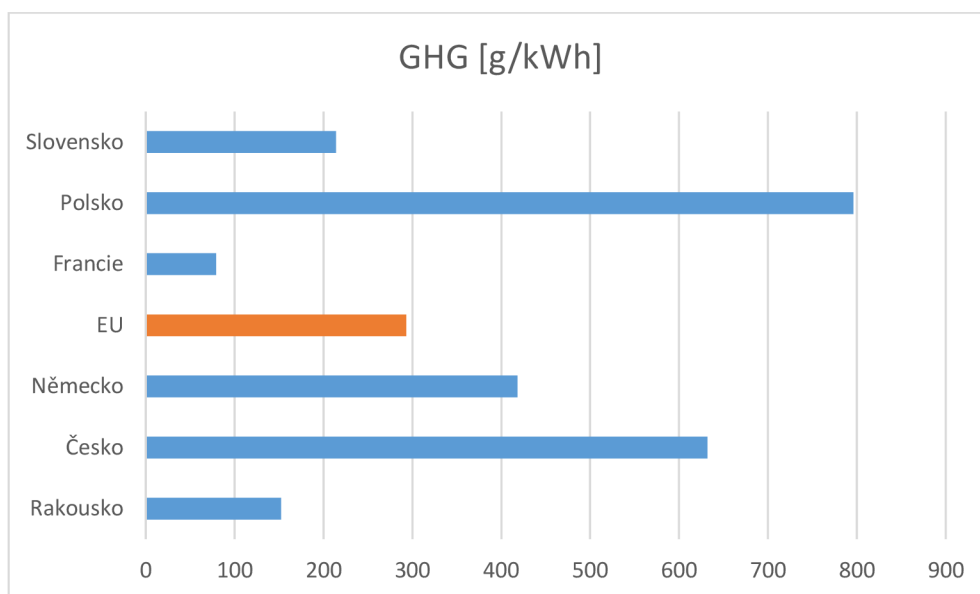
#### **Energetické mixy**



Obrázek 27 Energetické mixy výroby elektřiny [73]

## Emisní faktory

Na obrázku 28 jsou zobrazeny emisní faktory spotřeby elektrické energie dle metodiky LCA.



Obrázek 28 Emisní faktory skleníkových plynů z výroby elektřiny [43]

## 6.2 Provoz

Automobily se budou porovnávat do nájezdu 200 000 km. Tohoto běžně dosahují osobní automobily pro osobní účely, při roční porci 15–20 tisíc km se jedná o životnost 10 až 13,5 let. Firemní vozy dosahují nájezdu 200 000 km za 5 až 7 let při roční porci 30–40 tisíc km.

### 6.2.1 Spotřeba aut

Spotřeby ICEV a PHEV jsou převzaty z provozních dat uživatelů z webu Spritmonitor.de [82]. Spotřeby EV jsou stanoveny jako vážený průměr letní a zimní spotřeby. Je předpoklad, že spotřeba EV v zimním období je proti létu vyšší o 20 %. A předpokládá se 50 % letní a 50 % zimní provoz

	E10	B7	PHEV	NCA	NMC	LFP
	[l/100 km]	[l/100 km]	[l/100 km] [kWh/km]	[kWh/km]	[kWh/km]	[kWh/km]
<b>Spotřeba</b>	6,8	5,5	6,3 nebo 0,196	0,184	0,180	0,184

## 6.2.2 Provoz vozidel

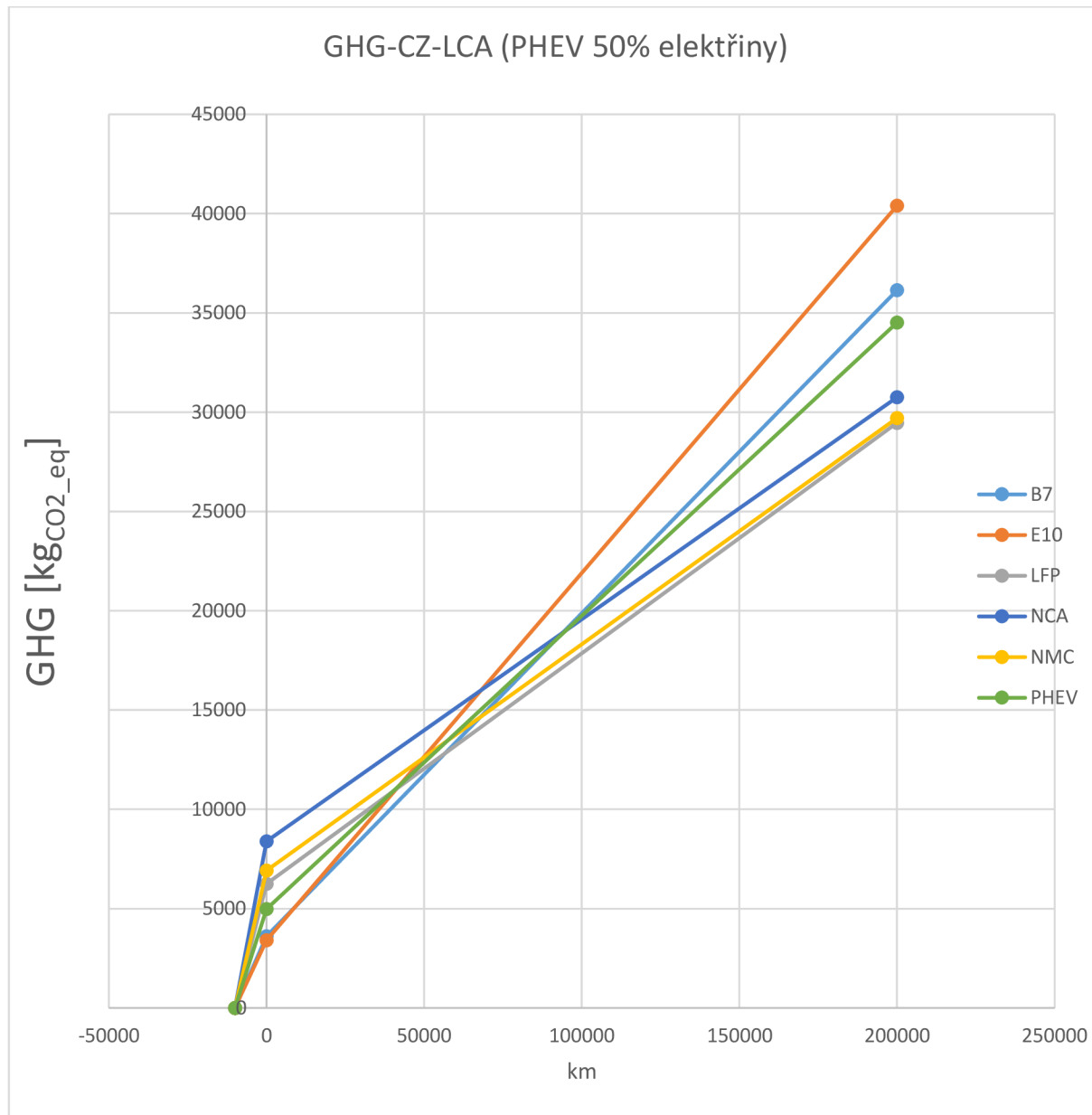
Provoz spalovacího aut se odvíjí od spotřeby paliva. V tabulce 10 jsou zobrazeny základní údaje a LCA vlivy.

Tabulka 10 Provoz automobilů v ČR dle IPCC [71] [74] [76]

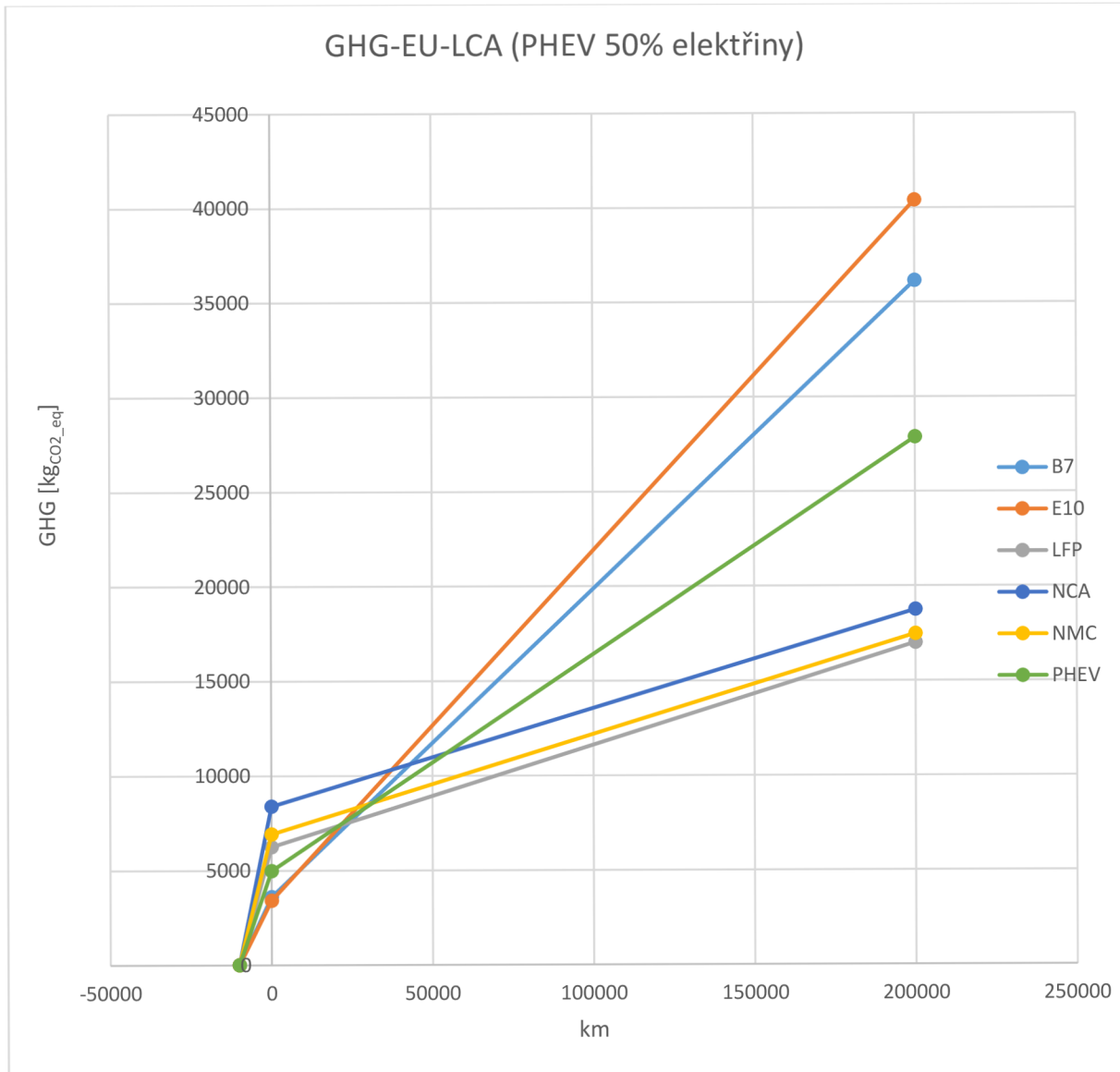
CZ IPCC						
	E10	B7	PHEV	NCA	NMC	LFP
<b>Množství paliva</b>	13600 l	11000 l	12600 l	32,2MWh	32,8MWh	33,4MWh
<b>CO<sub>2</sub> [kgCO<sub>2</sub>]</b>	35202	31201	27949	21023	21422	21821
<b>GHG [kgCO<sub>2</sub>_eq]</b>	36993	32536	28823	21094	21494	21895
<b>PM<sub>10</sub> suma [g]</b>	4,272	4,161	2,136	3,800	3,800	3,800
<b>PM<sub>2.5</sub> suma [g]</b>	0,921	0,835	0,461	0,504	0,504	0,504
<b>PM<sub>10</sub> výfuk [g]</b>	0,472	0,361	0,236	-	-	-
<b>PM<sub>2.5</sub> výfuk [g]</b>	0,418	0,332	0,209	-	-	-
<b>PM<sub>10</sub> otěr [g]</b>	3,800	3,800	3,800	3,800	3,800	3,800
<b>PM<sub>2.5</sub> otěr [g]</b>	0,504	0,504	0,504	0,504	0,504	0,504

### 6.3 Celkové výsledky

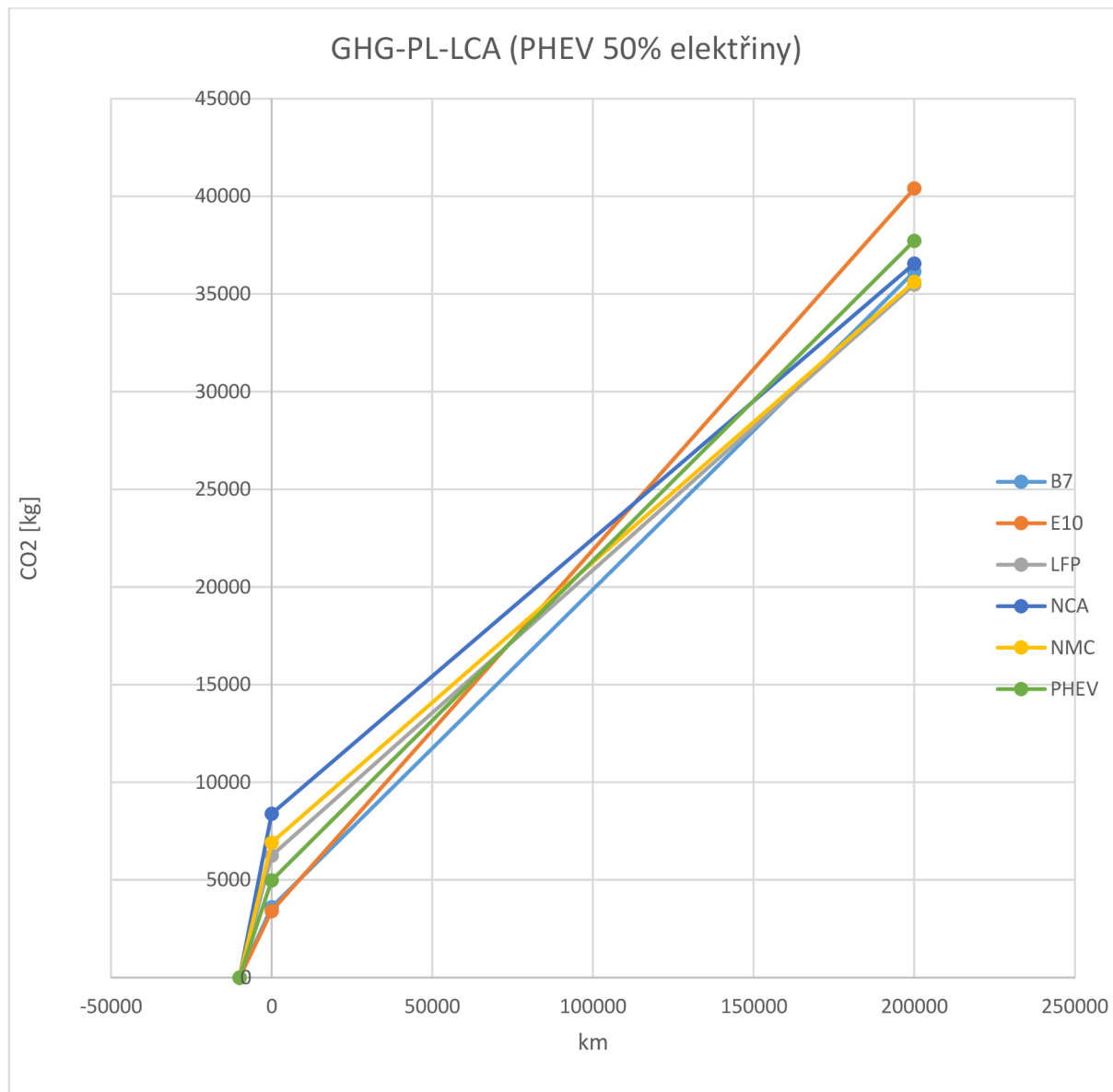
Na grafech jsou zobrazena LCA životního cyklu výroby a provozu pro různé případy.



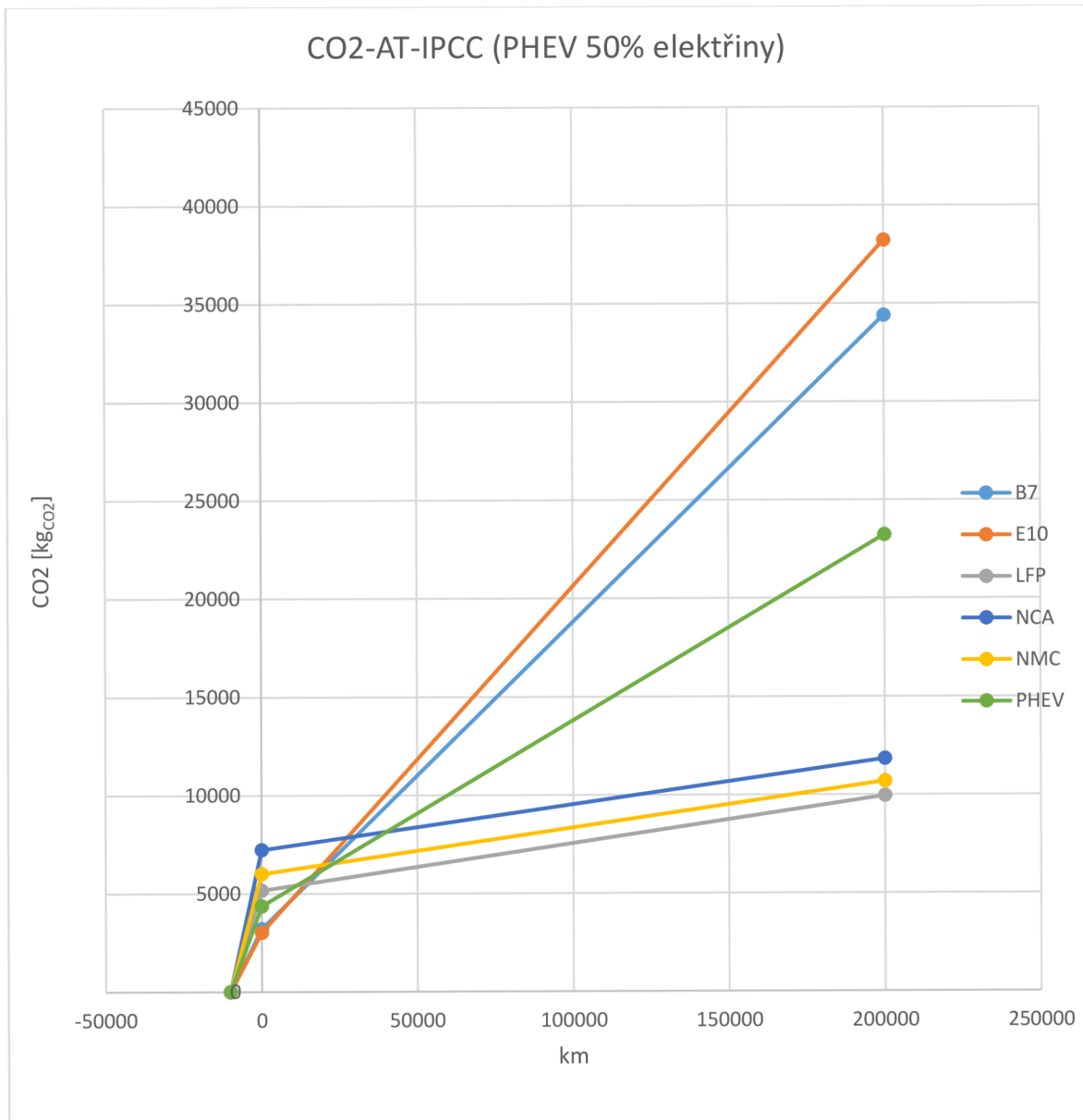
Obrázek 29 Skleníkové plyny, ČR, metodika LCA



Obrázek 30 Skleníkové plyny, EU, metodika LCA

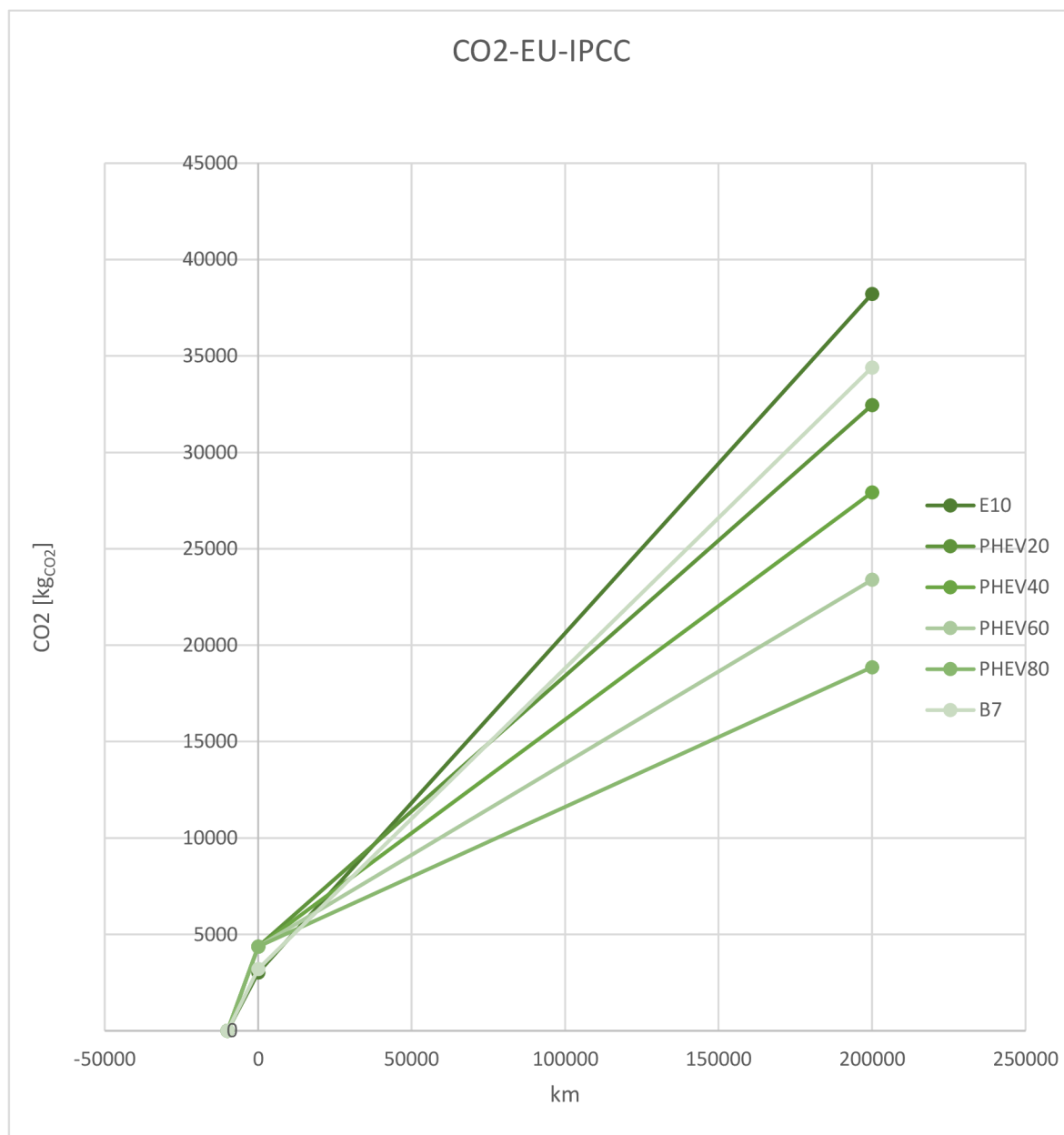


Obrázek 31 Skleníkové plyny, Polsko, metodika LCA



Obrázek 32 CO<sub>2</sub>, Rakousko, metodika IPCC

Obrázek 33 zobrazuje graf, který porovnává režimy provozu PHEV dle podílu využití elektrické energie v rozsahu 20 až 80 %.

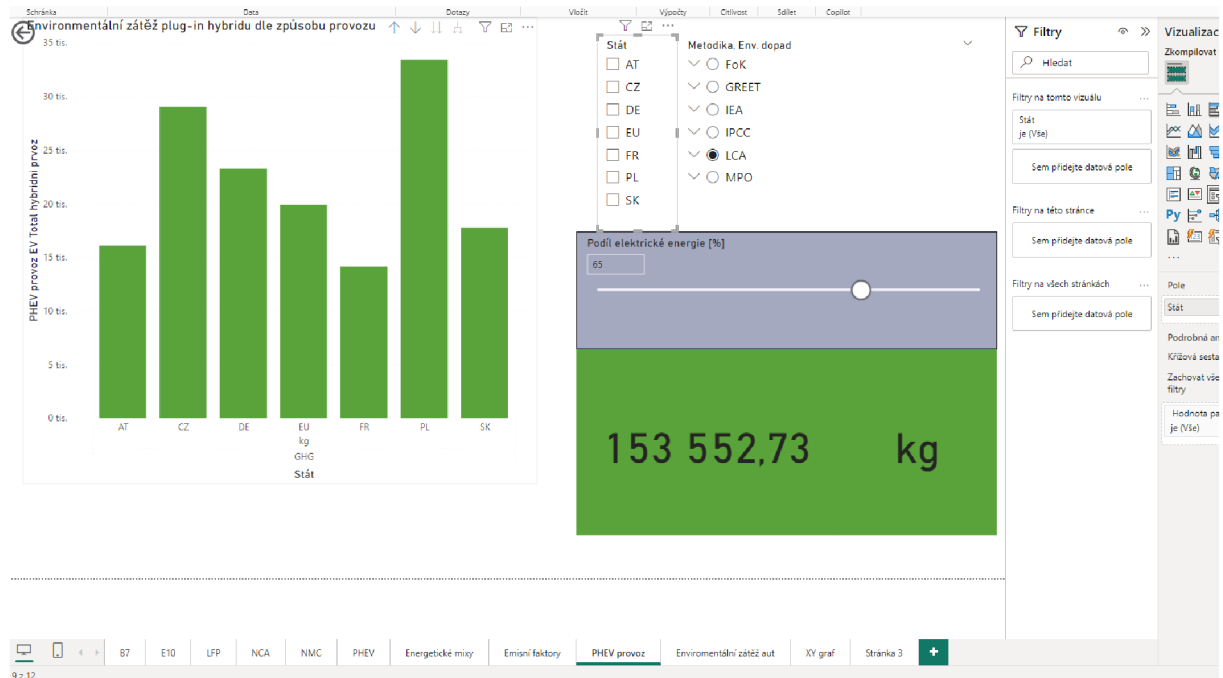


Obrázek 33 CO<sub>2</sub>, EU, metodika IPCC, porovnání provozních režimů PHEV



## 6.4 Ukázka vizualizace Power BI

Na obrázku 34 je ukázka vizualizace provozu PHEV z Power BI.



Obrázek 34 Ukázka vizualizace v Power BI

## 7 Diskuse výsledků

Z kapitoly 6 Výpočty a výsledky vyplývají následující poznatky.

### 7.1 Výroba automobilů

Elektrické vozy jsou oproti konvenčním vozům se spalovacím motorem náročnější na výrobu z těchto důvodů.

#### 7.1.1 Vyšší hmotnost

EV mají vyšší hmotnost oproti konvenčním autům stejné velikosti. Podle výpočtu je v segmentu nižší střední třídy EV proti ICEV těžší o 16–32 % dle typu spalovacího motoru a typu baterie. Nárůst hmotnosti je způsoben především bateriemi, jejich hmotnost se pohybuje v rozmezí 360 až 480 kg dle typu a jejich podíl na hmotnosti vozidla se pohybuje v intervalu 23 až 29 %

Plug-in hybrid v konfiguraci benzínový motor a NMC baterie je těžší o 16 % než vůz s čistě benzínovým motorem. Nárůst hmotnosti je způsoben zabudováním baterie a elektromotoru do architektury ICEV. Podíl baterie na hmotnosti PHEV je 10 %.

#### 7.1.2 Náročnost výroby baterií

Z předchozí kapitoly vyplývá, že baterie zvyšují hmotnost automobilů, a tedy i náročnost výroby. Baterie je však výrobně náročná i měrně, protože obsahuje velké množství vzácných minerálů, které se často nešetrně těží a zpracovávají. Ve výpočtech jsou uvažovány tři typy baterií, z výsledků plyne, že ve většině kritérií vztažených na jednotku hmotnosti baterie je nejvíce nešetrná NCA, následuje NMC a LFP. Náročnost výroby baterií velmi souvisí zejména s obsahem kobaltu a niklu.

Je však nutno dodat, že NCA baterie má nejvyšší energetickou hustotu, naopak LFP nejnižší. Po přepočtení kritérií na jednotku úložné energetické kapacity baterie stále vychází NCA baterie jako nejvíce nešetrná. Výjimkou je zejména vodní stopa, kde je nejnáročnější LFP baterie. Obecně však lze LFP považovat za nešetrnější typ baterie.

### 7.2 Paliva

Náročnost užívání paliv se odvíjí především od spotřeby vozidel. Uvažované auto na benzín se spotřebou 6,8 litru/100 km během 200 000 km spálí 13600 litrů paliva. Auto na naftu se spotřebou 5,5 l/100 km během 200 000 km spálí 11000 litrů paliva. Náročnost rafinace výroby benzínu a nafty je podobná. Výroba nafty má mírně vyšší energetickou náročnost, výroba benzínu uvolňuje více emisí skleníkových plynů.

Při provozu je ze spálení 1 litru nafty uvolněno více skleníkových plynů než při spálení 1 litru benzínu. Vezme-li se však opět v potaz nižší spotřeba naftového motoru, vychází nafta jako více šetrná pro provoz než benzín. Lze tedy konstatovat, že nafta

je environmentálně šetrnější než benzín, protože se jí vyrobí a spotřebuje méně díky nižší spotřebě.

Z důvodů snižování uhlíkové stopy v dopravě se do benzínu a nafty přidává biosložka. Jedná se o biopaliva první generace, která jsou pěstována na orné půdě. Podobně jako biopaliva ve vytápění a energetice mají nízké emise uhlíku fosilního původu. Podle výsledků je množství produkovaných skleníkových z používání biopaliv plynů přibližně desetkrát nižší. Malé množství emisí GHG vzniká z pěstování plodin a jejich zpracování na tekutá paliva. Naopak vodní stopa biopaliv je řádově vyšší, u bioetanolu je desetkrát vyšší než pro benzín, v případě MEŘO je vodní stopa z výroby 25krát vyšší než těžba a výroba fosilní nafty. Z toho plyne, že používání biopaliv první generace s sebou nese i nevýhody. Vodní stopa je způsobena velkou spotřebou vody plodin při pěstování energetických plodin [77] [78].

### 7.3 Zhodnocení energetických mixů a emisních faktorů zemí

Čistota provozu elektrického vozu je velmi úzce spjata s energetickým mixem výroby elektřiny, kterou se EV dobíjí. Z hlediska CO<sub>2</sub> a dalších skleníkových plynů platí, že nižší emisní faktor znamená i nižší emise uhlíku na ujetý kilometr. Nejlépe proto v současnosti vychází provozovat EV ve státech s velkým podílem jaderných nebo obnovitelných zdrojů, zejména ve Francii a Rakousku. Nejhorší v současnosti vychází Polsko kvůli velkému podílu výroby z uhlí. Provoz EV a PHEV je z hlediska emisí skleníkových plynů srovnatelný s provozem naftového vozu. Česká republika vychází horší než unijní průměr. Ke spotřebě elektroaut je nezbytné uvažovat také ztráty při dobíjení.

Z hlediska vodní stopy vychází zdaleka nejhorší biomasa. Důvodem je zejména záměrně pěstovaná biomasa, která je velmi náročná na vodu a konkuruje pěstování potravin, podobně jako biopaliva.

### 7.4 Provoz plug-in hybridního vozu

Na příkladu energetického mixu EU byl znázorněn provoz PHEV v režimech s různým příspěvkem elektrické energie ze sítě. Výsledky ukazují, že pro výhodný provoz PHEV vozidla je nezbytné co nejvíce dobíjet ze zásuvky. Pokud se dobíjí málo, tak produkce CO<sub>2</sub> blíží naftovému vozu.

## 7.5 Vznik pevných částic při provozu vozidel

Pevné částice vznikají při provozu automobilů vznikají z otěru brzd, pneumatik a vozovky.

### 7.5.1 PM<sub>2.5</sub>

Výsledky ukazují, že emise PM<sub>2.5</sub> spalovacích vozů jsou tvořeny přibližně jednou polovinou z výfukových plynů a druhou polovinou z otěru. Elektromobily jsou proto šetrnější, protože při provozu produkují cca poloviční množství částic PM<sub>2.5</sub>.

### 7.5.2 PM<sub>10</sub>

Výsledku provozu spalovacích vozidel ukazují, že množství uvolněných PM<sub>10</sub> z otěru je přibližně 10krát vyšší než z emisí výfukových plynů. Proto jsou elektromobily z hlediska PM<sub>10</sub> jen o málo šetrnější než konvenční vozy. Lze však spekulovat, že EV produkují také méně pevných částic díky menšímu využívání brzd, tato problematika však již v této práci nebyla řešena.

### 7.5.3 Životnosti baterií

Tento výpočetní model na rozdíl od studie z ČVUT [80] předpokládá, že baterie v elektrických vozech jsou konstruovány na nájezd minimálně 200 000 km a není proto uvažována výměna baterie [83].

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce zkoumala LCA analýzu životních cyklů vozidel. Hlavním cílem bylo vyhodnotit environmentální zátěž osobních vozidel s ohledem na typ pohonu. Cílem je vytvořit z výsledků interaktivní nástroj pro vizualizaci provozních dat.

Výsledky ukázaly, že životní cyklus elektrického vozidla je oproti těm konvenčním environmentálně šetrnější ve všech zemích, které mají alespoň částečný podíl v obnovitelných nebo jaderných energetických zdrojích, včetně České republiky. Byť je provoz elektroaut v ČR šetrnější než provoz spalovacích vozů, není rozdíl tak markantní jako ve státech s rozvinutou bezemisní energetikou, například Francii, Rakousku a Slovensku. V Polsku je při současném energetickém mixu provoz plug-in hybridu srovnatelný s provozem auta s naftovým motorem.

Lze předpokládat, že s rostoucím podílem OZE v energetickém mixu zemí Evropské unie dle strategie Fit for 55 se bude dále snižovat environmentální zátěž provozu EV. Fit for 55 [84] je balíček legislativních návrhů Evropské komise, které mají vést k 55% snížení evropských emisí skleníkových plynů do roku 2030 v porovnání s rokem 1990. Tento cíl je mezikrokem k dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050, ke kterému se Evropská unie právně zavázala.

Dalším stěžejním tématem je likvidace baterií, která v současnosti neprobíhá zcela. Cíle zemí včetně EU je daleko lepší míra recyklace baterií, aby se zpětně získávala velká část cenných kovů pro další výrobu a snížila se tak emisní stopa a další kritéria spojená s eliminací nešetrné těžby v rozvojových zemích a také ekonomické závislosti na zemích, které ovládají těžbu.

Byla vytvořena online dostupná verze, která je k dispozici na tomto odkaze: <https://sites.google.com/vutbr.cz/209016-dp-lca/domovsk%C3%A1-str%C3%A1nka>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] OLSEN, Stig Irving, HAUSCHILD, Michael Z. a ROSENBAUM, Ralph K. (ed.). *Life Cycle Assessment*. Online. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-56475-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>. [cit. 2024-05-17].
- [2] JANEČEK, Jan. LCA (analýza životního cyklu) a EPD (environmentální prohlášení o produktu). Online. In: DEK, A.S. ATELIER DEK. 2014. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1en%C3%AD-o-produktu-646#CSN>. [cit. 2024-05-17].
- [3] LCA SOFTWARE. *LCA SOFTWARE OVERVIEW 2024*. Online. 2023. Dostupné z: <https://lca-software.org/>. [cit. 2024-05-17].
- [4] PRÉ SUSTAINABILITY. *SimaPro*. Online. C2024. Dostupné z: <https://simapro.com/>. [cit. 2024-05-19].
- [5] ECOCHAIN TECHNOLOGIES. *Ecochain*. Online. C2024. Dostupné z: <https://ecochain.com/mobius/>. [cit. 2024-05-19].
- [6] *Umberto*. Online. IPOINTE-SYSTEMS GMBH. IPoint. C2024. Dostupné z: <https://www.ifu.com/umberto/lca-software/>. [cit. 2024-05-19].
- [7] *One Click LCA*. Online. C2024. Dostupné z: <https://oneclicklca.com/>. [cit. 2024-05-19].
- [8] GREEN DELTA. *OPENLCA*. Online. C2024. Dostupné z: <https://www.openlca.org/>. [cit. 2024-05-19].
- [9] *LCA for Experts (GaBi)*. Online. Sphera. C2024. Dostupné z: <https://sphera.com/life-cycle-assessment-lca-software/>. [cit. 2024-05-19].
- [10] *Ecoinvent*. Online. [2023]. Dostupné z: <https://ecoinvent.org/>. [cit. 2024-05-19].
- [11] HILLEGE, Luc. *What is Ecoinvent? – Meet the LCI Database: Ecoinvent is the World's leading LCI database containing over 18.000 unique datasets. So, why is it so important?* Online. In: ECOCHAIN TECHNOLOGIES. *Ecochain*. 21 February 2024n. I. Dostupné z: <https://ecochain.com/blog/what-is-ecoinvent/>. [cit. 2024-05-19].
- [12] *REET: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy*. Online. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. ENERGY.GOV. [2024]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/greet>. [cit. 2024-05-19].

- [13] *GREET Model*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/GREET\\_Model](https://en.wikipedia.org/wiki/GREET_Model). [cit. 2024-05-19].
- [14] ŠÁNDOR, Kristián. *Aplikace metody posuzování životního cyklu výroby (LCA) na osobní vozidla*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2023.
- [15] PEDERZOLI, Davide W.; CARNEVALI, Cristina; GENOVA, Riccardo; MAZZUCHELLI, Maurizio; DEL BORGHI, Adriana et al. Life cycle assessment of hydrogen-powered city buses in the High V.LO-City project: integrating vehicle operation and refuelling infrastructure. Online. *Discover Applied Sciences*. 2019-, roč. 4, č. 57. ISSN 3004-9261. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04933-6>. [cit. 2024-05-19].
- [16] OĞUZ, Selin a PARKER, Sam. *Life Cycle Emissions: EVs vs. Combustion Engine Vehicles*. Online. In: Visual Capitalist. 23 June 2023n. I. Dostupné z: <https://www.visualcapitalist.com/life-cycle-emissions-evs-vs-combustion-engine-vehicles/>. [cit. 2024-05-19].
- [17] SOBIANOWSKA-TUREK, Agnieszka; URBAŃSKA, Weronika; JANICKA, Anna; ZAWIŚLAK, Maciej a MATLA, Jędrzej. The Necessity of Recycling of Waste Li-Ion Batteries Used in Electric Vehicles as Objects Posing a Threat to Human Health and the Environment. Online. 2021. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/recycling6020035>. [cit. 2024-05-17].
- [18] ŠPINA, Martin. *Li-ion baterie: Porovnání nejpoužívanějších typů: Akumulace energie*. Online. In: OM SOLUTIONS S.R.O. O ENERGETICE.cz. 2021. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/li-ion-baterie-porovnani-nejpouzivanejsich-typu>. [cit. 2024-05-17].
- [19] PLACKE, Tobias; KLOEPSCH, Richard; DÜHNEN, Simon a WINTER, Martin. Lithium ion, lithium metal, and alternative rechargeable battery technologies: the odyssey for high energy density. Online. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 1969-, roč. 2017, č. 21, s. 1939-1964. ISSN 1433-0768. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10008-017-3610-7>. [cit. 2024-05-19].
- [20] HRZINA, Pavel. *Cykly a životnost baterie: Akumulace elektřiny*. Online. In: TOPINFO S.R.O. TZB-info. 2020. Dostupné z: <https://m.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>. [cit. 2024-05-17].

- 
- [21] CHAWLA, Neha; BHARTI, Neelam a SINGH, Shailendra. Recent Advances in Non-Flammable Electrolytes for Safer Lithium-Ion Batteries. Online. In: . 2019, kapitola 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/batteries5010019>. [cit. 2024-05-17].
- [22] CASTELVECCHI, Davide. *Electric cars and batteries: how will the world produce enough?: Reducing the use of scarce metals — and recycling them — will be key to the world's transition to electric vehicles*. Online. In: SPRINGER NATURE. Nature. 2021. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02222-1>. [cit. 2024-05-17].
- [23] AGNIHOTRI, Nikhil. *What battery chemistries are used in electric vehicles?* Online. In: ENGINEERS GARAGE. C2024. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/ev-battery-chemistries-ncm-lfp-nca-lmo-lto-lco/>. [cit. 2024-05-17].
- [24] *BU-205: Types of Lithium-ion*. Online. In: BATTERY UNIVERSITY. C2024, 2023. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion#google\\_vignette](https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion#google_vignette). [cit. 2024-05-17].
- [25] DULÉRY, Sarah. *Electric vehicle batteries: types and characteristics*. Online. In: WALLBOX. ELECTROMAPS. 2024. Dostupné z: <https://www.electromaps.com/en/blog/electric-vehicle-batteries-types-characteristics>. [cit. 2024-05-17].
- [26] MAN, Henry. *What are LFP, NMC, NCA Batteries in Electric Cars?* Online. In: Zecar. 2023. Dostupné z: <https://zecar.com/resources/what-are-lfp-nmc-nca-batteries-in-electric-cars>. [cit. 2024-05-17].
- [27] *Tesla Batteries: What Kind of Battery Does My Tesla Have?* Online. In: FIND MY ELECTRIC. 2024. Dostupné z: <https://www.findmyelectric.com/blog/what-kind-of-battery-does-my-tesla-have/>. [cit. 2024-05-17].
- [28] ZUBI, Ghassan; DUFO-LÓPEZ, Rodolfo; CARVALHO, Monica a PASAOGU, Guzay. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018, roč. 89th, s. 292-308. ISSN 1879-0690. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002>. [cit. 2024-05-17].



- [29] INCLÁN, Inés Rosellón. *Analysis of global battery production: production locations and quantities of cells with LFP and NMC/NCA cathode material*. Online. In: FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SYSTEMS AND INNOVATION RESEARCH ISI. Fraunhofer ISI. 2023. Dostupné z: <https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/globale-batterieproduktion-analyse-standorte-mengen-zellen-lfp-nmc-nca-kathoden.html>. [cit. 2024-05-18].
- [30] EL HADRAOUI, Hicham; ZEGRARI, Mourad; CHEBAK, Ahmed; LAAYATI, Oussama a GUENNOUNI, Nasr. A Multi-Criteria Analysis and Trends of Electric Motors for Electric Vehicles. Online. *World Electric Vehicle Journal*. 2018-, roč. 2022, č. 4, s. článek č. 65. ISSN 2032-6653. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/wevj13040065>. [cit. 2024-05-18].
- [31] *Tesla Model 3 Motor Tear Down - ALL EV*. Online. In: ALL EV BY STEELE AUTO GROUP. YouTube. 2020. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=oVge8l6kxPY>. [cit. 2024-05-18].
- [32] ŠPAČEK, Jakub. *Jakou životnost mají elektromotor a baterie v Tesle Model 3?* Online. In: 24NET S. R. O. FDrive.cz. 2019. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jakou-zivotnost-maji-elektromotor-a-baterie-v-tesle-model-3-3615>. [cit. 2024-05-19].
- [33] WRAY, Alex a EBRAHIMI, Kambiz. Octovalve Thermal Management Control for Electric Vehicle. Online. *Energies*. 2008, roč. 15, č. 17, s. článek 6118. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en15176118>. [cit. 2024-05-19].
- [34] *1547595-00-C For Tesla Model Y 3 Plastic Supermanifold Octovalve Coolant New atyou68 (1674) [atyou68]*. Online. In: Ebay. [2024]. Dostupné z: <https://www.ebay.co.uk/itm/334723573956>. [cit. 2024-05-19].
- [35] TRESNER, Lubomír. *Paliva s biosložkou a některá specifika jejich použití*. Online. In: EKOLUBE S.R.O. OLEJE.CZ. C2024. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/poradna/paliva-s-bioslozkou-a-nektera-specifika-jejich-pouziti>. [cit. 2024-05-18].
- [36] DAHMAN, Yaser; DIGNAN, Cherilyn; FIAYAZ, Asma a CHAUDHRY, Ahmad. An introduction to biofuels, foods, livestock, and the environment. Online. In: VERMA, Deepak; FORTUNATI, Elena; JAIN, Siddharth a ZHANG, Xiaolei (ed.). *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy*. Woodhead Publishing, 2019, s. 241-276. ISBN 978-0-08-102426-3. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081024263000138>. [cit. 2024-05-18].

- [37] POLANECKÝ, Karel a KNOTEK, Leoš. *Jak neohřívat zeměkouli*. Online. Hnutí DUHA, 2003. ISBN 80-902823-8-5. Dostupné z: [https://hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/Jak\\_neohrivat\\_zemek\\_ouli\\_2003.pdf](https://hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/Jak_neohrivat_zemek_ouli_2003.pdf). [cit. 2024-05-19].
- [38] GERALI, F. *Biofuels*. Online. In: ENGINEERING AND TECHNOLOGY HISTORY WIKI. ETHW. 2020, 2021. Dostupné z: <https://ethw.org/Biofuels>. [cit. 2024-05-18].
- [39] BĚLOHLAV, Vojtěch. *FOTOBIOREAKTOR PRO ŘASY – UDRŽITELNÁ TECHNOLOGIE PRO POLÁRNÍ OBLASTI*. Online. In: ČVUT FS. FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE. C2014-2024. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/veda-a-vyzkum/vysledky/vysledky-projektu/fotobioreaktor-spicberky/>. [cit. 2024-05-18].
- [40] SINGH, Rawel; PRAKASH, Aditya; BALAGURMURTHY, Bhavya a BHASKAR, Thallada. Chapter 10 - Hydrothermal Liquefaction of Biomass. Online. In: PANDEY, Ashok; BHASKAR, Thallada; STÖCKER, Michael a K. SUKUMARAN, Rajeev (ed.). *Recent Advances in Thermochemical Conversion of Biomass*. Dehradun (India): Elsevier, 2015, s. 269-291. ISBN 978-0-444-63289-0. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444632890000107>. [cit. 2024-05-18].
- [41] KRISHNA, Jayachandran; PERUMAL, Ayyappasamy Sudalaiyadum; KHAN, Imran; CHELLIAH, Ramachandran; WEI, Shuai et al. Chapter 6 - Synthesis of nanomaterials for biofuel and bioenergy applications. Online. In: KUMAR, R. Praveen a BHARATHIRAJA, B. (ed.). *Nanomaterials*. Academic Press, 2021, s. 97-165. ISBN 978-0-12-822401-4. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128224014000313>. [cit. 2024-05-18].
- [42] MIOBOLI, Emanuele; MUTSCHLER, Robin a ZÜTTEL, Andreas. Renewable energy storage via CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> conversion to methane and methanol: Assessment for small scale applications. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. June 2019, roč. 107, s. 497-506. ISSN 1879-0690. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.022>. [cit. 2024-05-18].
- [43] BASTOS, Joana; MONFORTI-FERRAIO, Fabio; MELICA, Giulia (2024): GHG Emission Factors for Electricity Consumption. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] PID: <http://data.europa.eu/89h/919df040-0252-4e4e-ad82-c054896e1641>
- [44] ELECTRICITY MAPS APS. *ELECTRICITY MAPS*. Online. C2022, 2024. Dostupné z: <https://app.electricitymaps.com/map>. [cit. 2024-05-18].

- 
- [45] RUSCHIES, Wolfgang. *Elektroauto und Ladeverluste: So können Sie Kosten vermeiden*. Online. In: ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB. ADAC. 2022. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/ladeverluste-elektroauto-studie/>. [cit. 2024-05-18].
- [46] *Kosten für E-Autos: Ladeverluste nicht vergessen: ADAC ermittelt bis zu 25 Prozent mehr an realen Stromkosten*. Online. In: ADAC. 2020. Dostupné z: <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/technik/ladeverlust.html>. [cit. 2024-05-19].
- [47] CHANNEGOWDA, Janamejaya; PATHIPATI, Vamsi Krishna a WILLIAMSON, Sheldon. *Comprehensive review and comparison of DC fast charging converter topologies: Improving electric vehicle plug-to-wheels efficiency*. Online. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2015. ISBN 978-1-4673-7554-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ISIE.2015.7281479>. [cit. 2024-05-18].
- [48] ZABLOCKI, Alexandra, WERNER, Carol a LAPORTE, Amaury (ed.). *Fact Sheet | Energy Storage (2019)*. Online. In: ENVIRONMENTAL AND ENERGY STUDY INSTITUTE. EESI. 22 February 2019n. I. Dostupné z: <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019>. [cit. 2024-05-19].
- [49] *Verbrauch laut Bordcomputer: Exakt bis voll daneben*. Online. In: ADAC. 2020. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/autotest/bordcomputer-verbrauchswerte/>. [cit. 2024-05-20].
- [50] SAKAI, Skin-ichi; YOSHIDA, Hideto; HIRATSUKA, Jiro; VENDECASTEELE, Carlo; KOHLMAYER, Regina et al. An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems. Online. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 1998-, roč. 16, č. 1, s. 1-20. ISSN 1611-8227. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10163-013-0173-2>. [cit. 2024-05-20].
- [51] *Automotive shredder residue*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive\\_shredder\\_residue](https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_shredder_residue). [cit. 2024-05-20].
- [52] *Lithium-Ion Battery Recycling*. Online. In: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA. 2024. Dostupné z: <https://www.epa.gov/hw/lithium-ion-battery-recycling>. [cit. 2024-05-18].

- 
- [53] *Carbon dioxide*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_dioxide#Concentrations\\_and\\_role\\_in\\_the\\_environment](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide#Concentrations_and_role_in_the_environment). [cit. 2024-05-20].
- [54] *Atmospheric methane*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric\\_methane](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_methane). [cit. 2024-05-20].
- [55] *Nitrous oxide*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrous\\_oxide#Atmospheric\\_occurrence](https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrous_oxide#Atmospheric_occurrence). [cit. 2024-05-20].
- [56] *AR6 WGI Report: List of corrigenda to be implemented*. Online. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Ipcc. C2024. Dostupné z: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_07\\_Supplementary\\_Material.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_07_Supplementary_Material.pdf). [cit. 2024-05-18].
- [57] *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. Online. In: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA. 2024. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>. [cit. 2024-05-18].
- [58] *Inhalable Particulate Matter and Health (PM2.5 and PM10)*. Online. In: STATE OF CALIFORNIA. CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD. C2024. Dostupné z: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>. [cit. 2024-05-18].
- [59] LIU, Ye; WU, Sijin; CHEN, Haibo; FEDERICI, Matteo; PERRICONE, Guido et al. Brake wear induced PM10 emissions during the world harmonised light-duty vehicle test procedure-brake cycle. Online. *Journal of Cleaner Production*. 1993-, roč. 31th, č. 361. ISSN 1879-1786. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132278>. [cit. 2024-05-18].
- [60] BRZEZINA, Jáchym. *Suspendované (prachové) částice PM10*: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=317>. Online. In: Infoviz. 2022, 25. 1. 2024. Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=317>. [cit. 2024-05-18].
- [61] *Lithium nickel manganese cobalt oxides*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_nickel\\_manganese\\_cobalt\\_oxides](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_nickel_manganese_cobalt_oxides). [cit. 2024-05-20].

- [62] *Microsoft Power BI*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Power\\_BI#](https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Power_BI#). [cit. 2024-05-20].
- [63] *BI (Business Intelligence)*. Online. In: GRiT. [2024]. Dostupné z: <https://www.grit.eu/slovnicek-pojmu/bi-business-intelligence>. [cit. 2024-05-20].
- [64] *Water footprint*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 16 May 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_footprint](https://en.wikipedia.org/wiki/Water_footprint). [cit. 2024-05-18].
- [65] RUBINO, Alessandro; SAPIO, Alessandro a LA SCALA, Massimo (ed.). *Handbook of Energy Economics and Policy*. Online. Academic Press, 2021. ISBN 978-0-12-814712-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01718-4>. [cit. 2024-05-20].
- [66] *FOCUS Titanium X, 1.0 EcoBoost Hybrid (mHEV) 92 kW*. Online. In: AutoPalace. C1991-2024. Dostupné z: <https://www.autopalace.cz/skladove-vozy/nove-ford-focus-titanium-x-1-0-ecoboost-hybrid-mhev-92-kw-1-0-92-92-kw-metalicky-lak-karoserie-unikatni-cervena-fanta-cznnr66723.html>. [cit. 2024-05-20].
- [67] *Příčnky Modula Oval Bar Closed Rail Black Škoda Octavia IV Combi 2020- s integrovanými podélníky*. Online. In: THULE. OBCHODTH.CZ. C2024. Dostupné z: <https://www.obchodth.cz/23234-pricniky-modula-oval-bar-closed-rail-black-skoda-octavia-iv-combi-2020-s-integrovanymi-podelniky.html>. [cit. 2024-05-20].
- [68] *Nový IONIQ Electric*. Online. HYUNDAI MOTOR CZECH S.R.O. HYUNDAI. C2024. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/cz/modely/ioniq-electric.htmlm=158.html>. [cit. 2024-05-22].
- [69] *Plug-in hybrid*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in\\_hybrid](https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_hybrid). [cit. 2024-05-20].
- [70] *Plug-In Hybrid Electric Vehicles*. Online. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. ENERGY.GOV. [2024]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-phev>. [cit. 2024-05-21].
- [71] *European emission standards*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards). [cit. 2024-05-22].

- [72] OFIME, Candy. *How cobalt mining became a disaster for Congolese communities: DW News*. Online. In: YouTube. 2023. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OvKnn8BRRl8>. [cit. 2024-05-23].
- [73] BROWN, Sarah a JONES, Dave. *European Electricity Review 2024: Ember's analysis of the EU electricity transition in 2023: what happened in 2023, and what can we expect in 2024?* Online. In: SANDBAG CLIMATE CAMPAIGN CIC. EMBER. 7 Feb 2024n. l. Dostupné z: <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2024/>. [cit. 2024-05-18].
- [74] *Emissions Factors 2022: Annual GHG emission factors for World countries from electricity and heat generation*. Online. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Iea50. [2024], September 2022. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/emissions-factors-2022>. [cit. 2024-05-24].
- [75] HOUŠKA, Filip. *ENERGETICKÁ NÁROČNOST POHONU OSOBNÍHO AUTOMOBILU*. Bakalářská práce. Liberec: TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, FAKULTA STROJNÍ, 2011.
- [76] HAAS, Heinz; HUSS, Arno a MAAS, Heiko, EDWARDS, Robert; GODWIN, Simon; HAMJE, Heather; KRASENBRINK, Alois; LONZA, Laura et al. (ed.). *TANK-TO-WHEELS Report - Version 4.a*. Online. Luxembourg: Publications Office of the European Union, c2014. ISBN ISBN 978-92-79-33893-9. ISSN ISSN 1831-9424. Dostupné z: <https://doi.org/10.2790/95839>. [cit. 2024-05-18].
- [77] MEKONNEN, Mesfin M.; GERBENS-LEENES, P. W. a HOEKSTRA, Arjen Y. *The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment*. Online. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 1967-, roč. 2022, č. 57th. ISSN 2053-1419. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/C5EW00026B>. [cit. 2024-05-18].
- [78] GERBENS-LEENES, Winnie; HOEKSTRA, Arjen Y. a VAN DER MEER, Theo H. *The water footprint of bioenergy*. Online. *PNAS*. 1915-, roč. 106, č. 25, s. 10219-10223. ISSN 1091-6490. Dostupné z: <https://doi.org/10.1073/pnas.0812619106>. [cit. 2024-05-18].
- [79] GAŽOVÁ, Jarmila. *Posuzování životního cyklu - LCA*. Online. In: ICOSA S. R. O. PlasticPortal. 2012. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/posuzovani-zivotniho-cyklu-lca/c/937/>. [cit. 2024-05-24].

- 
- [80] MORKUS, Josef a MACEK, Jan. *KAM KRÁČÍŠ, ELEKTROMOBILITO?* Online. In: ČVUT. FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE. C2014-2024. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/verejnost/pr-media/pribeh-y-z-ustavu/kam-kracis-elektromobilito/>. [cit. 2024-05-24].
- [81] BUFKA, Aleš. *Emisní faktor CO<sub>2</sub> z výroby elektřiny za léta 2010–2023*. Online. In: MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. 2024. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/emisni-faktor-co2-z-vyroby-elektriny-za-leta-2010-2023--280262/>. [cit. 2024-05-24].
- [82] SPRITMONITOR.DE. *Https://www.spritmonitor.de/*. Online. C2001-20024. Dostupné z: <https://www.spritmonitor.de/>. [cit. 2024-05-24].
- [83] BENEŠ, Petr. *Obavy o životnost baterie elektromobilu jsou zbytečné*. Online. In: Autonabíječka.cz. [2024]. Dostupné z: <https://www.autonabijecka.cz/obavy-o-zivotnost-baterie-elektromobilu-jsou-zbytecne/>. [cit. 2024-05-24].
- [84] *Co je Fit for 55*. Online. In: Fakta o klimatu. C2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/fit-for-55>. [cit. 2024-05-24].

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC	Alternating Current, střídavý proud
ADAC	Allgemeiner deutscher Automobilclub, Všeobecný německý automobilový klub
Al	Hliník
ASR	Automotive Shredder Residue, zbytky z automobilového drtiče, koncový odpad z autovraků
B7	Motorová nafta se 7% příměsí biosložky
BEV	Battery Electric Vehicle, elektrický vůz s baterií (dobíjecím akumulátorem)
C	Uhlík, grafit
C2C	Cradle to Cradle, „od kolébky do kolébky“
C2G	Cradle to Grave, „od kolébky do hrobu“
CH <sub>4</sub>	Metan
CO	Oxid uhelnatý
Co	Kobalt
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý, produkt spalování uhlikatých paliv, skleníkový plyn
CO <sub>2eq</sub>	Ekvivalent oxidu uhličitého, množství skleníkových plynů přepočtených na oxid uhličitý
Cu	Měď
DC	Direct Current, stejnosměrný proud
E10	Benzín s 10% příměsí bioetanolu
EV	Electric Vehicle, vůz s elektrickým pohonem
GHG	Greenhouse Gases, skleníkové plyny, které zvyšují skleníkový jev, a tím se podílejí na zvyšování průměrné zemské teploty
GWP	Global Warming Potential, potenciál globálního oteplování, bezrozměrná veličina
REET	Greenhouse Gases, Regulated Emissions and Energy Use in Transportation model, software na modelování posouzení životních cyklů zejména v těžbě a výrobě surovin, energetice a dopravě
HC	Hydrocarbons, uhlovodíky



---

HEV	Hybrid Electric Vehicle, vůz s hybridním pohonem
ICE(V)	Internal Combustion Engine (Vehicle), spalovací motor, vůz se spalovacím motorem
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Mezivládní panel pro změnu klimatu, orgán OSN
LCA	Life Cycle Assessment, posouzení (analýza) životního cyklu
LCI	Life Cycle Inventory, inventarizace životního cyklu
LCIA	Life Cycle Impact Assessment, posouzení dopadů v životním cyklu
LFP	Lithium Ferro-Phosphate, lithium-iontový akumulátor s katodou na bázi lithium-železo-fosfátu
Li	Lithium
Li-ion	Lithium-iontová baterie
MEŘO	Metylester řepkového oleje
Mn	Mangan
N <sub>2</sub> O	Oxid dusný (rajský plyn), skleníkový plyn
NMHC	Non-Methane Hydrocarbons, nemetanové uhlovodíky
NO <sub>x</sub>	Oxidy dusíku
NCA	Nickel Cobalt Amuninium, Lithium-iontový akumulátor s katodou na bázi niklových, kobaltových a hliníkových oxidů
NMC	Nickel Manganese Cobalt, Lithium-iontový akumulátor s katodou na bázi niklových, kobaltových a hliníkových oxidů
Ni	Nikl
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PHEV	Plugin-in Hybrid Electric Vehicle, vůz s hybridním pohonem s možností dobíjení akumulátoru ze sítě
PM	Particulate Matter, pevné částice
PN	Počet částic
ppb	Parts per bilion (1 ppb je jedna miliardtina celku)
ppm	Parts per milion (1 ppm je jedna miliontina celku)
T2W	Tank to Wheel, „z nádrže na kola“

TČ	Tepelné čerpadlo
XPO4	Fosfáty
W2T	Well to Tank, „z pramene do nádrže“
W2W	Well to Wheel, „z pramene na kola“
WF	Water Footprint, vodní stopa

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma životního cyklu automobilu, upraveno [14] [15] .....	18
Obrázek 2 Materiálová skladba benzinového a elektrického vozu segmentu C .....	19
Obrázek 3 Konstrukční typy Li-ion článků v modulární sestavě [22].....	21
Obrázek 4 Princip elektrochemických reakcí uvnitř Li-ion článku [21] .....	21
Obrázek 5 Energetická hustota Li-ion baterií v elektromobilech [18] [19] [24] .....	23
Obrázek 6 Výhled podílu regionů ve výrobě baterií [29] .....	24
Obrázek 7 Výhled globální výroby hlavních typů baterií [29] .....	24
Obrázek 8 Architektura hnacího ústrojí elektrického vozu [30].....	25
Obrázek 9 Povozev EV s elektromotorem na zadní nápravě [32] .....	26
Obrázek 10 Octovalve, schéma a fotografie [33] [34].....	27
Obrázek 11 Schéma tepelného řízení ve vozidlech Tesla [33].....	27
Obrázek 12 Uhlíková intenzita států Evropy z výroby elektřiny, z interaktivního webu [44] .....	32
Obrázek 13 Ztráty při nabíjení EV s 22kW wallboxem [46].....	33
Obrázek 14 Drcení Li-ion baterií [22].....	36
Obrázek 15 Black mass (černá hmota) [52].....	36
Obrázek 16 Cíle metody LCA .....	43
Obrázek 17 Příklad vozů segmentu C: Ford Focus ICE [66], Škoda Octavia iV PHEV [67] a Hyundai IONIQ EV [68].....	44
Obrázek 18 Schéma fází životního cyklu automobilů, které řeší tato práce, upraveno [14] [15].....	45
Obrázek 19 Logo GREET .....	47
Obrázek 20 Ukázka prostředí softwaru GREET .....	47
Obrázek 21 Ukázka prostředí softwaru Power BI .....	48
Obrázek 22 Materiálové složení vozidel .....	50
Obrázek 23 Graf environmentální zátěže výroby automobilů .....	53
Obrázek 24 Environmentální zátěž výroby 1 kg baterie .....	54
Obrázek 25 Environmentální zátěž výroby 1 Wh baterie .....	55
Obrázek 26 Environmentální zátěž výroby biopaliv 1 litru paliva [78] .....	56
Obrázek 27 Energetické mixy výroby elektřiny [73] .....	57
Obrázek 28 Emisní faktory skleníkových plynů z výroby elektřiny [43].....	58
Obrázek 29 Skleníkové plyny, ČR, metodika LCA.....	60
Obrázek 30 Skleníkové plyny, EU, metodika LCA.....	61
Obrázek 31 Skleníkové plyny, Polsko, metodika LCA .....	62
Obrázek 32 CO <sub>2</sub> , Rakousko, metodika IPCC .....	63
Obrázek 33 CO <sub>2</sub> , EU, metodika IPCC, porovnání provozních režimů PHEV.....	64
Obrázek 34 Ukázka vizualizace v Power BI .....	65

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Srovnání trakčních Li-ion baterií [18] [19] [24] .....	23
Tabulka 2 Produkce CO <sub>2</sub> při spalování paliva .....	29
Tabulka 3 Emisní faktory spotřeby elektřiny pro vybrané evropské státy [43] .....	31
Tabulka 4 Test nabíjecích ztrát elektroaut [45] .....	32
Tabulka 5 Hlavní skleníkové plyny [56] .....	40
Tabulka 6 Prachové částice tříd PM .....	41
Tabulka 7 Emisní limity škodlivin pro osobní automobily dle normy Euro 6 [71].....	41
Tabulka 8 Výpočet environmentálních kritérií při výrobě vozidel .....	51
Tabulka 9 Environmentální zátěže výroby automobilů .....	52
Tabulka 10 Provoz automobilů v ČR dle IPCC [71] [75] [76] .....	59

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Datový soubor s výpočty LCA analýz      209016\_Polášek\_DP\_Dataset.xlsx