



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Vývoj a výroba baterií pro hybridní a
elektrická vozidla

Battery development of hybrid and electric
vehicles

DIPLOMOVÁ PRÁCE
2022

Tomáš STRAŇÁK

Studijní program: NDTT Dopravní a transportní technika
Studijní obor: N071TMVO Motorová vozidla
Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Straňák** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **475013**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Motorová vozidla**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vývoj a výroba baterií pro hybridní a elektrická vozidla

Název diplomové práce anglicky:

Battery development of hybrid and electric vehicles

Pokyny pro vypracování:

- analyzujte vývoj baterií hybridních a elektrických vozidel
- snažte se zjistit náročnost výroby baterií (spotřebovanou energii)
- analýzu zaměřte na různé druhy bateriových článků a kompletních baterií
- analyzujte energetický mix výroby elektřiny a stanovte vliv výroby baterií na celkové emise CO₂ za životní cyklus různých druhů vozidel
- navrhnete nástroj pro porovnávání emisí CO₂ elektrických vozidel a vozidel se spalovacími motory

Seznam doporučené literatury:

studie zabývající se bateriemi a jejich výrobou
internet

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

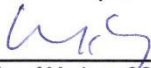
Ing. Josef Morkus, CSc. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS


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

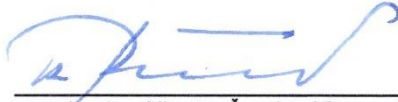
Datum zadání diplomové práce: **20.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.07.2022**

Platnost zadání diplomové práce:


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


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


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Tomáš Straňák

Název práce: Vývoj a výroba baterií pro hybridní a elektrická vozidla

Anglický název: Battery development of hybrid and electric vehicles

Rozsah práce:

124 stran

43 obrázků

42 tabulek

Akademický rok: 2021/2022

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

Studijní program: NDTT Dopravní a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

Klíčová slova: Baterie, Výroba, Emise, CO₂, Oxid uhličitý, Elektromobil, BEV, EV, Vývoj, Li-ion, články, Životní, Cyklus,

Key words: Battery, Manufacture, Production, Emissions, CO₂, Carbon dioxide, Electric vehicle, BEV, EV, development, Li-ion, cells, LCA, Life, Cycle, Assessment,



Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá posouzením vlivu emisí CO₂ vzniklých při výrobě baterií na celkový životní cyklus elektromobilu. Je posouzen vliv energetického mixu na výrobu baterií a emise CO₂ vzniklé z provozu vozidla. Jednotlivé proměnné parametry v životním cyklu vozidel byly zakomponovány do porovnávacího nástroje, který umožňuje komplexní porovnání životního cyklu vybraného elektromobilu vůči vozidlu se spalovacím motorem, za uživatelem specifikovaných podmínek.

Abstract

This diploma thesis is focused on impact of CO₂ emissions generated during li-ion battery production to overall life cycle of an electric vehicle. There is also assessed the influence of carbon intensity of electricity to CO₂ emissions from battery production and to CO₂ emissions from use phase of electric vehicle. The thesis also includes the comparison tool, which enables a comparison of the life cycle of a selected electric vehicle versus a vehicle with an internal combustion engine. Comparison tool includes numerous of parameters which could be personalized by your own.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Vývoj a výroba baterií pro hybridní a elektrická vozidla“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří závěrečné kapitoly této práce.

V Praze dne: 8. července 2022

.....

(podpis autora)



Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Josefu Morkusovi, CSc. za jeho odborné konzultace a věnovaný čas. Dále také mé přítelkyni Mgr. Radce Ondrové za trpělivost a podporu při plnění studijních povinností. Poděkování patří také mé rodině za podporu během celého studia.



Seznam použitých zkratk a termínů

BEV	Battery electric vehicle – plně elektrické vozidlo využívající ke skladování elektrické energie baterii
ICE	Internal combustion engine – chápáno v kontextu této práce jako vozidlo poháněné spalovacím motorem na benzin či naftu
CO ₂ -eq	CO ₂ -ekvivalent – má význam celkového množství vyprodukovaných skleníkových plynů vyjádřených ekvivalentem množství CO ₂
Cradle-to-gate	Metodika pro posuzování životních cyklů vozidel při kterém, jsou uvažovány veškeré procesy, které musí být provedeny, aby hotový automobil vyjel z brány výrobního závodu. Tato metodika zahrnuje těžbu materiálu, rafinaci a zušlechťení surovin, dopravu po světě a veškeré části výrobního procesu.
Well-to-tank	Metodika pro posuzování životního cyklu paliva. Zahrnuje veškeré procesy, které museli nastat, aby se palivo dostalo do nádrže vozu – mezi tyto procesy patří například těžba surovin, rafinace či přeprava ke spotřebiteli.
Tank-to-wheel	Metodika pro posuzování životního cyklu paliva. Zahrnuje veškeré procesy, které museli nastat, aby se palivo přeměnilo na pohyb kol vozidla – mezi tyto procesy patří například účinnost motoru a převodovky.
GHG	Greenhouse gas – skleníkové plyny



Obsah

1 Úvod.....	12
2 Zkoumané studie a vědecké články	15
2.1 Buchal (2019).....	16
2.1.1 Energetický mix.....	16
2.1.2 Okolnosti vzniku výsledků	17
2.1.2.1 Provoz automobilu se spalovacím motorem.....	18
2.1.2.2 Provoz elektrického automobilu	18
2.1.3 Výsledky.....	19
2.1.4 Porovnání.....	20
2.2 Volvo (2020).....	21
2.2.1 Vstupní data.....	21
2.2.2 Okolnosti zisku výsledků.....	22
2.2.3 Energetický mix.....	23
2.2.4 Výsledky.....	23
2.2.5 Porovnání.....	26
2.3 Yin Ren-shu a kolektiv (2018)	26
2.3.1 Vstupní data.....	27
2.3.2 Okolnosti zisku výsledků.....	27
2.3.3 Energetický mix.....	28
2.3.4 Výsledky.....	29
2.3.5 Porovnání.....	32
2.4 Yangtao Liu (2021)	33
2.4.1 Vstupní data.....	34
2.4.2 Okolnosti zisku výsledků.....	34
2.4.3 Výsledky.....	36
3 Grafické porovnání studií	41
4 Ztráty při nabíjení	43
4.1 Nabíjecí výkon.....	43



4.1.1 AC nabíječka do maximálního výkonu 3,7 kW	43
4.1.2 AC nabíječka do maximálního výkonu 11 kW	43
4.1.3 AC nabíječka do maximálního výkonu 22 kW	44
4.1.4 DC nabíječka do maximálního výkonu 50 kW	44
4.1.5 DC nabíječka do maximálního výkonu 150 kW	44
4.1.6 DC nabíječka s maximálním výkonem nad 150 kW	45
4.2 Stav nabití baterie.....	46
4.3 Studie a články zaměřené na ztráty při nabíjení BEV	47
4.3.1 Kostopoulos (2020).....	47
4.3.2 Apostolaki-Iosifidou (2017)	48
4.3.3 ADAC (2022)	51
4.3.4 Bjørn Nyland (2020).....	53
4.4 Nabíjecí ztráty v kontextu životního cyklu vozu	56
4.4.1 AC nabíjení 4+1	56
4.4.2 AC nabíjení 20 – 80 % SOC.....	57
4.4.3 AC nabíjení 0 – 100 % SOC.....	57
4.4.4 DC 50 kW nabíjení 20 - 80 % SOC	58
4.4.4.1 Stanovení ztrát při 50 kW DC nabíjení.....	58
4.4.5 3x AC + 1x DC 50 kW	60
5 Nástroj pro porovnávání vyprodukovaných emisí	62
5.1 Využití porovnávacího nástroje	62
5.2 Zdrojová data.....	62
5.2.1 Zdrojová data BEV	63
5.2.1.1 Spotřeba	64
5.2.1.2 Přírůstek spotřeby elektřiny z výroby a distribuce elektřiny.....	64
5.2.1.3 Ztráty při nabíjení vozu.....	65
5.2.1.4 Kapacita baterie.....	66
5.2.1.5 Náročnost výroby baterií.....	66
5.2.1.6 Energetický mix	67



5.2.2 Zdrojová data ICE.....	69
5.2.2.1 Spotřeba	70
5.2.2.2 Emise CO ₂ z výroby paliv	70
5.2.2.3 Emise CO ₂	72
5.3 Použité výpočty.....	72
5.3.1 Křivka BEV	73
5.3.1.1 Výroba baterie	73
5.3.1.2 Výroba vozidla BEV	73
5.3.1.3 Provoz vozidla BEV	74
5.3.2 Křivka ICE	75
5.3.2.1 Výroba vozidla ICE	76
5.3.2.2 Provoz vozidla ICE.....	76
5.3.3 Průsečík.....	77
5.4 Návod k obsluze porovnávacího nástroje	77
5.4.1 Panel BEV.....	78
5.4.2 Panel ICE	79
5.4.3 Výsledné grafické porovnání	81
5.4.4 Vstupní data pro výpočty.....	81
5.5 Volba vlastních parametrů	81
5.6 Porovnání s jinými studii	83
5.6.1 Green NCAP	83
5.6.2 Joanneum research (2019).....	93
5.6.3 Volvo (2020)	97
5.7 Příklady porovnání.....	102
5.7.1 Vliv velikosti baterie	102
5.7.2 Vliv energetického mixu v místě výroby baterie	103
5.7.3 Vliv náročnosti výroby baterie.....	104
5.7.4 Vliv energetických mixů v místě provozu	105
5.7.5 Vliv typu paliva.....	106



5.7.6 Vliv spotřeby	108
5.7.7 Vliv kombinace příznivých a nepříznivých faktorů	109
6 Závěr	112
7 Použitá literatura	113
8 Seznam obrázků.....	118
9 Seznam příloh	120
10 Přílohy.....	121



1 Úvod

Rozvoj elektromobility je do značné míry závislý na vývoji baterií, které vozidla využívají pro skladování energie. Typickými požadavky na inovace baterií jsou: zvýšení kapacity, snížení ceny, prodloužení životnosti, zrychlení nabíjení, optimalizace teplotního projevu či omezení vyprodukovaných emisí CO₂ z produkce baterií.

V oblasti vývoje baterií přichází celá řada zpráv, které hovoří o nových objevech, které zaručují skvělé výsledky v plnění výše uvedených požadavků. Často se však jedná o objevy, které jsou dosaženy laboratorními pokusy, popřípadě jsou ve fázi testování technologie.

Často se například mluví o solid-state¹ bateriích, které by měly přinést především zvýšení hustoty energie článků (380-500 Wh/kg), rychlejší možnosti nabíjení a díky tuhému elektrolytu i vyšší bezpečnost. Realitou však je, že probíhá stále vývoj této technologie. Existují funkční prototypy vozidel s takovými bateriemi, probíhá prototypová výroba pro různé testy a pracuje se především na zvětšení velikosti článků. Společnosti, které se vývojem těchto baterií zabývají (např. QuantumScape, Nissan), odhadují, že sériová výroba solid-state baterií přijde v období let 2024-2030.

Další technologií, která se objevuje jsou lithium-sírové baterie (Li-S), odhaduje se, že takové články jsou schopny mít ještě o 20 % vyšší kapacitu než solid-state baterie. Nicméně takové články jsou v současnosti stále podrobovány laboratorním testům a odborníci (např. z Drexel University), kteří pracují na vývoji těchto článků uvádí, že je čeká ještě 5-6 let vývoje.

Současné sériové výrobě článků dominují stále Li-ion technologie využívající kladné elektrody složené kombinací niklu, manganu, kobaltu (NMC). Společnost BASF má v roce 2022 uvést do sériové výroby složení NMC811². Zvyšování obsahu niklu v kladné elektrodě totiž vede ke zvýšení kapacity článků. To je spojeno také se snižováním obsahu kobaltu, kvůli jeho vysoké ceně. Obecným trendem je zvětšovat především velikost článků a snižovat tak množství a hmotnost neaktivního materiálu. Zvětšením článků také roste jejich hustota

¹ Baterie s tuhým elektrolytem

² Číslice charakterizují poměrné složení kladné elektrody. V tomto případě to znamená že na 8 dílů niklu, připadá 1 díl manganu a 1 díl kobaltu.



energie, která se běžně pohybuje v rozmezí 250-270 Wh/kg. Většina článků je typu pouch, což je konstrukce vhodnější především z důvodu nižšího vnitřního odporu, a tedy i tepelného projevu článku.

Společnost Tesla využívá složení kladné elektrody NCA (články vyráběné v USA společností Panasonic) popřípadě NCMA (články vyráběné společností LG Chem v Berlíně) – to znamená složení z niklu, kobaltu, hliníku a popřípadě manganu. I zde je trendem zvyšování obsahu niklu pro dosažení vyšší kapacity baterie.

Tesla navíc pracuje i na zdokonalení cylindrického článku – v roce 2020 představila nový článek s typovým označením 4680. Na začátku roku 2022 společnost informovala o vyrobení 1 milionu těchto článků ve své pilotní továrně v Kalifornii. Inovace spočívá ve zvětšení rozměrů a kapacity cylindrického článku a „tabless“³ konstrukci. Zvětšení článku přináší nižší podíl neaktivního materiálu v celé baterii (např. obaly článků). Mění se také podoba chlazení v baterii a je optimalizována také výroba článků, především formační procesy tvorby mezivrstvy elektrod. Spekuluje se o chemickém složení těchto článků, je pravděpodobné, že články z produkce společnosti Panasonic v Nevadě budou mít stále složení NCA a články z produkce berlínské továrny LG Chem budou mít složení NCMA.

Dalším rozšířeným typem jsou kladné elektrody složené z litno-železnatého fosfátu (LFP). LFP složení je v osobních automobilech využíváno především v Číně, ovšem tuto technologii složení článků využívají například výrobci autobusů či stacionárních uložišť. Výhodou baterií, založených na této technologii je vyšší životnost, vyšší bezpečnost (nemá sklony k hoření) a příznivější cena. Nevýhodou je nižší hustota energie článků, která se pohybuje 90-120 Wh/kg. LFP technologii plánuje rozvíjet i společnost Tesla v Číně, ve spolupráci se společností CATL mělo být dosaženo hustoty energie baterie až 200 Wh/kg. Taková

³ Tabless konstrukce v případě tohoto článku Tesla 4680 spočívá ve vynechání jednoho tzv. tabu, který v klasické konstrukci propojuje vnější kontakt záporné elektrody se samotnými vnitřními pláty záporné elektrody. Nyní jsou pláty záporné elektrody ve své dolní části děleny na zoubky, které jsou poté ohýbány a přímo napojeny na vnější kontakt záporné elektrody. Takové spojení využívá větší stykovou plochu na záporné elektrodě, což vede ke snížení vnitřního odporu. To znamená, že z článku je možné odebírat vyšší proud při nižším zahřívání článku.



hodnota se však již blíží limitům použitých materiálů na kladné elektrodě. Další inovace lze tedy spíše očekávat na snížení vnitřního odporu článků či úpravě záporné elektrody.

Obdobné charakteristiky platí pro LTO baterie využívající na kladné elektrodě oxid lithium-titanu. Jejich hustota energie článku je však nižší – pohybuje se v rozmezí 60-110 Wh/kg, ale naopak jejich životnost je vyšší. Tyto charakteristiky předurčují použití LTO baterií v prostředcích hromadné dopravy a ve stacionárních uložích.

V rámci Li-ion baterií se také pracuje na zdokonalení záporné elektrody. Inovace spočívá v tom, že do záporné elektrody, která je běžně grafitová, je přimícháván křemík, přičemž jeho podíl na elektrodě lze odhadovat řádově na 5-10 %. Kapacita křemíku je totiž řádově 10 x větší než v případě grafitu, takže taková inovace vede ke zvýšení kapacity záporné elektrody. Křemík však při nabíjecích a vybíjecích cyklech mění svůj objem, což vývoj takových záporných elektrod komplikuje.

Samostatnou, avšak neméně důležitou kapitolu problematiky baterií, představuje posuzování náročnosti výroby baterií a produkce emisí CO₂ z jejich výroby. Po provedení analýzy a rozboru celé řady článků a studií bylo zřejmé, že pouhé vyčíslení emisí, vyprodukovaných výrobou baterií má omezený význam, pokud není posouzeno v kontextu celkového životního cyklu vozidla.

Z tohoto důvodu byl vytvořen variabilní porovnávací nástroj umožňující širšímu okruhu zájemců porovnání životního cyklu zvoleného elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem.



2 Zkoumané studie a vědecké články

Uvedená kapitola obsahuje samostatné rozborů jednotlivých analyzovaných studií. Tyto rozborů rozšiřují seznam obdobně zpracovaných studií a článků, které byly uvedeny v mé bakalářské práci s názvem Emise CO₂ při výrobě baterií [1]. Celkový výčet takto zpracovaných studií je uveden v tab. 1 – rozbor posledních čtyřech studií je uveden v následujících kapitolách.

Tab. 1.: Celkový výčet studií s provedeným rozbořem

Název:	Autor:	Rok:	Původ:	Citace:
Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications	Q. Dai a kolektiv	2019	Argonne, USA	[2]
Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles	G. Majeau-Bettez a kolektiv	2011	NTNU (univerzita), Norsko	[3]
Material and Energy Flows in the Production of Cathode and Anode Materials for Lithium Ion Batteries	J.B. Dunn a kolektiv	2015	Argonne, USA	[4]
Life Cycle Analysis Summary for Automotive Lithiumion Battery Production and Recycling	J.B. Dunn a kolektiv	2016	Argonne, USA	[5]
Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis	H. C. Kim a kolektiv	2016	Ford (USA) a LG Chem (J. Korea)	[6]
Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen: Version 1.1	G. Jungmeier a kolektiv	2019	Joanneum research, Německo	[7]
The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries: A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles	M. Romare a kolektiv	2017	IVL, Švédsko	[8]
Kohleomotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO ₂ -Bilanz?	Ch. Buchal a kolektiv	2019	ifo Institut, Německo	[9]
Battery electric XC40 Recharge and the XC40 ICE: Carbon footprint report	A. Egeskog a kolektiv	2020	Sustainability Center, Volvo Cars, Švédsko	[10]
Life cycle assessment of the lithium titanate batteries used for electric vehicles	Y. Ren-shu a kolektiv	2018	CHINA ENVIRONMENTAL SCIENCE	[11]
Current and future lithium-ion battery manufacturing	L. Yangtao a kolektiv	2021	IScience	[12]



2.1 Buchal (2019)

Článek Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz? [9], porovnáva na základě oficiálních naměřených dat dvojici automobilů. Mercedes C220d s dieselovým motorem a Tesla Model 3 s elektrickým pohonem a s baterií o kapacitě 75 kWh. Oba vozy mají srovnatelnou velikost, patří do stejné třídy a jsou k nim k dispozici naměřené hodnoty potřebné pro vzájemné porovnání.

Hlavním parametrem porovnání je spotřeba nafty a spotřeba elektřiny.

2.1.1 Energetický mix

Je použit energetický mix Německa z roku 2018, který autoři stanovili takto:

- 52,6 % fosilní paliva
- 35,6 % obnovitelné zdroje
- 11,8 % jádro

Autoři píší, že jiné zdroje uvádí také 40 % energie z obnovitelných zdrojů, tohoto podílu je však dosaženo započítáváním výkonu přečerpávacích elektráren do obnovitelných zdrojů. V tomto článku však přečerpávací vodní elektrárny nebyly zařazeny do obnovitelných zdrojů, protože dle autorů nelze brát tyto elektrárny jako prostředek pro čištění energie.

Data ve studii nejsou počítána z instalovaného výkonu, ale ze spotřebované energie. To znamená energie, která je snížena o veškeré možné ztráty ve vedení. Spotřebovaná energie je také nižší nejméně o 50 TWh exportní energie z obnovitelných zdrojů, tedy energie, která není spotřebovávána v Německu. Celkově bylo v Německu v roce 2018 vyrobeno 642,4 TWh energie. Vyexportovaná energie z obnovitelných zdrojů, tedy může představovat více než 7,7 % celkové vyrobené energie.

Autoři dále uvádí tabulku, která obsahuje hodnoty kg CO₂ vztažené na vyprodukovaní kWh energie pro jednotlivé paliva.



Tab. 2.: Emisní faktory zdrojů energie, Buchal (2019)

Zdroj energie	Emise CO ₂ v kg/kWh
Hnědé uhlí	1,36
Černé uhlí	1,06
Zemní plyn	0,55
Minerální oleje	0,87
Organický odpad	0,85
Obnovitelné zdroje	0

Hodnoty uváděné v tab. 2 byly vypočteny na základě dat o celkovém objemu vyrobené elektřiny, emisních faktorech jednotlivých zdrojů, účinnosti elektráren (podíl získané energie vůči získanému teplu) a čisté spotřebě elektřiny. Ztráty ve vedení byly předpokládány jako shodné pro všechny typy zdrojů.

Průměrný energetický mix byl poté stanoven na 0,55 kg/kWh – z pohledu koncového uživatele energie. Jedná se o vypočtenou hodnotu založenou na datech z roku 2018.

2.1.2 Okolnosti vzniku výsledků

Při porovnávání automobilů byly spotřeby počítány z hodnot získaných dle cyklu NEDC, protože hodnoty dle tehdy nově zaváděného cyklu WLTP nebyly pro vůz Tesla k dispozici. Autoři podotýkají, že tato skutečnost je výhodná pro automobily s elektrickým pohonem, protože zkušební cyklus NEDC je ze značné části městský. Právě městské prostředí je pro elektromobily výhodnější než pro automobily se spalovacím motorem. Časté brždění je u elektromobilu výhodnější z pohledu rekuperace a také provoz v nízkých otáčkách nijak nezhoršuje účinnost elektromotoru. Pro automobil se spalovacím motorem je naopak nejvhodnější jízda ve vysokých rychlostech (například na dálnicích). Dálniční provoz se pak u elektromobilů často pojí s výraznější spotřebou energie.

Studie také upozorňuje, že základní dojezd automobilu Mercedes C220d je dvojnásobný oproti dojezdu automobilu Tesla Model 3.



2.1.2.1 Provoz automobilu se spalovacím motorem

Spotřeba vozu Mercedes s dieslovým motorem dle NEDC činila 4,5 l/100 km, produkce CO₂ 117 g/km. Byl však ještě připočítán také přírůstek CO₂ ze zpracování ropy (emise těžby, dopravy a zpracování). Tento přírůstek činil dalších 21 % - hodnota přírůstku byla stanovena na základě dodatku 1 zprávy Evropské komise s názvem Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context z roku 2014⁴.

K výrobcem udávané produkci CO₂ během jízdy, která činila 117 g/km byl tedy přičten ještě přírůstek ve výši 21 % a autoři studie dále počítali s produkcí CO₂ ve výši 141 g/km. Jako další možnost autoři zařadili provoz spalovacího motoru na zemní plyn, v takovém případě jsou emise z jízdy 76 g/km a při započtení odpovídajícího přírůstku z výroby a dopravy je produkce CO₂ ve výši 99 g/km.

2.1.2.2 Provoz elektrického automobilu

Dle metodiky NEDC spotřebuje posuzovaná Tesla 15 kWh/100 km podle údajů na nabíjecí stanici. Autoři však dále posuzují baterii elektromobilu, tedy náročnost její výroby z pohledu vyprodukovaných emisí. Přiklání se ke studii IVL (2017) [8] a používají hodnoty z této studie. Náročnost výroby baterií tedy činí 145-195 kg CO₂/kWh. To v případě Tesly se 75 kWh baterií znamená celkové emise z výroby baterie ve výši 10 875-14 625 kg CO₂. Autoři předpokládají roční nájezd 15 000 km a životnost 10 let. Pokud se tyto emise přepočítají na celkový nájezd, vyjde přírůstek o velikosti 73-98 g/km.

Předpokládá se však, že výroba BEV bez baterie je jednodušší než výroba vozu se spalovacím motorem. Autoři ale argumentují, že rozdíl by nebyl tak vysoký a v přepočtu na g/km by se jednalo o pouhé jednotky. Přidávají také úvahu, že tento rozdíl může vykompenzovat výhodnost NEDC cyklu pro elektromobil a neporovnatelný dojezd.

Výroba většího osobního automobilu, představuje produkci pohybující se okolo 8 tun CO₂. Z toho 4,9 tuny připadá na karoserii a 1,5 tuny na samotnou výrobu. Výroba motoru u dieslového vozu vyprodukuje 0,8 tuny a výroba elektromotoru 0,3 tuny CO₂. Výroba

⁴ Bohužel odkaz na dodatek 1 této zprávy je v roce 2022 nefunkční. Nicméně k dispozici jsou aktualizované verze této zprávy z roku 2020 [35], na jejímž základě hodnota přírůstku odpovídá.



zbylých komponent vytvoří 1,5 tuny CO₂ v případě elektromobilu a 1 tunu u auta s dieselovým motorem. I pokud by byla dieselová auta náročnější na výrobu o 2 tuny CO₂ oproti elektromobilu bez baterie, byl by při nájedzu 300 000 km celkový přírůstek přibližně 7 g/km.

Dalšími aspekty, které mohou promlouvat do celkové bilance, je také spotřeba energie na vytápění v chladném období či význam rekuperace. Tyto aspekty provozu elektrického vozu však autoři neřeší, protože na jejich posouzení chybějí spolehlivá data a mohou být také velmi individuální.

2.1.3 Výsledky

Výsledky této studie uvedené v tab. 3 jsou uváděny v jednotkách g/km. Předpokládaný nájezd činí 150 000 km.

Tab. 3.: Výsledné emise z provozu a výroby vozidla Tesla Model 3 dle způsobu výroby energie

Zdroj energie	Provoz vozu	Výroba baterie	Celková produkce:
Černé uhlí	159 g/km	73-98 g/km	232-257 g/km
Hnědé uhlí	204 g/km	73-98 g/km	277-302 g/km
Zemní plyn	83 g/km	73-98 g/km	156-181 g/km
Německý energetický mix	83 g/km	73-98 g/km	156-181 g/km

Vznětový motor produkuje 141 g/km a elektromobil v německém energetickém mixu pak 156 g/km. V tomto případě tedy elektromobil produkuje o 11 % více emisí než vznětový motor.

Přepočteme-li výsledky v g/km na absolutní čísla, dostáváme, že celkové vyprodukované emise pro BEV činí 23,4 – 27,2 t CO₂-eq, což je hodnota, ve které není započítána výroba vozidla (BEV bez baterie), protože studie předpokládá, že obě vozidla jsou výrobně přibližně rovnocenné. Z tohoto výsledku celkem 10,9 – 14,6 t CO₂-eq připadá na výrobu baterie.



2.1.4 Porovnání

V kontextu ostatních studií je možné tento výsledek pokládat spíše za horní odhad vyčíslení životního cyklu. Takto vysoké výsledné hodnoty jsou však způsobeny především těmito faktory:

- Vlastní výpočet energetického mixu Německa v roce 2018. Autoři počítali s mixem 550 g CO₂/kWh, přičemž většina dostupných zdrojů, (např. Our World in Data [13]) uvádí, že byl roven hodnotě 412 g CO₂/kWh. Naráží se zde na problematiku samotné metodiky výpočtu energetického mixu. Autoři této studie totiž spočítali mix na základě spotřebované energie na území Německa, tedy energetický mix z pohledu uživatele u zásuvky. Není tak zahrnuta exportovaná energie a jsou zde zahrnuty i ztráty v přenosové soustavě. Poté výsledný energetický mix vychází vyšší. Metodika výpočtu energetického mixu je však rozsáhlejší téma, kterému by bylo vhodné věnovat samostatnou práci a odborné posouzení.
- Odhad produkce emisí výroby baterie v jednotkách [kg CO₂/kWh]. Patrně je vhodnější vyčíslit energetickou náročnost baterie v jednotkách [MJ/kWh] a tuto hodnotu dále přepočítat dle aktuálního energetického mixu v místě výroby baterie. Nicméně výsledky studie 10,9 – 14,6 t CO₂-eq odpovídají hornímu odhadu náročnosti výroby baterie v Polsku či v Číně.
- Ve studii nejsou uvažovány nabíjecí ztráty BEV.
- Spotřeby vycházejí z NEDC cyklu jsou ve většině případů vzdálenější od reality než hodnoty zjištěné z WLTP cyklu.
- Přepočet veškerých výsledků na jednotku [g/km] je platný pouze na uvažovaném nájezdu 150 000 km. Pro jakýkoliv jiný nájezd je nutné hodnoty přepočítat (především hodnoty vyprodukovaných emisí z výroby baterie). Závěr autorů, že BEV produkuje o 11 % více emisí na km je pravdivý, ale platný pouze při uvažování nájezdu 150 000 km. Pokud by byl nájezd vyšší, například 240 000 km, budou emise BEV v jednotkách [g/km] nižší než u ICE. Pro bilancování životního cyklu automobilu,



je vhodnější grafické zobrazení, kde emise z výroby vozu a baterie představují posun křivky spotřeby.

2.2 Volvo (2020)

Analýza Carbon footprint report, Battery electric XC40 Recharge and the XC40 ICE [10] je publikována přímo automobilkou Volvo. Byla vytvořena zaměstnanci společnosti Volvo a Polestar ve spolupráci s organizací IVL.

Tato práce porovnává dvě karosářsky identická vozidla s rozdílným pohonem z hlediska celkových vyprodukovaných emisí CO₂. Jedno z vozidel je plně elektrické a druhé je vybaveno spalovacím motorem.

Autoři použili mezinárodní databázi o materiálovém složení nejrůznějších součástí IMDS (International material data system), dále Ecoinvent 3.6, GaBi a interní data společnosti Volvo Cars. Výroba modulů baterie byla analyzována zvlášť za spolupráce dodavatelů těchto modelů a společnosti Polestar. Model celého procesu byl vytvořen v nástroji GaBi-DFX od společnosti Sphera.

Dodavatelé modulů baterie jsou společnosti CATL a LG Chem. Dle neoficiálních informací jsou moduly CATL používány pouze pro čínský trh a moduly LG Chem pro zbytek světa.

2.2.1 Vstupní data

Studie byla realizována na baterii, jejíž parametry jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 4).



Tab. 4.: Vstupní data studie Volvo (2020)

Materiál elektrody:	NMC622 ⁵
Kapacita baterie:	78 kWh
Váha modulů:	350 kg
Hustota energie:	- kWh/kg ⁶
Počet článků:	324 ⁷
Počet modulů:	27
Podoba obalu článků:	Pouch

2.2.2 Okolnosti zisku výsledků

Ve studii je uplatněn princip zkoumání „cradle-to-grave“. Na počátku jsou uvažovány panenské nezpracované materiály a na konci životního cyklu vozu je uvažována také likvidace automobilu a nakládání s odpadem. Data, která reprezentují zisk panenských materiálů a jejich následné zpracování odpovídají celosvětovým průměrům tak, aby studie byla obecně platná a nebyla závislá pouze na určitých specifických regionech.

Ve studii nebyly použity žádné kompenzace spotřebované energie, jako například zisk energie spalováním odpadu, která by se pak odečítala se spotřebou energie využitou ve výrobním procesu.

Hlavní cíl studie je vyjádření konečné sumy CO₂-eq v tunách za celý životní cyklus vozu. Tento životní cyklus je stanoven jako ekvivalent nájezdu 240 000 km.

Samotná baterie nebyla analyzována jako jeden celek, ale byla rozdělena na moduly a zbylé části (kryt, chladicí systém, kabeláž apod.). Moduly byly vyčísleny zvlášť a zbylé součásti baterie lze vyčíst z procentuálního vyjádření v kapitole „Produkce materiálů a jejich zpracování“. Celkový přírůstek CO₂ pouze z baterie lze tedy stanovit přepočtem výsledků.

⁵ Technologie elektrod není potvrzená, výrobce ji nikde neudává. Nicméně byla odhadnuta na základě dodavatelů, technických dat a konstrukčních podobností v porovnání se známými řešeními použitými jinými značkami.

⁶ Není známa celková hmotnost baterie.

⁷ Stanoveno na základě informací o automobilu Polestar 2, který používá zcela identickou baterii.



Provedení studie odpovídá platné normě ISO o provedení studií životních cyklů.⁸

Autoři popisují, že studie byla provedena konzervativním přístupem tak, aby nebyl podceněn dopad neznámých údajů na výsledky.

2.2.3 Energetický mix

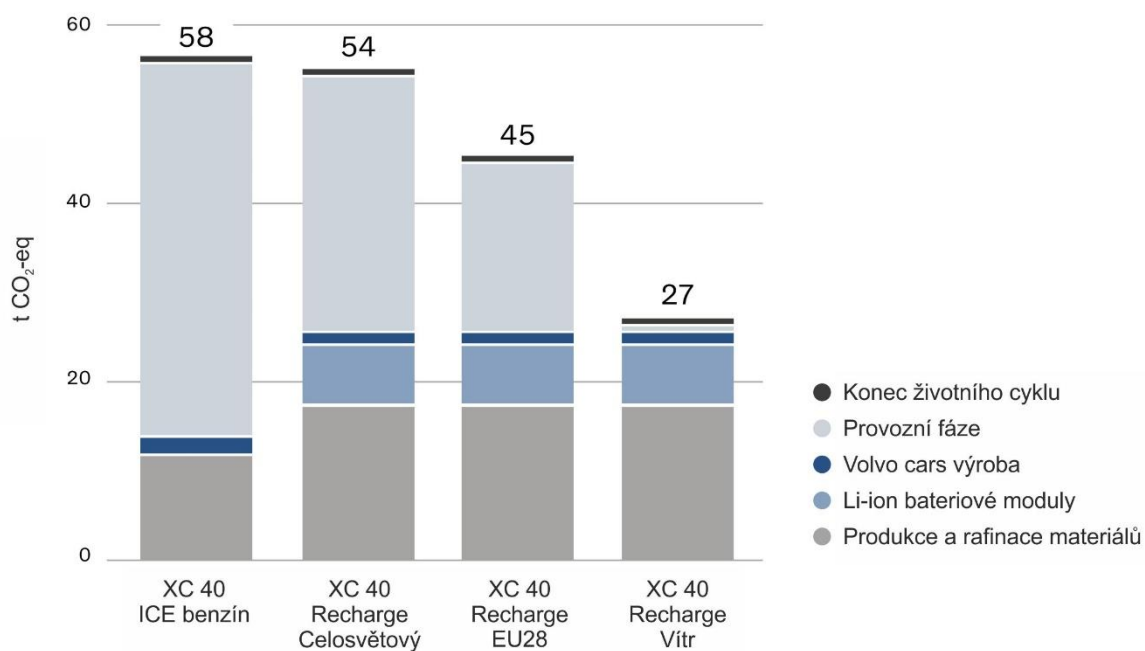
Energetický mix byl stanoven dle jednotlivých dílčích dat pro jednotlivé materiály v databázích a tam, kde model GaBi umožňoval volbu (pouze pár dílčích výpočtů) byl zvolen vlastní energetický mix, který byl vypočten proporcionálně dle produkce vozidel společností Volvo v různých částech světa. Výsledné složení energetického mixu tedy bylo tvořeno z 69 % EU-28, 26 % čínského a 5 % USA.

Pro provozní fázi vozidla byly vypočteny tři možnosti – první představovala celosvětový energetický mix, druhá energetický mix EU-28 a třetí energetický mix tvořený pouze větrnými elektrárnami.

2.2.4 Výsledky

Výsledky uvedené v následující tabulce (Tab. 5), na obr. 1 a obr. 2 představují stěžejní část studie a jedná se v podstatě o jediné konkrétní číselné hodnoty, které studie prezentuje jak grafickou formou, tak v tabulkách. Jednotlivé kroky, jak bylo těchto výsledků dosaženo nejsou k dispozici.

⁸ ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines a ISO 14040:2006“Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework”



Obr. 1 - Grafická prezentace výsledků pro různé energetické mixy, studie Volvo (2020) [10] - přeloženo

Tab. 5.: Výsledná data studie Volvo (2020)

Celková produkce GHG XC 40 ICE:	58 t
Celk. prod. GHG XC 40 Recharge (celosvětový energ. mix):	54 t
Celk. prod. GHG XC 40 Recharge (EU-28 energ. mix):	45 t
Celk. prod. GHG XC 40 Recharge (energ. mix větrných elekt.):	27 t
Průsečík ICE s BEV (celosvětový energ. mix):	146 000 km
Průsečík ICE s BEV (EU-28 energ. mix):	84 000 km
Průsečík ICE s BEV (energ. mix větrných elekt.):	47 000 km

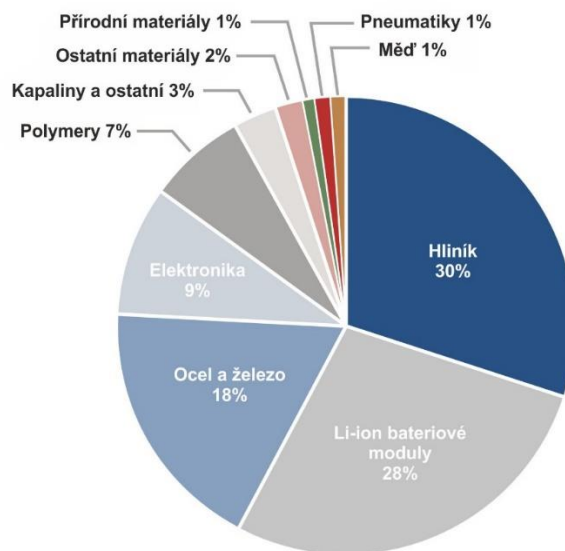


Typ vozu	Výroba a rafinace materiálů	Li-ion bateriové moduly	Volvo Cars Výroba	Emise z provozu	Likvidace	Celkem
XC 40 ICE benzín	14	-	2,1	41	0,6	58
XC 40 Recharge Celosvětový	17	7	1,4	28	0,5	54
XC 40 Recharge EU-28	17	7	1,4	18	0,5	45
XC 40 Recharge Vítr	17	7	1,4	0,4	0,5	27

Obr. 2 - Vyčíslení výsledků studie Volvo (2020) [10] - přeloženo

Výroba samotných modulů baterie vyprodukovala dle výsledků studie 7 t CO₂-eq. Takový výsledek je dále možný využít pro přepočítání na porovnatelnou jednotku, kterou je kg CO₂-eq/kWh. Jelikož kapacita baterie je 78 kWh celkový přepočítání činí 89,74 kg CO₂-eq/kWh jak dokládá výpočet (1).

$$\frac{(7 \cdot 1000)}{78} = 89,74 \text{ kg CO}_2 - \text{eq/kWh} \quad (1)$$



Obr. 3 - Procentuální podíly jednotlivých materiálů na vyprodukovaných emisích v produkční fázi výroby automobilu [10] - přeloženo



2.2.5 Porovnání

Výsledky analýzy životního cyklu vozidel Volvo byly využity pro přímé srovnání s výpočty porovnávacího nástroje. Podrobný rozbor tohoto srovnání je uveden v kapitole 5.6.3.

2.3 Yin Ren-shu a kolektiv (2018)

Studie Life cycle assessment of the lithium titanate batteries used for electric vehicles [11] je zaměřena na analýzu LTO baterií. Jedná se o jedinou dohledatelnou studii zaměřenou na LTO baterie.

Zkratka LTO má význam „lithium-titanate oxide“ což lze přeložit jako oxid lithium-titanu, tento oxid je v nanokrystalické podobě použitý na povrchu anody. V podstatě nahrazuje uhlík v klasickém Li-ion článku. Výhodou těchto baterií je, že nabíjecí cykly mají v řádech desetitisíců a mají tedy velkou životnost.

Mezi další výhody patří vysoké nabíjecí a vybíjecí rychlosti řádově 1 – 10 C bez negativního vlivu na životnost. LTO technologie je také bezpečnější z hlediska mechanického poškození a požáru. Ve srovnání s jinými technologiemi jsou také vhodnější do nízkých teplot (až okolo -30 °C).

Nevýhodou těchto baterií je nižší měrná hustota energie baterií, která se pohybuje v rozmezí 60-110 Wh/kg, což při srovnatelné kapacitě znamená větší hmotnost a rozměry baterie oproti klasickým Li-ion bateriím.

Autoři vytvořili model, který řeší výrobu baterie, primární životní cyklus baterie, úpravu baterie na energetické uložení a následný sekundární životní cyklus a v závěru také recyklaci. LTO baterie jsou charakteristické svojí nižší energetickou hustotou a vysokou životností. Proto jsou vhodné pro sekundární využití v případných bateriových uloženích.

Studie sleduje celkem tři hlavní výsledné parametry:

CED (cumulative energy demand) – celkovou spotřebovanou energii [MJ]

GWP (global warming potential) – potenciál globálního oteplování [kg CO₂-eq]

ADP (abiotic depletion potential for elements) – potenciál vyčerpání prvků [kg Sbeq]



2.3.1 Vstupní data

Byla vybrána baterie LTO pro čistě elektrický autobus o délce 12 m, což je segment, který tvoří dominantní pozici na čínském trhu. Výrobce baterie je největší čínský dodavatel LTO baterií pro elektrické autobusy z roku 2016 (konkrétně není tento výrobce jmenován).

Životnost LTO baterie není jednoduché určit, pro účely studie byla stanovena dle literatury na 10 000 cyklů, než se kapacita baterie sníží na 80 %.

Předpokládá se, že veškeré neupravené suroviny jsou přepravovány průměrně 184 km po silnici. Zemní plyn je transportován pomocí potrubí na vzdálenost 615 km.

Kusovník složení baterie je přepočítán pro 1 kWh LTO baterii. Kvůli nedostatku aktuálních dat o přesném složení modulů a systémových částí baterie autoři údaj hustoty energie baterie dopočítli. Přehled parametrů baterie je uveden v tab. 6.

Tab. 6.: Vstupní data studie Yin Ren-shu (2018)

Materiál katody:	NMC
Materiál anody:	LTO
Kapacita baterie:	81 kWh
Váha baterie:	1890 kg
Označení baterie:	GTQ6129BEVBT8
Celková váha autobusu:	13 000 kg
Dojezd čistě na elektřinu:	152 km
Hustota energie článku:	0,06 kWh/kg
Hustota energie baterie (dopočteno):	0,0429 kWh/kg

2.3.2 Okolnosti zisku výsledků

Podmínky pro vstup do první výrobní fáze byly tzv. „raw materials“ – tedy nezpracované materiály ve vytěžené podobě.



Data o produkci materiálů, které jsou potřeba pro výrobu baterie, pocházejí z výzkumu Basic Database of commonly used lithium battery materials in China, který realizoval stejný tým jako tuto studii.

Primární životní cyklus tvoří provoz autobusu v daném režimu. Tento režim předpokládá, provoz 347 dní v roce, provoz 8 hodin denně s nájezdem 130 km (udávaný dojezd 152 km). Autobus je nabíjen 1x denně. Celková ujetá vzdálenost v této fázi je 360 000 km, přičemž baterie absolvuje 2776 nabíjecích cyklů. Nabíjecí a vybíjecí účinnost baterie je 0,9.

Úprava baterie na bateriové úložiště energie zahrnuje odstranění původního pláště baterie a výrobu nové skladovací konstrukce. Původní moduly baterie a BMS lze po úpravě nadále použít.

Sekundární životní cyklus reprezentuje využití baterie v systému pro uchovávání energie, který vypomáhá přenosové síti při vyrovnávání špiček. Předpoklad je nabití a vybití 1x denně. Účinnost nabíjení a vybíjení 0,9. Hloubka nabití a vybití baterie 80 %. Baterie je vyřazena, jakmile její kapacita dosáhne 50% počáteční hodnoty. Celkem baterie dosáhla 22 224 cyklů (nabití a vybití) přičemž poskytla 936 000 kWh energie při ztrátách 104 000 kWh (ztráty na vnitřním odporu baterie a účinnosti nabíjení a vybíjení). To představuje účinnost 0,9.

Recyklace baterie je pouze odhadnuta, jelikož v době vypracování studie nebyla známa žádná realizace recyklace LTO baterií. Odhad byl založen na tom, že katodovým materiálem je NCM, na nějž již byla zpracována řada studií.

V závěru autoři provedli citlivostní studii, kdy jako nejzásadnější parametr vyhodnotili účinnost nabíjení a vybíjení. Další v pořadí byl pak energetický mix.

2.3.3 Energetický mix

Autoři používali čínský energetický mix, který však ve studii není číselně uveden. Byla použita průměrná hodnota z databáze CLCD. Autoři však upozorňují, že vzhledem k rozloze Číny, a tedy několika rozvodným sítím, se mohou energetické mixy jednotlivých regionů odlišovat.



Autoři uvádí, že ve střednědobém a dlouhodobém horizontu v Číně klesá podíl fosilních zdrojů na výrobě elektrické energie a jeho vliv na celkové emise bude klesat.

V kontextu studie, která počítá se sekundárním životním cyklem baterie jako bateriovým uložištěm, není přírůstek na celkových emisích z energetického mixu tak výrazný, protože figuruje jen v primárním životním cyklu. Tam je s energetickým mixem počítáno v rámci spotřeby autobusu. V sekundárním životním cyklu (bateriové uložiště) je vyčíslen přírůstek celkových emisí CO₂ už pouze na základě ztrát bateriového uložiště z nabíjení a vybíjení.

2.3.4 Výsledky

Výsledky studie týkající se pouze výroby baterie jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 7). V samotné studii se výsledky uvádí pouze v jednotkách kWh/kWh, tato hodnota tedy byla přepočtena dle vztahu (2) na porovnatelnou jednotku MJ/kWh při platnosti 1kWh = 3,6 MJ.

$$16,4 * 3,6 = 59,04 \text{ MJ/kWh} \quad (2)$$

Taková hodnota je velmi malá, je otázkou, jaký je přesně význam tohoto výsledku. Že se nejedná o celkovou náročnost výroby celé baterie nasvědčuje i výsledek vyprodukovaných emisí CO₂ z výroby baterie. Bohužel ve studii není detailnější komentář k této hodnotě.

Tab. 7.: Výrobní fáze baterie - výsledky studie Yin Ren-shu (2018)

Celková produkce CO ₂ při výrobě baterií:	442 kg CO ₂ -eq/kWh
Celková produkce CO ₂ při výrobě článku:	386 kg CO ₂ -eq/kWh
Celková spotřebovaná elektřina na výrobu baterie:	59,04 MJ/kWh

Další výsledky jsou připojeny v tabulce číslo 8. Tyto hodnoty reprezentují primární životní cyklus, tedy provoz jako autobus.

Tab. 8.: Ztráty energie v důsledku používání baterie v autobusu během 1. fáze - výsledky studie Yin Ren-shu (2018)

Celková spotřeba energie:	1,95*10 ⁵ kWh
Ztráty energie z účinnosti nabíjení a vybíjení:	1,92*10 ⁴ kWh
Ztráty energie z hmotnosti baterie ⁹ :	1,41*10 ⁴ kWh

⁹ Tyto ztráty jsou vyčísleny jako spotřeba energie vozidlem na to, aby vozilo hmotu baterií.

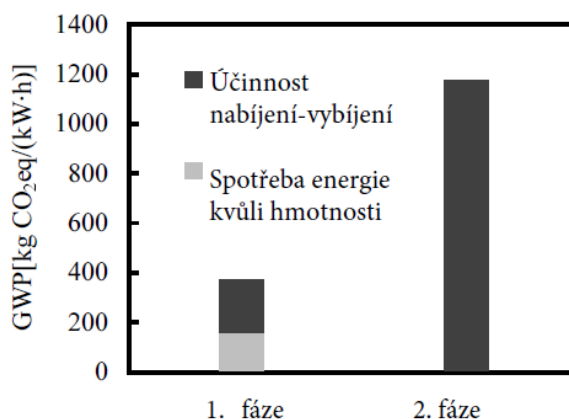


Výsledky úpravy na bateriové uložení energie (2. fáze životního cyklu) jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9.: Energie spotřebovaná na úpravu baterie na bateriové uložení – výsledky studie Yin Ren-shu (2018)

Celková spotřebovaná elektřina na úpravu baterie:	2,27 kWh/kWh
---	--------------

V 2. fázi životního cyklu jako bateriové uložení energie dosáhla celkem 22 224 cyklů (nabití a vybití) přičemž poskytla 936 000 kWh energie při ztrátách 104 000 kWh (ztráty na vnitřním odporu baterie a účinnosti nabíjení a vybíjení). Tyto ztráty byly spolu se ztrátami z účinnosti nabíjení přepočteny na vyprodukované emise – obr. 4.



Obr. 4 - Produkce CO₂ během 1. a 2. fáze životního cyklu v jednotkách kg CO₂-eq/kWh [11] - přeloženo

Při recyklaci bylo spotřebováno následující množství energie – uvedeno v tab. 10:

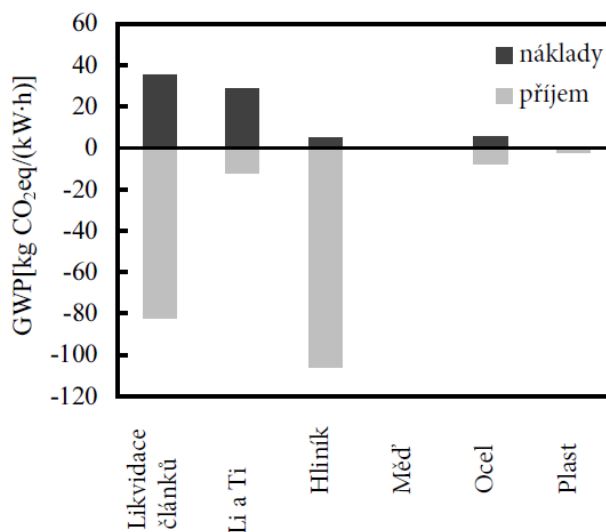
Tab. 10.: Spotřebovaná energie při recyklaci

Celková spotřebovaná elektřina na recyklaci:	8,84 kWh/kWh
Celková spotřeba zemního plynu na recyklaci:	0,3943 Nm ³

Energie, která byla recyklací ušetřena, byla od celkové sumy emisí CO₂ odečítána. Například recyklace hliníku je z energetického hlediska výhodná, protože zpracování primárního hliníku je mnohem náročnější na produkci emisí CO₂ než recyklace. Naproti tomu, například



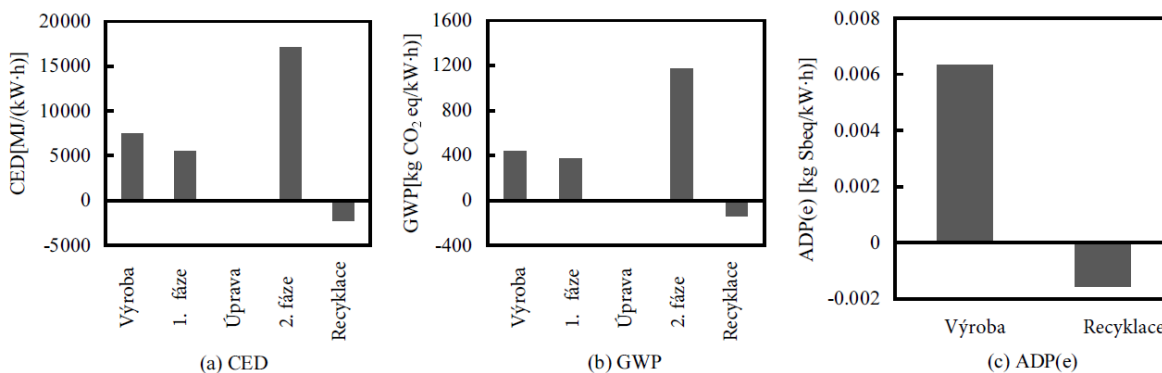
energie vynaložená na recyklaci titanu a lithia je vyšší než výroba z primárních surovin. Vyčíslení emisí zachycuje graf na obr. 5.



Obr. 5 - Produkce CO₂ různých procesů ve fázi recyklace [11] - přeloženo

Celkové výsledky v grafické podobě jsou zobrazeny na obr. 6. Význam jednotlivých značek je následující:

- CED (cumulative energy demand) – celková spotřebovaná energie [MJ]
- GWP (global warming potential) – potenciál globálního oteplování [kg CO₂-eq]
- ADP (abiotic depletion potential for elements) – potenciál vyčerpání prvků [kg Sbeq]

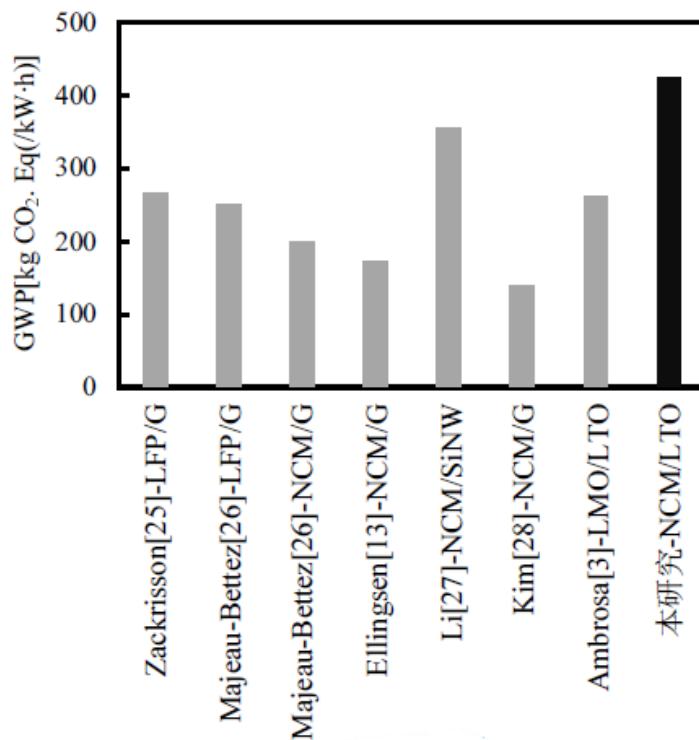


Obr. 6 - Celkové výsledky studie v přepočtu na kWh baterie [11] - přeloženo



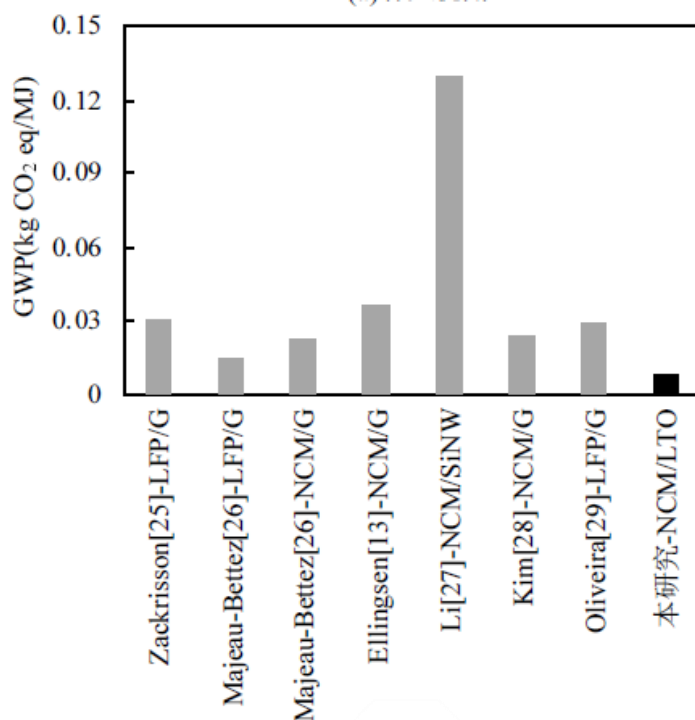
2.3.5 Porovnání

LTO baterie mají nízkou hustotu energie, proto pro dosažení stejné kapacity jako u ostatních technologií, je potřeba více „materiálu“, který je třeba vyrobit, čímž stoupá produkce CO₂. V porovnání se studii, které byly zaměřeny na jiné typy baterií, je emisní náročnost LTO baterie nejvyšší – obr. 7.



Obr. 7 - Porovnání produkce emisí v jednotkách kg CO₂-eq/kWh s dalšími studii s odlišnými technologiemi baterií [11]

Je však také vhodné porovnávat životnost baterií – obr. 8. Tato životnost je reprezentována uvolněnými MJ energie. Z tohoto pohledu je použití LTO baterií velmi výhodné právě díky jejich vysoké životnosti.



Obr. 8 - Porovnání uvolněné energie v rámci životního cyklu [11]

2.4 Yangtao Liu (2021)

Studie Current and future lithium-ion battery Manufacturing [12] zpracovává odlišný pohled na výrobu baterií než většina ostatních studií. Autoři analyzují samotný výrobní proces baterií, a nikoliv tolik samotnou baterii.

Ačkoliv mají jednotlivé modely baterií různé složení a konstrukci, jejich výrobní procesy jsou velmi podobné. Studie uvádí, že ačkoliv je vývoj samotných článků velmi rychlý, zefektivnění výrobních postupů už taková pozornost věnována není. Přitom optimalizace výrobních procesů by také mohla přinést výrazný pozitivní dopad na celkovou bilanci výroby baterií. Z tohoto důvodu studie hodnotí jednotlivé fáze výroby podle těchto kritérií:

- Náklady
- Spotřeba energie
- Propustnost výroby



Na základě takové analýzy autoři přistupují k představení nových technologií pro výrobu baterií a jejich možný dopad na výše uvedená 3 kritéria. Předpovídají, že Li-ion baterie budou s největší pravděpodobností dominovat trhu ještě minimálně dalších 10 let a je tedy vhodné, aby i výrobní procesy prošly inovacemi. Právě výroba tvoří přibližně 25 % výsledné ceny baterie.

Základní typy článků – jejich výrobci (uživatelé):

- Cylindrické – Panasonic (Tesla)
- Pouch – LG Chem, A123 Systems, SK Innovation
- Prismatické – Samsung SDI, CATL

2.4.1 Vstupní data

Jelikož se ukázalo, že data o spotřebě energie jsou převzata z jiné studie (Yuan et al. 2017 [14]), jsou uvedeny přímo kompletní parametry ze zdrojové studie v tabulce níže (tab. 11). Jedinou dopočtenou hodnotu představuje hustota energie baterie.

Tab. 11.: Vstupní data studie Chris Yuan (2017)

Materiál elektrody:	LMO
Kapacita baterie:	24 kWh
Váha celé baterie:	221.6 kg
Váha článků:	166,6 kg
Váha chladičového systému baterie:	8,9 kg
Váha BMS baterie:	8,5 kg
Váha obalu baterie:	37,6 kg
Hustota energie (dopočteno):	0,108 kWh/kg
Článků v baterii:	192

2.4.2 Okolnosti zisku výsledků

Výsledná tabulka obsahuje kromě nákladů a parametrů prostupnosti také vyčíslení potřebné energie na výrobu jednoho článku.



Náklady a prostupnost byly založeny na modelu BatPac (Argonne) pro 67 Ah NMC622 grafitový článek při uvažování roční produkce 100 000 baterií pro elektrická vozidla (vyčíslení uvažovaného počtu článků v jedné baterii zde bohužel není uvedeno).

Vyčíslení energetické náročnosti je založeno na analýze 32 Ah LMO článku v pilotním výrobním procesu společnosti Johnson Control Inc. (Yuan et al. 2017 [14]). Jelikož šlo o pilotní proces, autoři upozorňují, že výsledky se nemusí shodovat s průmyslovou výrobou.

Autoři dělí proces výroby na tyto body:

- a) Míchání kaše
- b) Potahování
- c) Sušení
- d) Regenerace rozpouštědla
- e) Kalandrování
- f) Řezání
- g) Vakuové sušení
- h) Tvarová příprava pro prismatické či cylindrické články
- i) Svařování
- j) Balení
- k) Plnění elektrolytem
- l) Stárnutí

Tyto kroky lze pak shrnout do několika bodů:

- Příprava elektrod
- Sestavení článku
- Elektrochemická aktivace baterie

Tento proces je znázorněn na obr. 9.



Obr. 9 - Schéma výrobního procesu Lithium-iontových baterií [12] - přeloženo

2.4.3 Výsledky

Tabulka výsledků studie (obr. 10) je z pohledu této práce zajímavá především kvůli vyčíslení energie, která je potřebná na výrobu jednoho článku. Jednalo se o články z 24 kWh LMO baterie, která obsahovala 192 článků s jmenovitým napětím 3,85 V a kapacitou 32 Ah. Z těchto údajů je možné vypočítat kapacitu jednoho článku podle vztahu (3), tak abychom poté získali porovnatelnou hodnotu v jednotkách MJ/kWh.

$$\frac{3,85 \cdot 32}{1000} = 0,1232 \text{ kWh} \quad (3)$$



Výrobní procesy	Roční náklady/\$ (Nelson et al., 2019)	Podíl %	Prostupnost (Heimes et al., 2019a)	Výrobní procesy	Spotřeba energie na článek/kWh	Podíl %
Míchání kaše	7,396,000	7.91%	30 min–5 h	Míchání kaše	0.11	0.83%
Potahování/sušení	13,984,000	14.96%	35–80 m/min	Potahování	0.18	1.36%
Reg. rozpouštědla	4,296,000	4.60%	NA	Sušení / Regenerace rozpouštědla	6.22	46.84%
Kalandrování	4,849,000	5.19%	60–100 m/min	Kalandrování	0.38	2.86%
Řezání	2,891,000	3.09%	80–150 m/min	Řezání	0.71	5.35%
Vakuové sušení	2,990,000	3.20%	12–30 h	Vrstvení	0.77	5.80%
Vrstvení	8,086,000	8.65%	NA	Svařování	0.25	1.88%
Svařování	6,864,000	7.34%	NA	Uzavírání	0.69	5.20%
Uzavírání	11,636,000	12.45%	Závislost na typu článku	Formování /Stárnutí	0.07	0.53%
Formování/Stárnutí	30,482,750	32.61%	Až 1,5-3 týdny	Dry room	3.9	29.37%

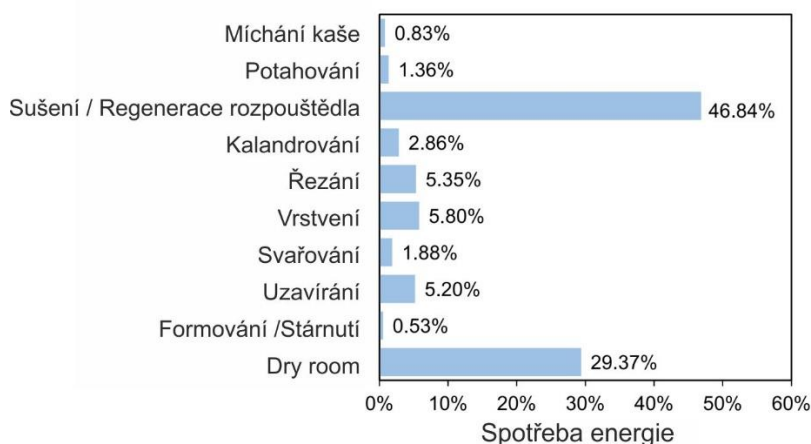
Obr. 10 - Přehledová tabulka obsahující ceny, prostupnost a spotřebu energie jednotlivých výrobních procesů Lithium-iontové baterie [12] - přeloženo

Celková suma spotřeby energie pro výrobu jednoho článku v tabulce činí 13,28 kWh. Tuto spotřebovanou energii lze přepočítat na MJ dle vztahu (4).

$$13,28 \cdot 3,6 = 47 \text{ MJ/článek} \quad (4)$$

Celkový počet článků baterie je 192 přičemž kapacita baterie je 24 kWh. Přepočtem dle vztahu (5) dostáváme tedy porovnatelnou hodnotu v MJ/kWh pro články.

$$\frac{47 \cdot 192}{24} = 376 \text{ MJ/kWh} \quad (5)$$



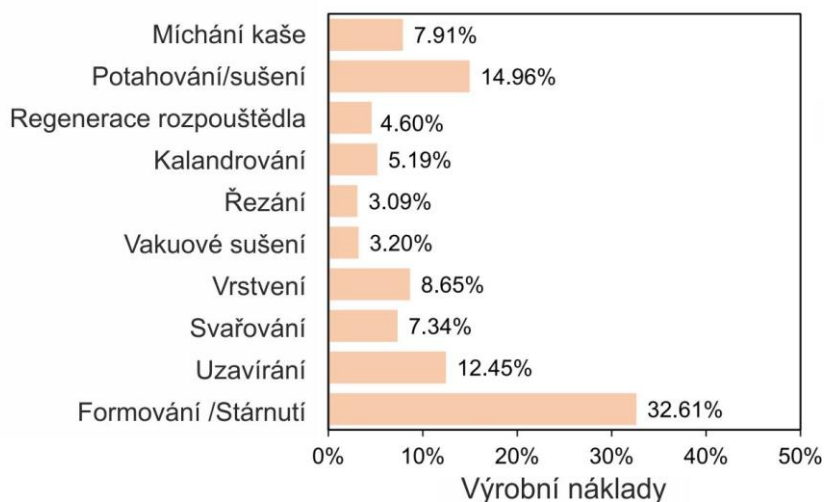
Obr. 11 - Procentuální porovnání spotřeby energie jednotlivými výrobními procesy Li-ion baterie [12] - přeloženo

Na výsledcích lze vidět, že nejvíce energeticky náročné jsou body c) sušení a d) regenerace rozpouštědla, tyto procesy tvoří téměř 47 % celkové spotřeby energie (obr. 11).



Regenerace organického rozpouštědla MNP probíhá z důvodu jeho vysoké ceny a značné toxicity. Proces je založen na principu destilace a kondenzace, teplota varu MNP je 202 °C. Dále má značnou náročnost také provozování tzv. Dry room, což je prostředí montáže článků, kde jsou přísné nároky na nízkou vlhkost vzduchu. Jeho vysušování pak tvoří téměř 30 % spotřebované energie.

Výše zmíněné procesy tvoří také značnou část ceny článků (téměř 20 %), přičemž finančně nákladný je také proces I) stárnutí, který sám tvoří téměř 33 % nákladů na výrobu článků. To především kvůli časové náročnosti tohoto procesu. Procentuální podíl výrobních procesů na výrobních nákladech je na obr. 12.



Obr. 12 - Procentuální porovnání nákladů na jednotlivé výrobní procesy Li-ion baterie [12] - přeloženo

Je patrné, že především zlepšení těchto nejvýraznějších procesů může významně snížit produkci CO₂ při výrobě článků.

Společnost PPG Inc. Testovala možnosti nahrazení organického rozpouštědla, rozpouštědlem na vodní bázi. Rozpouštědlo na vodní bázi není nutné regenerovat a je také levnější. Avšak většina materiálů katod je velmi citlivá na vodu. Kontakt katody s vodou může způsobit vážnou degradaci struktury a tvorbu alkalických sloučenin lithia, které poté mohou korodovat hliníkový kolektor na katodě. Experimentovalo se s přidáním kyseliny fosforečné, která by korozi zabránila, nicméně výsledná kapacita není srovnatelná



s elektrodou na bázi organického rozpouštědla. Kapacita a stabilita článku jsou však klíčové vlastnosti článku, které není možné obětovat.

Možná cesta, jak se vyhnout použití rozpouštědla, je zvolit jinou technologii potahování elektrody. Jedná se například o metody laminování, speciální nástřik a následné vypečení ve válcích. Tyto metody by mohly vést také ke zlepšení vlastností samotných elektrod. Je zde potenciál toho, že by těmito postupy bylo možné dělat elektrody tlustší pro zvýšení kapacity. Při použití organického rozpouštědla je zvyšování tloušťky elektrod problematické, protože dochází k problémům při následném sušení. Tyto technologie se označují jako „metody suchých elektrod“ (není nutné sušení) a zabývala se jimi například společnost Maxwell Technologies Inc., kterou v roce 2019 koupila společnost Tesla.

Sušení úzce souvisí s metodou potahování, proto je nutné změnit tyto procesy společně. V dnešní době se běžně suší vzduchem. Potenciál pro větší efektivitu by mohl být například v sušení vláknovým laserem, který by proces urychlil a potřebná energie by mohla klesnout až o polovinu.

Proces stárnutí je velmi nákladný (téměř 33 % ceny) protože trvá až tři týdny. Jakékoliv urychlení je zde žádoucí. Řešením může být zvýšení nabíjecí a vybíjecí rychlosti, ale tato rychlost velmi ovlivňuje kvalitu tvorby filmu na povrchu elektrody. Pokud se tento film nevytvoří správně může to mít významný vliv na výkonnost a bezpečnost celé baterie.

Pro technologii NMC je potenciál proces zrychlit na pouhých 14 hodin oproti dnešnímu¹⁰ stavu (8,5x zrychlení).

Potenciál pro zlepšení baterie je také ve zvětšení velikosti jednotlivých článků. Použití větších článků se pojí s menším množstvím hluché hmotnosti (obslužné komponenty článků, které nemají žádnou kapacitu ke skladování energie).

Výzkum solid-state baterií (baterie s pevným elektrolytem) by měl myslet také na jejich výrobní technologii a hledat tu nejperspektivnější už nyní. Hlavní výhodou těchto baterií je

¹⁰ Práce byla vydána v roce 2021.



jejich bezpečnost. Na rozdíl od baterií s klasickým elektrolytem, u kterých při poškození baterie hrozí riziko zkratu a následného požáru.

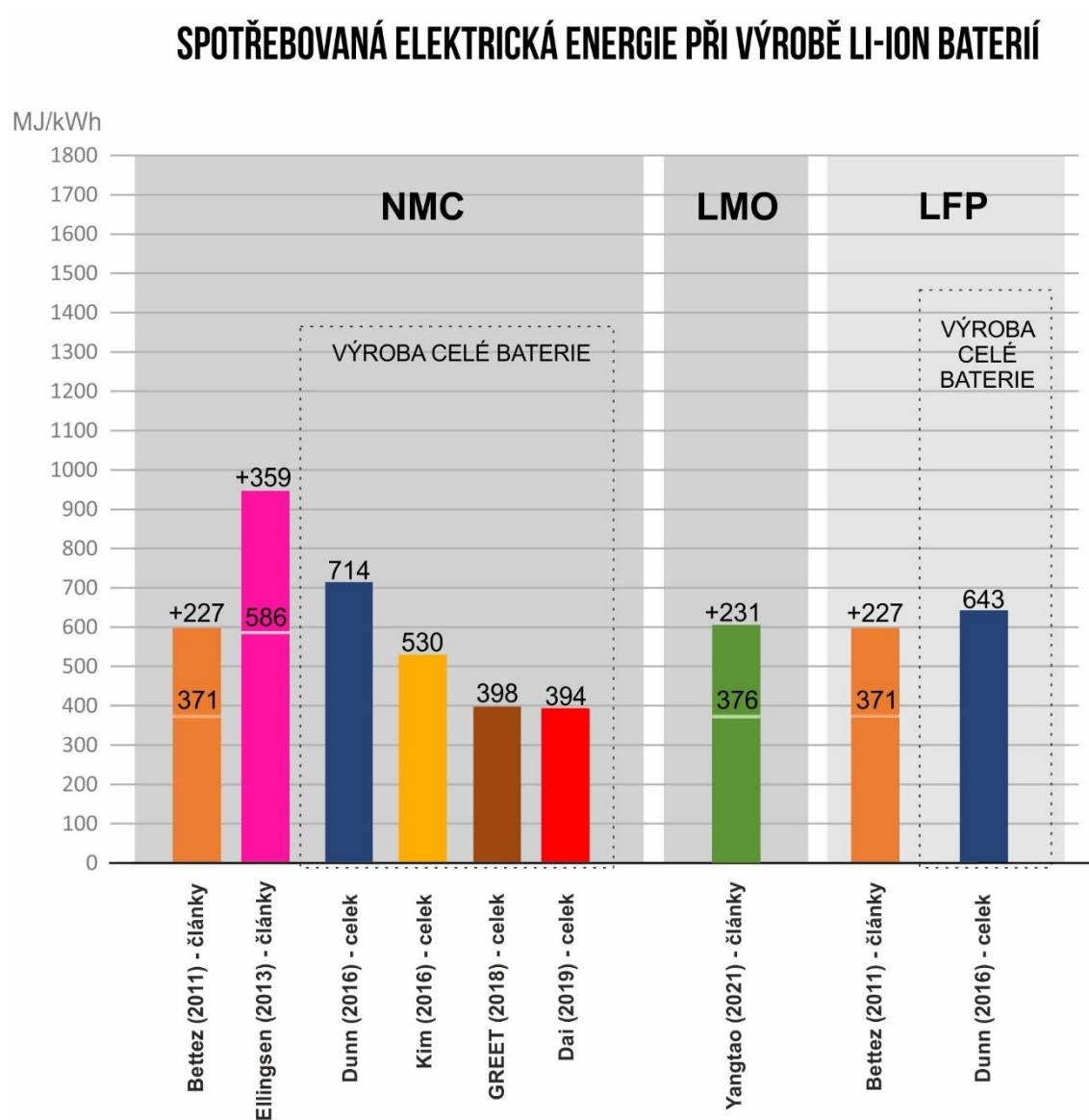
Recyklace ve smyslu demontáže je neúčinná a málo produktivní kvůli různým konstrukcím baterií. Při návrhu konstrukce baterie, modulů a článků by měl být brán ohled také na její recyklaci.

Ačkoliv vývoj nových materiálů může vést ke snížení cen baterií, konečný cíl \$80/kWh vytyčený (U. S. Department of energy 2020) je stále výzvou. Aby toho bylo dosaženo, je bezesporu potřeba zapracovat i na výrobních procesech a technologiích.



3 Grafické porovnání studií

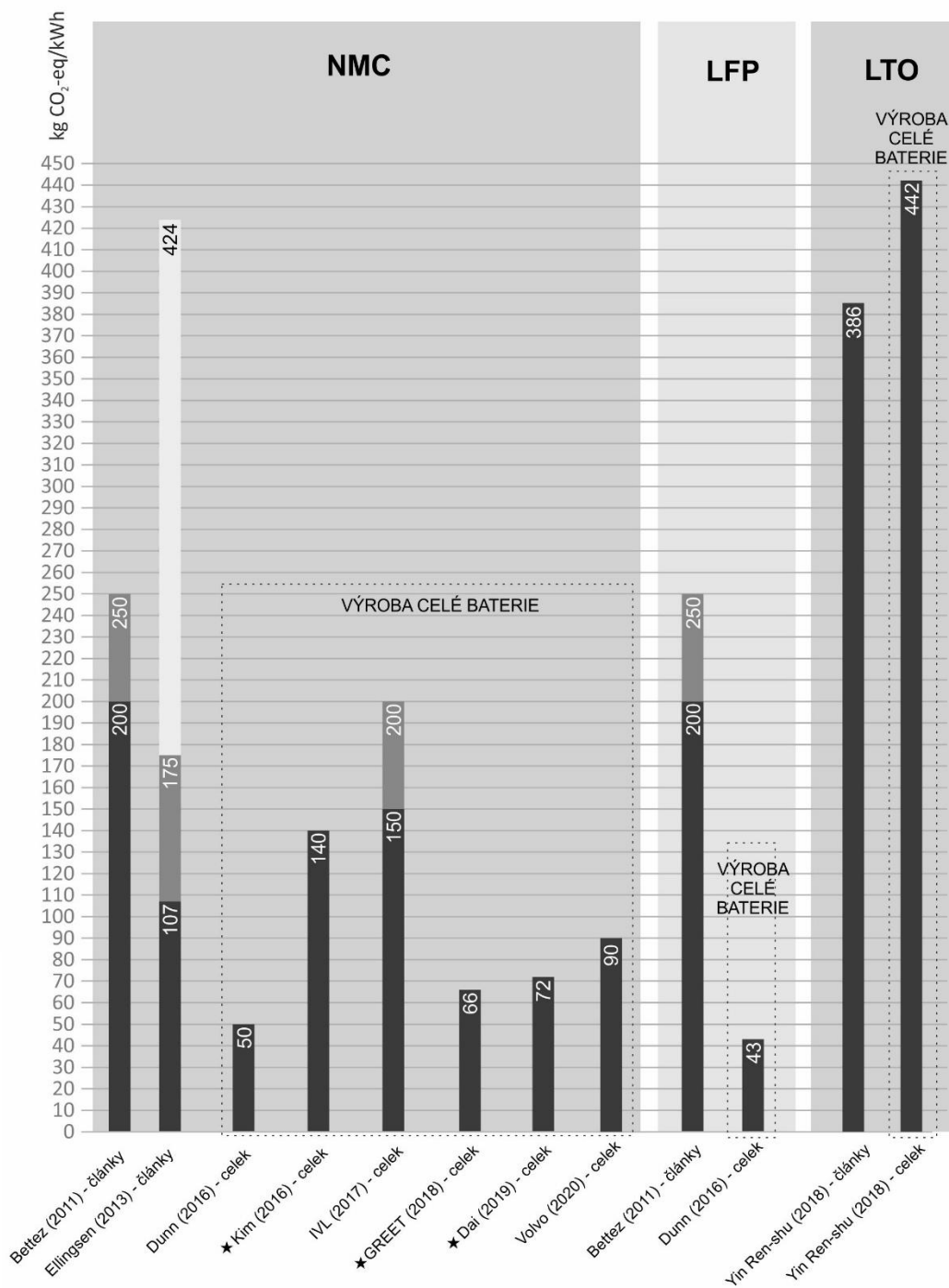
Hodnoty týkající se spotřebované elektrické energie na výrobu baterií a vyprodukovaných emisí CO₂-eq z výroby baterií, které byly zjištěny na základě rozboru studií v předchozí kapitole, byly doplněny do souhrnných grafických porovnání (obr. 13 a obr. 14) z již publikované bakalářské práce – Emise CO₂ při výrobě baterií [1].



Obr. 13 - Porovnání spotřebované elektrické energie z výroby Li-ion baterií mezi jednotlivými studiemi



VYPRODUKOVANÉ EMISE CO₂ CELKOVÉ VÝSLEDNÉ EMISE UVÁDĚNÉ AUTORY



Obr. 14 - Celkové vyprodukované emise CO₂ z výroby baterií uváděné autory studií



4 Ztráty při nabíjení

Ztráty při nabíjení vozidla jsou nedílnou součástí životního cyklu vozidla. Mezi běžné projevy při nabíjení různých zařízení s bateriemi patří zahřívání nabíječek, baterií či samotných zařízení. Toto teplo vzniká přeměnou z elektrické energie a doprovází také nabíjení baterií elektrických vozidel. Celkové ztráty při nabíjení baterií elektrických vozidel jsou však způsobeny kombinací celé řady faktorů, mezi které patří zejména následující:

- Nabíjecí výkon, respektive velikost nabíjecího proudu (popřípadě velikost napětí)
- Stav nabití baterie
- Teplota baterie a její udržování v důsledku ohřívání
- Měníče napětí AC/DC
- Ostatní ztráty (ztráty ve vedení, ztráty v rámci elektrochemických reakcí)

4.1 Nabíjecí výkon

Z hlediska výkonu je dnes nabídka nabíječek poměrně široká, v kontextu ztrát hrají výkony nabíječek významnou roli. Základní dělení je z hlediska druhu elektrického proudu. Méně výkonné nabíječky poskytují střídavý proud (AC) a vysokovýkonné nabíječky stejnosměrný proud (DC). Z hlediska ztrát je vhodné rozlišovat následující skupiny nabíječek.

4.1.1 AC nabíječka do maximálního výkonu 3,7 kW

Jedná se o nabíjení z domácí zásuvky. Tento způsob nabíjení je vhodný spíše pro plug-in hybridní vozy, protože nabíjení BEV trvá zpravidla i několik desítek hodin. Při posuzování ztrát může hrát významnou roli spotřeba palubního systému vozu v pohotovostním režimu.

4.1.2 AC nabíječka do maximálního výkonu 11 kW

Obvyklé řešení, které je realizováno zpravidla pomocí nástěnného terminálu tzv. wallboxu. Nabíjecí ztráty při nabíjení výkonem 11 kW zkoumala studie Kostopoulos (2020) [15] jejíž rozbor je uveden v kapitole 4.3.1. Průměrné ztráty činily 13,53 % v rozsahu 20 – 100 % SOC.



4.1.3 AC nabíječka do maximálního výkonu 22 kW

Spolu s předchozí variantou se jedná patrně o nejrozšířenější způsob nabíjení BEV. Ztráty při nabíjení tímto způsobem, posuzoval ADAC ve svém článku [16], jehož rozbor je uveden v kapitole 4.3.3. Průměrné nabíjecí ztráty činily 16,4 % v rámci rozsahu 0 – 100% SOC.

4.1.4 DC nabíječka do maximálního výkonu 50 kW

Většina těchto nabíječek v tuzemsku jsou nabíječky společnosti ABB dříve typu Terra 53 a nyní aktuálního typu Terra 54. Tyto nabíječky používá například společnost ČEZ [17] nebo PRE [18]. Dle dokumentace výrobce [19] jsou jejich technická data následující – tab. 12:

Tab. 12.: Technická data nabíječky ABB Terra 54

Veličina	Hodnota	Jednotka
Maximální výstupní výkon	50	kW
Výstupní napětí	150-500	V
Maximální výstupní proud	125	A
Účinnost při maximálním výstupním výkonu	94	%

4.1.5 DC nabíječka do maximálního výkonu 150 kW

V této výkonové relaci je u nás nejvíce rozšířena nabíječka společnosti Alpitronic Hypercharger 75 či 150. Nabízejí ji například společnosti ČEZ, PRE či E.on [20]. Dle výrobce [21] jsou technické specifikace nabíječky uvedeny v tab. 13.

Tab. 13.: Technická data nabíječky Alpitronic Hypercharger 75/150

Veličina	Hodnota	Jednotka
Maximální výstupní výkon	75/150	kW
Výstupní napětí	150-500	V
Maximální výstupní proud	500	A
Účinnost při maximálním výstupním výkonu	94	%



4.1.6 DC nabíječka s maximálním výkonem nad 150 kW

Toto výkonové spektrum nabíječek je v České republice rozděleno celkem mezi čtyři typy nabíječek. Společnost ČEZ využívá [17] model Terra 184 od společnosti ABB, evropská síť nabíjecích stanic Ionity využívá nabíječky Tritium PK 350 [22] a nabíječky ABB [23], které budou patrně srovnatelné s typem Terra HP (design stanic pro Ionity je odlišný). Síť Ionity provozuje v Česku v současné době 14 stanic na 5 místech. Posledním typem jsou nabíjecí stanice Tesla Supercharger o nabíjecím výkonu 150 kW a 250 kW, nicméně dodavatel těchto nabíječek není známý, a proto ani další technické údaje nejsou uváděny. Společnost Tesla v Česku momentálně provozuje 24 kusů 250kW nabíječek Supercharger V3 a 28 kusů 150kW nabíječek Supercharger V2 celkem na 7 místech.

Technické parametry jednotlivých nabíječek dle produktových informací jejich dodavatelů jsou uvedeny níže (tab. 14, tab. 15, tab. 16).

Tab. 14.: Technické specifikace nabíječky ABB Terra 184 [24]

Veličina	Hodnota	Jednotka
Maximální výstupní výkon	180	kW
Výstupní napětí	150-920	V
Maximální výstupní proud	200	A
Účinnost při maximálním výstupním výkonu	95	%

Tab. 15.: Technické specifikace nabíječky Tritium PK 350 [25]

Veličina	Hodnota	Jednotka
Maximální výstupní výkon	350	kW
Výstupní napětí	až 920	V
Maximální výstupní proud	až 500	A
Účinnost při maximálním výstupním výkonu	98,5	%



Tab. 16.: Technické specifikace nabíječky ABB Terra HP [26]

Veličina	Hodnota	Jednotka
Maximální výstupní výkon	350	kW
Výstupní napětí	150-920	V
Maximální výstupní proud	200-500	A
Účinnost při maximálním výstupním výkonu	94	%

4.2 Stav nabití baterie

Stav nabití baterie je veličinou, která určuje aktuální zbývající energii obsaženou v baterii vůči využitelné kapacitě baterie. Vyjadřuje se v procentech [%]. Označení této veličiny je SOC dle anglického „State of charge“. V této práci je SOC chápáno v kontextu s využitelnou kapacitou baterie. To znamená s kapacitou, která je u baterií elektrických vozidel proměnlivá při běžném provozu vozidla.

Existuje totiž dvojí kapacita baterií – celková a využitelná. Je běžné, že celková kapacita baterie je 80 kWh a využitelná kapacita baterie je 75 kWh. Využitelnou kapacitu baterie může řidič vozidla využívat a čerpat dle potřeby pro jízdu či přidružené systémy vozu. Tuto využitelnou kapacitu může řidič také zpětně nabíjet. Avšak rozdíl mezi celkovou a využitelnou kapacitou baterie – v tomto příkladu rozdíl činí 5 kWh – je energie, kterou řídicí systém baterie nedovolí uživateli využít a tím chrání baterii před poškozením. Extrémní stavy vybití baterie totiž zrychlují její degradaci a zkracují její životnost, v krajních případech by mohlo dojít i k poškození baterie.

Výše SOC však ovlivňuje také ztráty při nabíjení baterie. S rostoucím SOC roste také vnitřní odpor baterie. V celkovém využitelném rozsahu SOC od 0 % do 100 % je ještě populární vymezená oblast v rozsahu 20 % až 80 %. Řada studií, které se zaměřovaly na životnost Li-ion baterií dospěla k závěru, že právě využívání baterie v rozsahu 20 % až 80 % SOC je nejlepší variantou z hlediska její životnosti a výkonnosti [15]. Tato oblast je také atraktivní u většiny výrobců elektrických vozidel, kteří ji využívají pro prezentaci možností nabíjení –



právě v této oblasti se totiž baterie dobíjí nejrychleji [27]. V době tvorby této práce (duben 2022) například Škoda Auto udávala rychlost DC nabíjení u elektrických modelů v rozmezí 10 % až 80 %. V době uvedení modelu Enyaq iV na trh to byl rozsah 5 % až 80 % pro DC nabíjení [28].

Z hlediska posuzovaného rozsahu lze dělit také publikované studie a články na toto téma. Studie Real-world study for the optimal charging of electric vehicles [15] zkoumala ztráty při nabíjení na rozsahu 20 % - 100 %. Test německé společnosti ADAC [16] pracoval s rozsahem 0 % až 100 %. Práce Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging [29] byla zaměřena na rozsah 20 % - 80 %. Je také otázkou, jaký rozsah je využíván běžnými uživateli BEV při běžném provozu. Způsob provozu může být silně individuální v závislosti na využití vozidla samotného a potřebách jeho uživatele. Bohužel data vyjadřující, v jakém nejčastějším rozsahu uživatelé dobíjejí baterie, nejsou dosud k dispozici.

4.3 Studie a články zaměřené na ztráty při nabíjení BEV

Zařazeny byly celkem čtyři zdroje obsahující tematiku nabíjení baterií elektrických automobilů. Každý z nich však danou problematiku uchopuje odlišně. Nabíjení baterií je komplexní problematika, ve které hraje roli velké množství variabilních veličin.

4.3.1 Kostopoulus (2020)

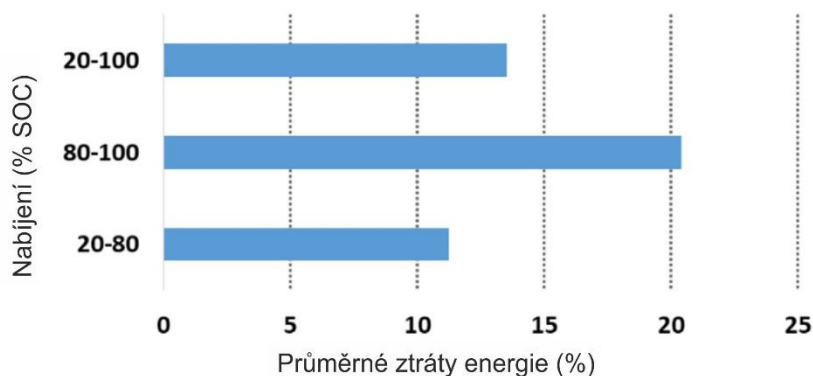
Studie Real-world study for the optimal charging of electric vehicles [15] zkoumá ztráty při nabíjení elektromobilu. Měření bylo prováděno na reálné univerzitní nabíjecí stanici, která měla možnost být nezávislá na síti, a energii vyráběla prostřednictvím fotovoltaických panelů. Takto vyrobenou elektrickou energii ukládala do bateriového úložiště nebo vracela do sítě. Nabíjecí stanice nabízela dvě možnosti nabíjení:

- a) Nabíjení pomocí P-charge Wallbox Mono s výkonem až 22 kW
- b) Nabíjení prostřednictvím připojení do běžné domácí zásuvky AC 230 V (16 A)

Bohužel není přesně specifikováno, kterým způsobem bylo nabíjeno, dle poskytnutých informací pravděpodobně pomocí wallboxu, který dosahoval maximálního výkonu 11 kW.



Vozidlo, na kterém bylo prováděno měření bylo BMW i3 s baterií o celkové kapacitě 33,2 kWh a využitelnou kapacitou o velikosti 27,2 kWh. Vůz byl připojován na nabíječku po absolvování vytyčeného vybíjecího okruhu. Vždy byl připojován na nabíječku při 20 % SOC. Výsledky práce jsou uvedeny v tabulce X na základě grafu (obr. 15).



Obr. 15 - Průměrné ztráty energie pro testované rozsahy SOC [15] - přeloženo

Tab. 17.: Ztráty stanovené studií Kostupoulos (2019)

Rozsah SOC [%]	Ztráty [%]
20 – 100	13,53
80 – 100	Přes 20 (autoři neuvádí přesně, vyčteno z grafu)
20 – 80	Přes 11 (autoři neuvádí přesně, vyčteno z grafu)

Z výsledků uvedených v tab. 17 lze vidět, že rozsah 20 % až 80 % je optimální nejen z hlediska životnosti baterie a rychlosti nabíjení, ale také z hlediska oblasti nejnižších nabíjecích ztrát.

4.3.2 Apostolaki-Iosifidou (2017)

Studie Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging [29] se zabývá ztrátami při nabíjení a vybíjení baterií vozidel, především kvůli optimalizaci nabíjecích a vybíjecích procesů v systému V2G (Vehicle to Grid). V2G je systém, kdy vozidla



připojená k síti poskytují kapacitu své baterie pro vyrovnávání energetických požadavků uživatelů sítě.

Autoři vytvořili celou nabíjecí soustavu a měřili na reálných zařízeních. Měření se účastnily dva automobily MiniE s baterií dodanou společností AC Propulsion. Tato baterie se skládala ze 48 LiPF₆ modulů a celkové kapacity 106 Ah při napětí 345 V. Po přepočtu 36,6 kWh (jednotka používaná v této práci pro vyjádření kapacity baterie).

Nabíjecí soustava byla složena z těchto komponent, výčet v pořadí od připojení k síti v domě:

- 1) Transformátor – snižoval napětí 480 V na 240 V, výkon 300 kVA
- 2) Jističe – ochrana nabíječky
- 3) Nabíječka – jednofázová, napětí 240 V, maximální proud 75 A, maximální výkon 18 kW, konektor J1772. Dále zde byla CAN komunikační a řídicí jednotka. Obvod byl složen pouze z konektorů, terminálů a jedním elektromagnetickým relé, nebyla zde použita žádná aktivní výkonová elektronika.
- 4) EV výkonová elektronika – vybavení vozidla, tvořeno především usměrňovačem a střídačem pro obousměrnou konverzi střídavý – stejnosměrný proud. Dále zde byly obsaženy chladicí ventilační systém a další přidružené zátěže.
- 5) EV baterie – baterie vozidla, parametry uvedeny výše.

Nabíjení bylo realizováno v SOC o rozsahu 20 % - 80 %, přičemž celkový přehled procentuálních ztrát, který je uveden v tabulce na obr. 17, představuje průměrnou ztrátu vypočtenou z naměřených ztrát v SOC o velikosti 20 %, 40 %, 60 % a 80 %. Ztráty pro jednotlivé SOC lze vidět na obr. 16.

Například hodnota 6.28 % uvedená v tabulce na obr. 17 u nabíjecích ztrát EV výkonové elektroniky představuje průměr z hodnot 16.53 %, 2.10 %, 5.30 % a 1.19 %, které jsou uvedeny v tabulce na obr. 16 v řádku s proudem o velikosti 10 A.



Nabíjecí ztráty (%) na EV výkonové elektronice jako funkce SOC baterie a proudu.

		SOC			
		20%	40%	60%	80%
AC proud (A)	10 A	16.53	2.10	5.30	1.19
	30 A	5.91	7.68	5.73	7.82
	50 A	4.12	5.43	4.64	4.77
	70 A	1.96	2.36	0.88	2.33

Obr. 16 - Nabíjecí ztráty EV výkonové elektroniky [29] - přeloženo

Celkové procentuální ztráty systému vozidel připojených k síti: součásti budov a elektrických vozidel

Součást	AC proud (A)	Procentuální ztráty (%)	
		Nabíjení	Vybíjení
EV baterie	10	0.64	0.64
	40	1.69	1.91
EV výkonová elektronika (usměrňovač, střídač)	10	6.28	16.67
	40	5.77	19.23
Nabíječka	10	0.10	1.42
	≈ 40	0.29	1.39
Jističe	10	0.00	2.80
	≈ 40	1.30	0.60
Transformátor	10	10.20	14.60
	≈ 40	3.33	6.65
Celkem	10	17.22	36.13
	40	12.38	29.78

Obr. 17 - Ztráty stanovené studií [29] - přeloženo

Lze si povšimnout, že na transformátoru dochází ke značným ztrátám, ovšem v lokálních podmínkách České republiky tuto položku není vhodné uvažovat, protože do domů je přiváděno přímo napětí 230 V. Použití transformátoru, jako ztrátového prvku při nabíjení, by mohlo být relevantní pro některá veřejná dobíjecí místa, dle konkrétního připojení k elektrické síti.

Na základě tabulky na obr. 17 jsou v rámci této práce využívány především nabíjecí ztráty na EV baterii, EV výkonové elektronice a nabíječce naměřené při proudu 10 A (jelikož proud 40 A není v domácnostech běžně k dispozici). Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 18.



Tab. 18.: Vybrané ztráty stanovené studií Apostolaki-Iosifidou (2017)

Rozsah SOC [%]	Ztráty [%]
20 – 80	7,02 (součet hodnot 0,64; 6,28; 0,10)

4.3.3 ADAC (2022)

Článek na téma nabíjecích ztrát publikoval také německý autoklub ADAC. Článek se jmenuje „Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch“ [16] a byl vydán 22. 3. 2022. ADAC měřil jednak spotřebu celkem 48 vozidel a dále spotřebu energie na plné nabití baterie.

Veškerá testovaná vozidla byla nabíjena střídavým proudem (AC) prostřednictvím nabíjecího kabelu jedním společným wallboxem o výkonu 22 kW. Vnější teplota vzduchu činila 23 °C. Bohužel není detailněji specifikováno, v jakém stavu byla baterie před nabíjením vozu (zda byla zahřátá jízdou, nebo vychladnutá). Nabíjení bylo realizováno na rozsahu 0 % až 100 % SOC. Přehled dat, které publikoval ADAC jsou uvedeny v tab. 42 v příloze práce, přičemž je doplněn poslední sloupec tabulky, který vyjadřuje procentuální odchylku (ztráty) mezi požadovanou energií na dobití baterie a využitelnou kapacitou baterie. Automobil Honda e Advance byl z tabulky vyřazen, protože údaj o energii požadované na dobití baterie není k dispozici.

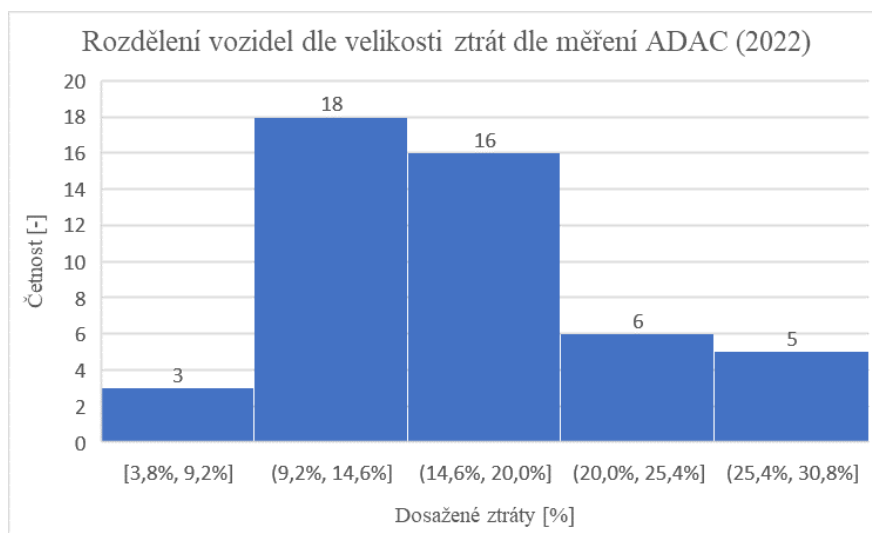
U automobilů Tesla Model X 100D, Tesla Model 3 Long Range AWD, Nissan Leaf Acenta, Nissan e-NV 200 Evalia a Renault Twingo Electric Intens společnost ADAC neudávala využitelnou kapacitu baterií. Důvod pro tuto skutečnost bude pravděpodobně to, že tento údaj neposkytuje výrobce vozidel. Pro dopočítání celkových ztrát byly tyto údaje doplněny do tabulky, buňky s takto doplněnými daty mají modré podbarvení. Doplněná data nejsou data od výrobců vozidel, ale byla zjištěna rešerší odborných webů o elektromobilitě.

Největší ztráty vykazoval vůz Mini Cooper s hodnotou 30,1 %. Naopak nejnižší ztráty ve výši 3,8 % vykazalo Audi e-tron GT quattro. Velikost ztrát tohoto vozu je zajímavá také z hlediska unifikace s automobilem Porsche Taycan 4S Performance Plus. Tento model Audi je dle informací od výrobce postaven na stejném základu jako zmíněný model Porsche. Měřená vozidla měla baterii o stejné kapacitě, nicméně výsledné ztráty vozu Porsche činily 13,7 %



což je násobně vyšší hodnota než u Audi. Lze předpokládat, že oba vozy byly nabíjeny za stejných podmínek a společnost ADAC uvádí, že byly nabíjeny i stejnou nabíječkou, je tedy otázkou, na kolik jsou shodné elektrické komponenty nabíjecích okruhů obou vozů, když se ztráty takto liší.

Z výsledků měření je patrné, že nabíjecí ztráty se liší řádově i o desítky procent. Při rozdělení naměřeného rozsahu (3,8 % až 30,1 %) na části o velikosti 5,2 % lze vidět, že většina vozidel se pohybuje v rozsahu 9,2 % až 20 %, viz grafické znázornění rozdělení vozidel dle velikosti naměřených ztrát – obr. 18.



Obr. 18 - Grafické znázornění rozdělení vozidel dle velikosti ztrát

Průměrné ztráty všech 48 vozidel činí 16,4 %. Průměrné ztráty výběrového vzorku činí 15,63 %. Stanovení výběrového průměru bylo realizováno pro ověření, do jaké míry ovlivňují celkový průměr hodnoty výrazně se odlišující od průměrných ztrát. Výběrový vzorek představuje 40 vozidel, zbylých 8 bylo vyřazeno. Těchto 8 vozidel je v tab. 41 vyznačeno tučně. Jejich vyřazení bylo stanoveno na základě jejich příslušnosti do dvou nejmenších skupin, viz grafické znázornění (x) – to znamená do skupiny [3,8 %, 9,2 %] a (25,4 %, 30,8 %]. Dalším důvodem ke stanovení výběrového vzorku v počtu 40 vozidel bylo, že tyto vozy přísluší k 60 % celkového rozptylu odvozeného od středu rozptylu. Dalších 6



vozů představuje 35,8 % a zbylé 2 vozy odpovídají 4,2 % rozptylu. Tyto čísla hrubě odpovídají normálnímu rozdělení.

Avšak odlišnost průměru ztrát všech 48 vozidel a průměru výběrového vzorku 40 vozidel je pouze 0,77 %. Jelikož zjištěné ztráty při nabíjení v této kapitole budou použity pro dosažení do celého životního cyklu vozu, je rozdíl 0,77 % nerelevantní. Průměrné ztráty stanovené studií ADAC činí 16,4 %. Tyto ztráty jsou platné pro nabíjení v rozmezí 0 – 100 % SOC.

4.3.4 Bjørn Nyland (2020)

Zajímavou sérii laických měření [30] provedl v roce 2020 Nor Bjørn Nyland, známý na sociálních sítích svým obsahem zaměřeným na elektromobily. Automobil použitý při pokusu byl značky Tesla Model Long Range pravděpodobně s bateriemi Panasonic o celkové kapacitě 82 kWh a využitelné kapacitě 77,8 kWh. Typ vozu byl určen na základě údajů z diagnostiky, které Bjørn ukazuje v záznamu pokusu. Během pokusů čerpal podrobnosti o stavu nabíjení z měřicí aplikace připojené na BMS vozu (Battery management system – systém pro správu baterie).

Měření byla prováděna při běžném provozu vozidla na základě údajů, které byly zobrazeny na nabíječkách a přímo ve vozidle. Cílem bylo porovnat ztráty na různých nabíječkách, které jsou v běžném norském městě dostupné. Výsledky není možné považovat za směrodatné z hlediska dlouhodobého uvažování například v rámci životního cyklu vozu. Nicméně tento pokus ilustruje proměnlivost nabíjecích ztrát v reálném provozu, tak jak se s nimi může setkat běžný řidič BEV. Pokus poukazuje také na to, že výsledné ztráty při nabíjení závisí na celé řadě proměnných, jako je SOC baterie, teplota baterie, parametry nabíjecího proudu a výkonu či běh chladicího/topného systému vozu.

Přehled pokusů s naměřenými daty je uveden v tabulce na obr. 19. K původní tabulce byly doplněny poslední dva sloupce, které udávají SOC baterie při nabíjení, protože SOC baterie ovlivňuje i výsledné ztráty. Některé údaje o SOC byly dopočteny na základě podrobností o nabíjení v záznamu z pokusu.



Číslo	Výkon nabíječky	Typ proudu	Specifikace nabíječky	Energie poskytnutá nabíječkou	Přírůstek energie v baterii	Účinnost	Ztráty	Počáteční SOC	Koncové SOC
	kW	-	-	kWh	kWh	%	%	%	%
1	2,3 kW	AC	10 A 230 V	7	5,9	84,30	15,70	68	76,2
2	3,5 kW	AC	15 A 230 V	8,25	7,4	89,70	10,30	55	65,3
3	7 kW	AC	30 A 230 V	6,93	6,5	93,80	6,20	65	74
4	8 kW	AC	11 A 400 V	9	8,2	91,10	8,90	74,6	86
5	11 kW	AC	16 A 400 V	15,44	14,1	91,30	8,70	36	56
6	50 kW	DC	125 A 400 V	11,51	10,9	94,70	5,30	25,6	40,7
7	50 kW	DC	125 A 400 V	13,7	11,3	82,50	17,50	73,5	89,2
8	350 kW	DC	500 A 400 V	33,857	31,1	91,90	8,10	45	88,2
9	350 kW	DC	500 A 400 V	57,137	51,9	90,80	9,20	12,6	84,7

Obr. 19 - Naměřené hodnoty při pokusech, Bjørn Nyland (2020)

Je vidět, že výsledné ztráty dosahují 5,3 % až 17,5 %. Průměrné ztráty ze všech pokusů činí 10 %. Podrobnosti k jednotlivým pokusům jsou uvedeny níže.

- 1) Nabíjení nejnižším výkonem rezultovalo ve vysoké ztráty, které byly rovny 15,7 %. To je poměrně překvapivý výsledek, protože obecně se předpokládá, že nejnižší ztráty nastávají při nejnižším nabíjecím výkonu. Tento pokus trval bezmála 3 hodiny a je možné, že vysoké ztráty jsou způsobené nepříznivým podílem spotřeby energie vozidla při pohotovostním režimu v kontrastu s malým nabíjecím výkonem.
- 2) Ztráty při nabíjení výkonem 3,5 kW činily 10,3 %. I v tomto případě trvalo nabíjení poměrně dlouho a zvýšené ztráty pravděpodobně mohou souviset se spotřebou vozu v pohotovostním režimu.
- 3) Při pokusu s nabíjecím výkonem 7 kW zůstal Bjørn na zadních sedadlech vozu a sledoval chování automobilu, tak aby vůz nedetekoval pasažéra. Zaznamenal, že v průběhu nabíjení došlo k sepnutí některých ventilátorů, přestože teplota baterie nebyla vysoká (přibližně 31 °C). Mohlo jít o chlazení výkonové elektroniky vozidla. Zajímavé také bylo, že když byly otevřeny dveře vozidla, ventilátor se vypnul. Výsledné ztráty představovaly 6,2 %. Existuje možnost, že zde mohlo dojít k příznivé kombinaci stále nízkého nabíjecího výkonu s nižšími ztrátami, který však svou velikostí potlačil význam spotřeby vozu při pohotovostním režimu.



- 4) Nabíjení třífázovým proudem a výkonem 8 kW vedlo k lehce vyšším ztrátám, které činily 8,9 %. Při tomto nabíjení byla překročena hranice 80 % SOC, ovšem nezdá se, že by se to na tomto pokusu projevilo zvýšenými ztrátami.
- 5) Výkon 11 kW při třífázovém nabíjení vyústil ve ztráty o velikosti 8,7 %. Což je porovnatelné s předchozím pokusem.
- 6) U tohoto pokusu nabíjení stejnosměrným proudem a výkonem 50 kW byla teplota baterie při začátku nabíjení blízka 41 °C což představovalo vhodnou teplotu bez potřeby tepelné regulace baterie. Při pokusu byl vůz sledován a byl odpojen přibližně po 15 minutách nabíjení ihned poté, co se sepnula ventilace pro chlazení baterie či nabíječky ve voze. Při tomto pokusu tedy vůz nijak neupravoval teplotu baterie, což vyústilo ve ztráty 5,3 %. Je však nutné zde poznamenat, že tyto ztráty nejsou konečné, energie o velikosti 11,51 kWh je energie, která opustila nabíječku a ztráty vznikly ve voze nebo na cestě k němu. Nicméně v samotné nabíječce budou vznikat ztráty při usměrňování proudu přiváděného ze sítě – u některých typů nabíječek je možné pozorovat chod ventilace. Tyto ztráty se pak promítají také do cen za tyto vysokovýkonné nabíječky.
- 7) Pokus se stejným výkonem jako v předchozím případě (DC 50 kW) avšak za nepříznivějších podmínek. Bylo pozorováno chlazení vozu a také bylo překročen 80 % SOC baterie. Vznikly ztráty o velikosti 17,5 % a to jen na straně vozidla (další ztráty vznikly v nabíječce při usměrňování proudu).
- 8) Nabíjení na stanici Ionity stejnosměrným proudem a výkonem 350 kW činily ztráty 8,1 %. Při pokusu se baterie chladila po celou dobu nabíjení. I v tomto případě lze předpokládat, že další ztráty vznikly v samotné nabíjecí stanici.
- 9) Pokus, při kterém byla snaha dosáhnout příznivých podmínek pro nabíjení, baterie měla teplotu 36 °C a opět se nabíjelo na stanici Ionity DC s výkonem 350 kW. Nabíjení probíhalo, dokud se nesepnulo chlazení baterie, poté byl pokus ukončen. Také bylo nabíjeno už od 12,6 % SOC do přibližně 85 % SOC, což znamená, že zde



bylo pravděpodobně využito i toho nejpříznivějšího rozsahu. Naměřené ztráty činily 9,2 %, nicméně opět zde platí, že další ztráty vznikly při usměrňování proudu apod. Autor závěrem upozorňuje, že některá vozidla jiných značek zobrazují na palubním počítači údaje převzaté z nabíjecí stanice, a proto pak nelze ztráty dopočítat bez propojení sledovací aplikace a BMS vozu. Jmenovitě byly uvedeny vozidla Hyundai Kona a Ioniq či Kia eNiro či eSoul. Naproti tomu vozidla značek Tesla, Porsche či Audi uvádí na palubním počítači při nabíjení naměřená data v baterii vozu.

Tyto poznatky nelze použít obecně, protože pro každý vůz budou tyto hodnoty unikátní, nicméně výsledky těchto měření, zde byly zařazeny pro názorné znázornění problematiky nabíjecích ztrát na konkrétním případě.

4.4 Nabíjecí ztráty v kontextu životního cyklu vozu

Na základě výše uváděných dat, byly stanoveny ztráty, které budou využitelné v celkovém životním cyklu BEV. Přestože variabilita ztrát v jednotlivých případech nabíjení může být často poměrně vysoká, v rámci životního cyklu vozidla je nutné cílit na průměrné hodnoty ztrát. Takto stanovené průměrné hodnoty ztrát jsou dále využity v následující kapitole 4, která se zabývá nástrojem pro porovnávání vyprodukovaných emisí.

4.4.1 AC nabíjení 4+1

Toto nabíjecí schéma je založeno na předpokládaném využití vozu v režimu, kdy v libovolně zvoleném časovém úseku (např. 1 týden) bude vozidlo nabíjeno 4x způsobem a) a 1x způsobem b).

- a) Nabíjení v rozmezí 20 % až 80 % SOC, střídavý proud, běžná nabíječka s maximálním výkonem okolo 11 kW
- b) Nabíjení v rozmezí 80 % až 100 % SOC, střídavý proud, běžná nabíječka s maximálním výkonem okolo 11 kW

Takové schéma má reflektovat využívání vozidla, kdy jedno ze čtyř nabíjení na domácích nabíječkách či v obchodních centrech je doplnění plné kapacity baterie, zbylé tři nabíjení se pohybují pouze v rozsahu 20 % - 80 %. Toto schéma má přiblížit běžné týdenní využití



vozidla v rámci okresu, kdy jednou za časový úsek bude mít řidič motivaci dobíjet plný stav baterie z důvodu předpokládané jízdy na delší vzdálenost (popřípadě motivace dobíjení o víkendu v rámci přípravy vozidla na další týdenní cyklus). Jedná se však o průměrné předpoklady nabíjení, časový úsek nemusí být v žádném případě týdenní.

Průměrné ztráty pro tuto možnost nabíjení byly stanoveny na 13 % na základě výpočtu (6) a zaokrouhlení výsledku 12,8 %.

$$\text{Průměrné ztráty}_{AC\ 4 + 1} = \frac{11\% + 11\% + 11\% + 11\% + 20\%}{5} = 12,8\% \quad (6)$$

Hodnota „11 %“ v rovnici (6) byla stanovena na základě zjištěných ztrát při nabíjení v rozsahu 20 % až 80 % SOC ve studii Kostopoulos [15] jejíž rozbor je uveden v kapitole 4.3.1. Hodnota „20 %“ v rovnici (6) byla stanovena na základě totožného zdroje, pouze pro rozsah nabíjení 80 % až 100 % SOC.

4.4.2 AC nabíjení 20 – 80 % SOC

Schéma, kdy je vozidlo v libovolném úseku nabíjeno většinou pouze v rozsahu 20 % až 80 % SOC, střídavým proudem a nabíječkou o maximálním výkonu asi 11 kW. Ztráty pro tento případ byly stanoveny na 11 % dle studie Kostopoulos [15] jejíž rozbor je uveden v kapitole 4.3.1.

4.4.3 AC nabíjení 0 – 100 % SOC

Tento způsob nabíjení předpokládá většinou využití plné kapacity baterie v rozsahu 0 % až 100 % SOC, střídavým proudem a nabíječkou o maximálním výkonu asi 11 kW. Ztráty činí 16,4 % na základě zjištění společnosti ADAC [16], přičemž rozbor jejich měření je uveden v kapitole 4.3.3. Tento způsob provozu je vhodný pravděpodobně spíše pro vozidla využívaná firmami na jasně vymezených trasách v pravidelném provozu. I vozidla v takovém režimu provozu však pravděpodobně budou dojíždět se SOC v rozmezí 0 % až 10 %. Je otázkou, jaký vliv mají ztráty vzniklé v tomto rozsahu na výsledné průměrné nabíjecí ztráty. Bohužel na tuto oblast se nezaměřují v podstatě žádné studie a společnost ADAC na jejíž zjištěních je toto schéma založeno realizuje měření na oblasti 0 % až 100 % SOC.



4.4.4 DC 50 kW nabíjení 20 - 80 % SOC

Toto nabíjení počítá s využitím baterie v rozsahu 0 % až 80 % SOC. Nabíjení je realizováno stejnosměrným proudem o maximálním výkonu 50 kW.

DC nabíjení o maximálním výkonu 50 kW je vhodné pro uživatele, kteří nemají možnost dobíjet svá vozidla řádově několik hodin nižšími výkony, ale využívají k dobíjení jen menší časová okna jako například nákupy, stravovací zařízení či odpočívky na dálnicích.

Tímto způsobem nabíjení, a ani jinými vysokorychlostními stejnosměrnými způsoby nabíjení, se nezabývá mnoho studií. Vzhledem k rychlému rozvoji nabíjecích výkonů vysokorychlostních nabíječek by bylo vhodné provést samostatnou experimentální studii na toto téma. Ztráty při nabíjení tímto způsobem byly stanoveny na 14 %. Jelikož je tato hodnota výsledkem rešerše více zdrojů, je způsob stanovení těchto ztrát popsán zvlášť v následující kapitole.

4.4.4.1 Stanovení ztrát při 50 kW DC nabíjení

Při tomto nabíjení je uvažována nabíjecí stanice ABB Terra 53 či 54, jejíž parametry jsou uvedeny v kapitole 4.1.4 - DC nabíječka do maximálního výkonu 50 kW. Výrobce udává její účinnost ve výši 94 % při maximálním výkonu.

Je otázkou, jak se mění účinnost při klesání nabíjecího výkonu. Podle práce Evaluation of Fast Charging Efficiency under Extreme Temperatures [31] je účinnost nabíjení baterie při teplotě 25°C v maximálním rozmezí 92 až 87 %, což je případ nabíječky, která má výrobcem deklarovanou účinnost 96 % a bylo nabíjeno na rozsahu 12 až 80 % SOC¹¹. Bohužel tato studie záměrně nspecifikuje typy a výrobce nabíječek.

Přepočítáme-li tento rozsah na výše uvedenou nabíječku ABB, pak dostaneme pro nabíječku, která má svoji základní účinnost 94 %, účinnost nabíjení baterie v rozmezí 90 až 85 % na rozsahu 20 – 80 % SOC.

¹¹ Baterie byly poměrně malých kapacit - měření byly prováděny na vozech s bateriemi o kapacitě 24 kWh a 33 kWh. Vozidla a ani značky nabíječek nejsou v této studii záměrně jmenovány, avšak podle uvedených technických specifikací se lze domnívat, že se jednalo o vozy Nissan Leaf (24 kWh baterie) a BMW i3 s range extenderem (33 kWh baterie). Velikost baterie totiž ovlivňuje výslednou výkonnost a spotřebu systému chlazení/ohřevu baterie.



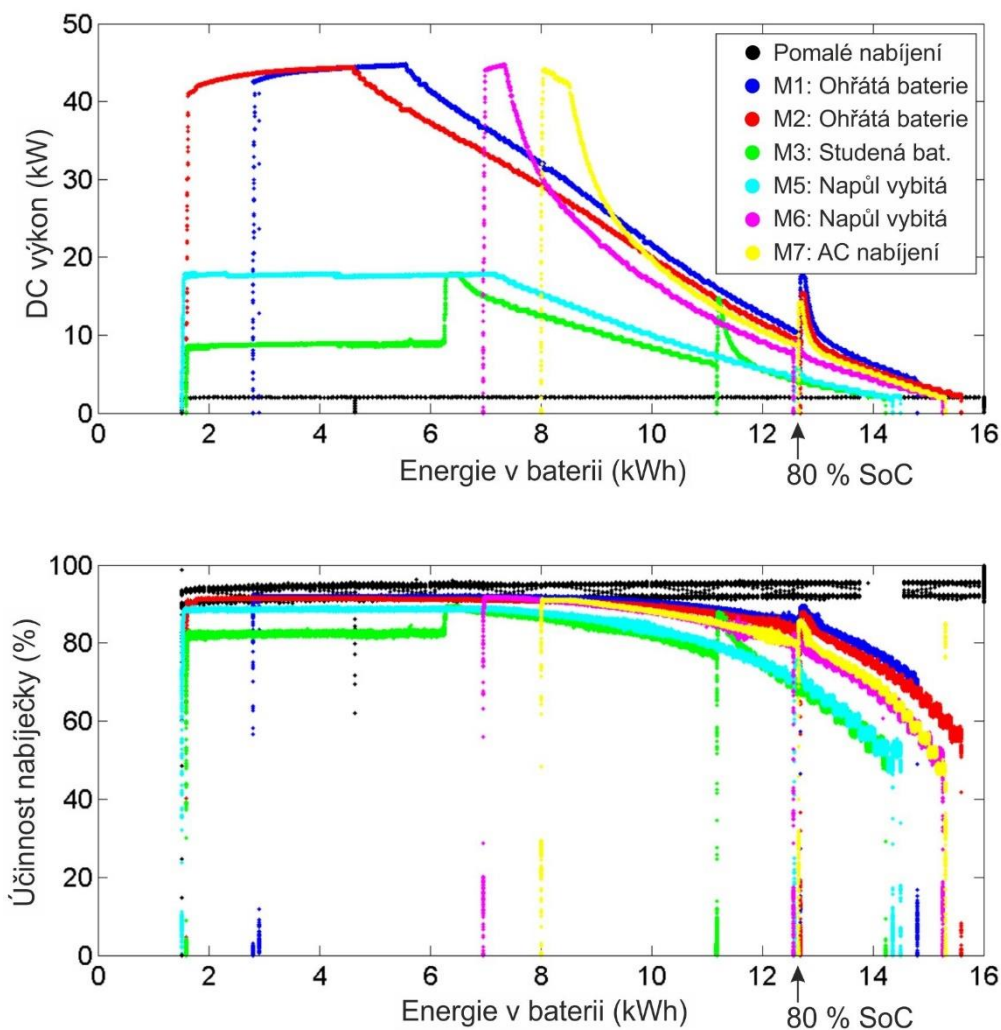
To přibližně koresponduje i s pokusem číslo 6 Bjørna Nylanda (kapitola 4.3.4), kdy naměřil průměrné ztráty při nabíjení od nabíječky do baterie 5,3 %. Při tomto pokusu se nesešlo chlazení ani vyhřívání baterie a bylo nabyto asi 15 % SOC.

Účinnost na rozhraní síť - nabíječka je tedy 94 %, respektive ztráty jsou 6 %. Další ztráty jsou na rozhraní nabíječka – baterie, které dle výše uvedeného přepočtu představují 4 až 9 % v průběhu nabíjení. Průměrné ztráty na rozhraní nabíječka – baterie tedy představují 6,75 %. Lze předpokládat, že při průměrném běžném uživatelském nabíjení bude aktivní systém správy teploty baterie, protože teplota baterie nebude ideální. Předpokládejme nárůst ztrát na rozhraní nabíječka – baterie na celkových 8 %.

Je pravděpodobné, že toto bude spíše ideální odhad, který je založen na předpokladu venkovní teploty 25°C a z nabíjení pod 80 % SOC.

Součet ztrát na rozhraní síť – nabíječka plus nabíječka – baterie tedy činí 14 % (6 % + 8 %). Tato hodnota ztrát je použita jako parametr pro nabíjení „DC 50 kW 20 – 80 % SOC“.

Po překročení 80 % SOC bude účinnost klesat výrazněji. Bohužel na tuto tematiku nebyla dohledána žádná analýza. Účinnosti v této oblasti mohou dosahovat velkých odchylek od rozsahu 20 – 80 % SOC – to ilustruje obrázek 20 s grafy z práce Measurements of ABB's Prototype Fast Charging Station for Electric Vehicles [32]. Lze vidět, že za hranicí 80 % SOC účinnost výrazně klesá. Je však nutné uvést, že se jednalo o měření na prototypové nabíječce ABB, proto nelze tato konkrétní data uplatnit na současných nabíječkách. Je však možné očekávat rámcově obdobné chování účinnosti.



Obr. 20 - Průběh účinnosti nabíjení a nabíjecího výkonu v závislosti na SOC baterie. [32] – přeloženo, doplněny vysvětlivky

4.4.5 3x AC + 1x DC 50 kW

Jelikož řada řidičů bude kombinovat oba způsoby nabíjení, byla vytvořena možnost této kombinace podobně jako v případě varianty „AC nabíjení 4+1“.

Předpoklad pro variantu 3x AC + 1x DC 50 kW je složen průměru možností uvedených níže, které jsou započítány v libovolném časovém intervalu takto: 3 x a), 1 x b) a 1 x c).

- a) Nabíjení v rozmezí 20 % až 80 % SOC, střídavý proud, běžná nabíječka s maximálním výkonem okolo 11 kW



- b) Nabíjení v rozmezí 80 % až 100 % SOC, střídavý proud, běžná nabíječka s maximálním výkonem okolo 11 kW
- c) Nabíjení v rozmezí 80 % až 100 % SOC, stejnosměrný proud, veřejná nabíječka s maximálním výkonem 50 kW

Ztráty takto složená kombinace nabíjení činí 13,4 % dle výpočtu 7.

$$\frac{\text{Průměrné ztráty}}{3xAC + 1xDC 50 kW} = \frac{11 \% + 11 \% + 11 \% + 20 \% + 14 \%}{5} = 13,4 \% \quad (7)$$



5 Nástroj pro porovnávání vyprodukovaných emisí

5.1 Využití porovnávacího nástroje

V rámci tématu produkce emisí z výroby baterií pro elektrická vozidla existuje celá řada parametrů, které se vzájemně ovlivňují. Jedná se především o náročnost výroby baterie, energetický mix v místě výroby baterie a velikost samotné baterie. Výsledné dopady produkce baterií pak velkou měrou ovlivňují také výši kumulovaných emisí CO₂ za celý životní cyklus vozu a hrají významnou roli při případném porovnání.

Srovnání emisí CO₂ vozidel s elektrickým pohonem a spalovacím motorem se přímo nabízí, ale jejich porovnání nelze realizovat například pouhým srovnáním technických dat. Je nutné posoudit zvláště klíčové parametry ovlivňující produkci emisí, kombinovat tyto parametry a promítnout je v kontextu celého životního cyklu vozu.

Na jednotlivé parametry jsou zaměřeny různé samostatné studie a cílem tohoto porovnávacího nástroje je prezentovat závěry těchto studií v celkovém kontextu životního cyklu automobilu.

Porovnávací nástroj dobře ilustruje citlivost na změnu jednotlivých veličin a význam jednotlivých parametrů v celkovém měřítku. Rámcově také dokáže porovnat životní cykly vybraného vozidla s elektrickým pohonem a se spalovacím motorem.

5.2 Zdrojová data

Zdrojová data porovnávaných vozů byla zjištěna rešerší technických dat vozidel, které udávají jejich výrobci. V případě, že potřebná data nebylo možné nalézt u výrobce vozu, bylo čerpáno z odborných webů zaměřených na automobily. Tato data byla zjišťována v průběhu měsíce dubna a května v roce 2022. Nabídka automobilek a přesné technické specifikace jednotlivých modelů podléhají neustálým změnám, proto byly všechny materiály, ze kterých bylo čerpáno zarchivovány.

Výčet takto zjišťovaných parametrů je následující:

- a) Spotřeba udávaná průměrná (dolní a horní mez udávané spotřeby)
- b) Emise udávané průměrné (dolní a horní mez udávaných emisí)



- c) Celková kapacita baterie
- d) Využitelná kapacita baterie

Pro parametry zjištěné v bodech a) a b) platí, že byly zjištěny na základě jízdního cyklu WLTP. Automobilky začaly uvádět tyto parametry dle metodiky WLTP v průběhu listopadu roku 2020. Pokud tedy výrobce změnil i samotnou motorizaci vozu v době přechodu z metodiky NEDC na WLTP a parametry spotřeby a emisí pro původní motorizaci jsou k dispozici pouze na základě metodiky NEDC, není takový vůz plně porovnatelný s vozidly vybranými do tohoto porovnávacího nástroje.

Dále byla zjišťována také uživatelská průměrná spotřeba na základě dat na německém serveru www.spritmonitor.de. Data z tohoto serveru jsou závislá na registrovaných uživateli, kteří dobrovolně poskytují statistiky o spotřebě svého vozu. Údaje z tohoto serveru tedy mají omezenou výpovědní hodnotu, nicméně byly zařazeny pro ilustraci vlivu rozdílné spotřeby na celkové vyprodukované emise během životního cyklu vozidla, aniž by si musel zájemce o porovnání vymýšlet vlastní hodnoty.

Porovnávací nástroj však zahrnuje také možnost nastavit spotřebu vlastní. Právě na základě znalosti vlastní spotřeby s různými vozy je možné porovnávat i vozidla starší a novější. Takto zjištěná spotřeba je totiž závislá pouze na jízdním stylu daného jednotlivce, a nikoliv na aktuálně platné metodice pro zjišťování spotřeby.

5.2.1 Zdrojová data BEV

Celkem bylo vybráno 27 vozidel různých značek a jejich kompletní přehled obsahuje tab. 40 (v příloze). Vozidla byla vybírána podle popularity na českém a popřípadě střeoevropském trhu. Byly zahrnuty také některé novinky, u kterých se v budoucnu očekává významný podíl na trhu s elektrovozidly. Cílem výběru tedy bylo obsáhnout ty nejčastější a nejběžnější modely, které již tvoří, nebo budou tvořit značný podíl z celkového počtu registrovaných BEV.



5.2.1.1 Spotřeba

Hodnoty spotřeby výrobci udávají v různých jednotkách, a to formou rozptylu či formou průměrné hodnoty. Pro potřeby výpočtu porovnání v rámci této práce, byly veškeré hodnoty spotřeby převedeny na jednotku [kWh/100 km]. Ve výpočtech této práce figurují průměrné hodnoty, které byly v případě potřeby vypočteny z výrobcem udávaných dolních a horních mezí spotřeby. Hodnoty dolní meze a horní meze, které udávají někteří výrobci, se často liší pouze v řádu několika desetin a v kontextu proměnlivosti reálné spotřeby je rozlišení horní a dolní meze nerelevantní.

Všechny výrobcem udávané spotřeby (sloupec: „Spotřeba udávaná průměrná“) byly stanoveny na základě cyklu WLTP, kromě dvojice vozidel – Tesla S 75D a Tesla X 90D. Jelikož byly tyto vozy homologovány dříve, výrobce udává spotřebou pouze na základě metodiky NEDC. Tato výrobcem udávaná spotřeba tedy není plně porovnatelná s ostatními vozidly. Tato dvojice však byla přesto do porovnání zařazena na základě své rozšířenosti a s ostatními vozidly může být porovnávána buď při nastavení vlastní spotřeby, či při využití uživatelské spotřeby.

5.2.1.2 Přírůstek spotřeby elektřiny z výroby a distribuce elektřiny

Energie spotřebovávaná vozem však nepředstavuje konečné číslo spotřebované energie. V distribuční soustavě elektrické energie totiž vznikají ztráty ve vedení a při transformaci napětí. Část elektrické energie je využívána také na provoz distribuční soustavy samotné a část vyráběné elektřiny spotřebovávají samotné provozy vyrábějící elektřinu.

Každá jedna spotřebovaná kWh u koncového uživatele, musela být vyrobena s určitým násobkem, který vykompenzuje ztráty cestou k tomuto koncovému uživateli. Násobek je stanoven na základě statistických dat Energetického regulačního úřadu (ERÚ), které jsou shrnuty v tabulce 19.



Tab. 19.: Data použité pro výpočet přírůstku spotřeby z výroby a distribuce elektřiny

Rok	Celkové ztráty [TWh]	Spotřeba elektráren [TWh]	Součet ztrát a spotřeby elektráren [TWh]	Výroba elektřiny [TWh]	Podíl [%]
2018	4,3	6,1	10,4	88	11,8
2019	4,3	5,8	10,1	87	11,6
2020	4,1	5,3	9,4	81,4	11,5
Průměr					11,63

Přírůstek spotřeby elektřiny z výroby a distribuce elektřiny tedy činí 11,63 %. Na každou 1 kWh, kterou koncovému zákazníkovi započítá elektroměr, je třeba vyrobit 1,1316 kWh v elektrárně.

5.2.1.3 Ztráty při nabíjení vozu

Ztráty při nabíjení vozidla jsou způsobeny celou řadou faktorů, mezi které patří zejména následující:

- Nabíjecí výkon, respektive velikost nabíjecího proudu (popřípadě velikost napětí)
- Stav nabití baterie
- Teplota baterie a její udržování v důsledku ohřívání
- Měníče napětí AC/DC
- Ostatní ztráty (ztráty ve vedení, ztráty v rámci elektrochemických reakcí)

Kapitola 3 této práce se zabývá rozbořem studií, které se věnují tématu nabíjecích ztrát. Na základě těchto zjištění byly do porovnávacího nástroje zařazeny tři možnosti nabíjení, přičemž podrobnosti o každé z nich jsou uvedeny v kapitole 4.4.

- 1) AC nabíjení 4+1 (ztráty 12,8 %)
- 2) AC nabíjení 20 – 80 % SOC
- 3) AC nabíjení 0 – 100 % SOC
- 4) DC 50 kW nabíjení 20-80% SOC



5) 3x AC + 1x DC 50 kW

Nabíjení stejnosměrným proudem (DC) pro výkony nad 50 kW nebylo zařazeno, protože na tuto tematiku chybí objektivní studie. Je však možné využít zaškrtnutí pole „vlastní ztráty při nabíjení vozu“ a zvolit si libovolnou hodnotu.

5.2.1.4 Kapacita baterie

Jedním ze zjišťovaných údajů byla kapacita baterie, a to jak celková, tak využitelná. Využitelná kapacita kvantifikuje množství energie, které řidič může využít při užívání vozidla. Využití další energie v baterii je blokováno řídicí jednotkou baterie, protože při stavech hlubokého vybití baterie dochází k její degradaci a v případě extrémního vybití může dojít k jejímu znehodnocení. Baterie pro každé vozidlo je však vyrobena v takové velikosti, která odpovídá kapacitě celkové. Právě celková kapacita baterie je tedy hodnota zajímavá pro výpočty náročnosti výroby baterií.

Řada výrobců však tyto dvě kapacity volně míchá a najdou se i případy, kdy v oficiálních materiálech udávají pouze jednu hodnotu, kdy není zcela zřejmé, zda se jedná o údaj využitelné kapacity či celkové kapacity. V takových případech je pak nutné hledat například na stránkách výrobců samotných baterií či na odborných webech zaměřených na elektromobilitu.

Číselná hodnota kapacity baterie se totiž do značné míry stala parametrem, který je předmětem konkurenčního boje mezi jednotlivými výrobci a její velikost má přitáhnout zákazníkův zájem. Často se tato hodnota objevuje v samotném označení vozidla, byť v některých případech různě zaokrouhlená. Výrobci v této věci prozatím nedodržují žádné jednotné osnovy, které by specifikovaly, v jakém formátu uvádět údaje o kapacitě baterií.

5.2.1.5 Náročnost výroby baterií

Na tuto tematiku byla mimo jiné zaměřena práce Emise CO₂ při výrobě baterií [1], kde bylo zjištěno, že výroba celých baterií se pohybuje v rozmezí 394 MJ/kWh až 945 MJ/kWh. Dolní mez odpovídala zjištěním studie Dai (2019) [2] a horní mez odpovídala studii Ellingsen (2013) [33] – výsledky je možné vidět na obr. 13.



V rámci této práce je uveden v kapitole 2.4 rozbor práce Yangtao Liu (2021) [12], mezi jejíž výsledky patřilo mimo jiné také vyčíslení náročnosti výroby článků, jejichž výroba představovala spotřebu 376 MJ/kWh energie. Výroba článku dle studie IVL (2017) [8, s. 16] představuje 62 % spotřebované energie z výroby celé baterie.

Po přepočtu na 100 % je výsledná hodnota asi 607 MJ/kWh. Takováto hodnota spadá do rozsahu vymezeného výše a přibližně odpovídá střední hodnotě uvedeného rozsahu. Střední hodnota rozsahu činí 670 MJ/kWh.

Pro potřeby porovnávacího nástroje tedy byly zvoleny tři stupně vyjadřující náročnost výroby baterií dle tabulky 20.

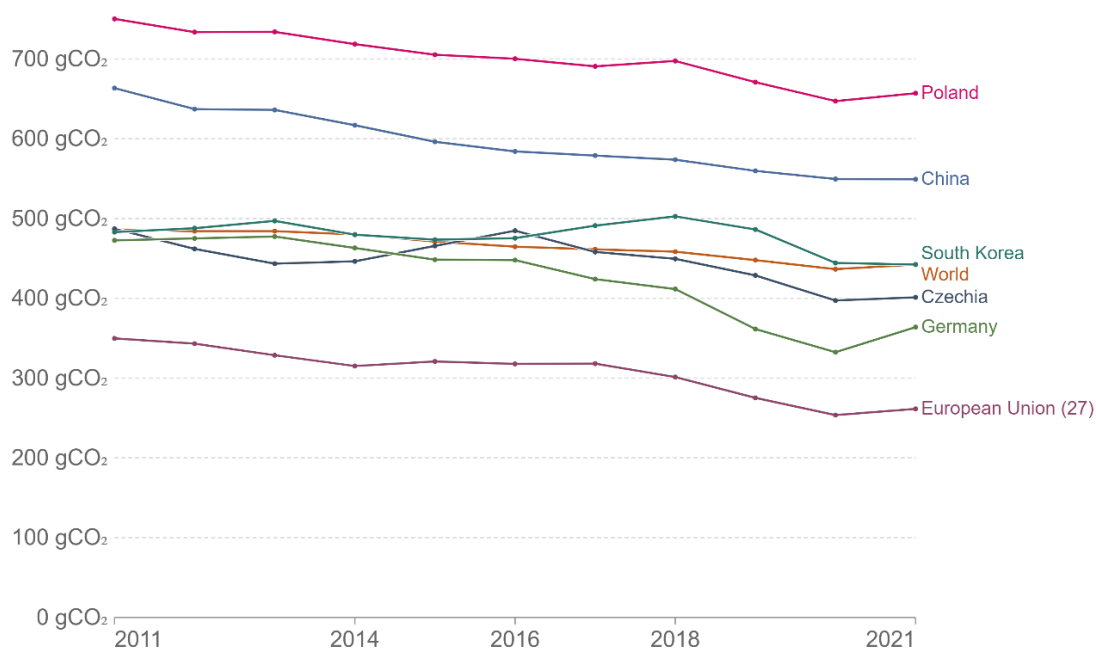
Tab. 20.: Hodnoty náročnosti výroby baterií použité v porovnávacím nástroji

Náročnost výroby baterií:	Hodnota	Jednotka
Horní odhad	945	MJ/kWh
Střední odhad	670	MJ/kWh
Dolní odhad	400	MJ/kWh

5.2.1.6 Energetický mix

Při posuzování vzniklých emisí CO₂ v průběhu životního cyklu BEV jsou důležité také energetické mixy. Jedná se především o energetický mix v místě provozu vozidla, respektive v jakém státu je vozidlo provozováno, a tedy v jakém státě se vyrábí elektřina využívaná k pohonu BEV. Dále se také jedná o energetický mix v místě výroby baterií, to znamená, jakou uhlíkovou stopu má elektřina používaná pro výrobu baterie.

V porovnávacím nástroji je zahrnuto celkem 7 možností pro zvolení energetického mixu. Konkrétní hodnoty vybraných energetických mixů jsou uvedeny v tabulce 21 a jsou platné pro rok 2021. Jednotlivé hodnoty v jednotkách [g CO₂/kWh] jsou převzaty z dat organizace Our World in Data prezentované pod názvem Carbon intensity of electricity ve webové aplikaci [13]. Tento zdroj nabízí informace o energetických mixech v grafické podobě (obr. 21), v podobě mapy světa a také v podobě prosté tabulky.



Obr. 21 - Grafické porovnání energetických mixů vybraných územních celků za posledních 10 let [13]

Organizace Our World Data sestavuje prezentovaná data na základě reportů:

- BP Statistical Review of World Energy
- Ember Global Electricity Review (2022)
- Ember European Electricity Review (2022)

Reporty organizace Ember pak dále čerpají v datech společností Eurostat, ENTSO-E, EIA apod., přičemž evropské energetické mixy jsou založeny na datech od European Environment Agency (EEA).



Tab. 21.: Hodnoty energetických mixů použitých v porovnávacím nástroji

Území	g CO ₂ /kWh
EU27	261
Česká republika	401
Německo	364
Čína	549
Svět	442
Jižní Korea	442
Polsko	657

Výběr území pro porovnávací nástroj byl proveden následujícím klíčem. Značná část baterií a také bateriových článků pro BEV se vyrábí v Číně a v Jižní Koreji. V posledních letech byl vybudován také nový výrobní závod společnosti LG Chem v Polsku poblíž Wrocławu [34]. Tento polský závod vyrábí články, bateriové moduly i celé baterie, které mají odběratele v celé řadě evropských automobilek (Audi, BMW, Daimler, Jaguar, Porsche, Renault, Stellantis, Volkswagen a Volvo). Tato práce je zaměřena především na situaci ve střední Evropě, předpokládá se, že vozidlo bude provozováno především v České republice, Německu či Polsku. Pro pohled z perspektivy Evropské unie je zahrnut také průměrný energetický mix 27 zemí EU a pro globální náhled je k dispozici také celosvětový průměrný energetický mix.

5.2.2 Zdrojová data ICE

V kategorii vozidel se spalovacím motorem bylo vybráno celkem 53 modelů. Byla vybírána vozidla, která jsou oblíbená na českém a středoevropském trhu. Byly voleny nejběžnější motorizace, většina vozů je s převodovkami manuálními, nicméně jsou obsaženy také vozy s automatickými převodovkami. Z pohledu druhu paliva je většina vozů benzinových, ale jsou zastoupeny i vozy dieselové. V některých případech je zařazena benzinová i dieselová varianta modelu pro ilustraci vlivu typu paliva na celkové kumulované emise CO₂ v průběhu životního cyklu vozu. Konkrétní varianta vozidla je specifikována ve formátu:

- název vozu; palivo; výkon; převodovka



Název vozu vychází ze základního označení modelu výrobcem, ve vybraných případech je k názvu připojeno označení „kombi“ a popřípadě římská číslice vyjadřující generaci daného modelu (např. II, IV apod.). Označení generace bylo použito v případě, kdy bylo vhodnější použít starší generaci modelu z důvodu dostupnosti celé sady potřebných dat k plnohodnotnému porovnání. Jednalo se například o případ vozu Peugeot 308, kdy v době sběru dat pro tuto práci (duben až květen 2022), byla na trh uváděna nová generace. Pro tuto nejnovější generaci však ještě nebyla dostupná žádná uživatelská data, proto byla do porovnání zařazena generace předchozí.

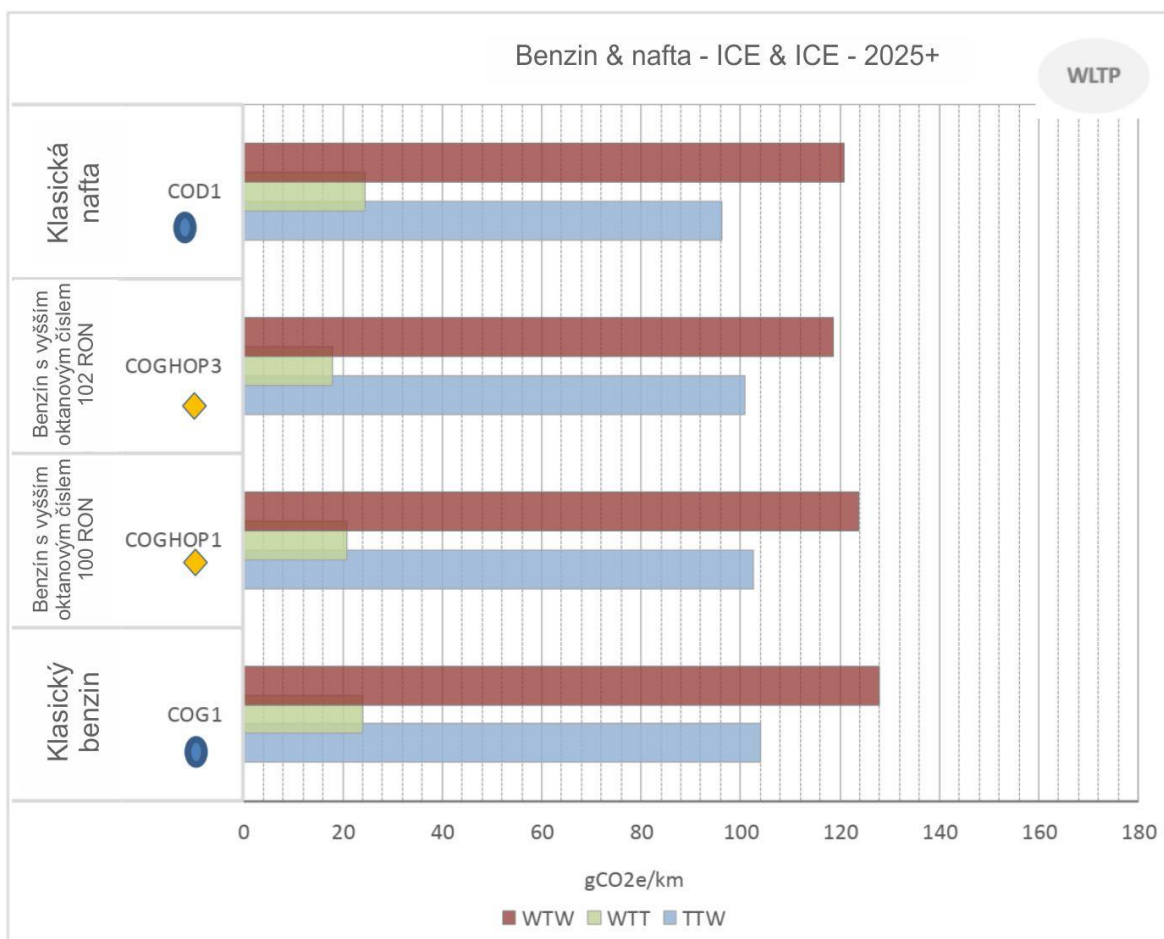
5.2.2.1 Spotřeba

Veškeré údaje o spotřebě jsou uváděny v jednotkách l/100 km. Pro porovnávací výpočty jsou používány průměrné hodnoty spotřeb, ať už se jedná o uživatelské spotřeby či spotřeby uváděné výrobcem. Výrobci v řadě případů uvádí rozptyl, proto byl tento rozptyl přepočítán na průměr.

5.2.2.2 Emise CO₂ z výroby paliv

Proces výroby uhlovodíkových paliv, zde především benzínu a nafty, také produkuje emise CO₂. Tuto skutečnost do svého porovnání počítá například i studie Buchal [9] a rovněž jsou takto vyprodukované emise zahrnuty v této práci a v porovnávacím nástroji.

Výše těchto emisí je stanovena na základě studie Evropské komise s názvem JEC Well-to-Wheels report v5 z roku 2020 [35, s. 54]. Výsledky jsou vypočteny formou „WTT“ (což je zkratka anglického termínu well-to-tank), která předpokládá započítání celého výrobního řetězce od těžby surovin až po rozvoz a čerpání paliva. Označení well-to-tank tento řetězec jasně vymezuje – v překladu má označení význam „z vrtu do nádrže“. Takto zjištěná data jsou spojena do celkového kontextu s daty „TTW“ (tank-to-wheels) což je metoda, která zkoumá množství vyprodukovaných emisí v celém řetězci, který je vymezen označením tank-to-wheels – v překladu „z nádrže na kola“. Řetězec TTW je spjat s metodikou WLTP. Kombinací WTT a TTW vzniká WTW (well-to-wheels). Metodika well-to-wheels tedy zahrnuje celkové emise paliva.



Obr. 22 - Grafické znázornění emisí CO₂, [35, s. 54] – graf 20 pro WLTP - přeloženo

Tato studie obsahuje grafy (obr. 22), z kterých lze vyčíst, že přírůstek emisí CO₂ z výroby nafty činí 24 g CO₂-eq/km (tzv. well-to-tank) vůči spálení odpovídajícího množství nafty, které vyprodukuje 96 g CO₂-eq/km (tzv. tank-to-wheel). Výroba nafty tedy činí 25 % z emisí vyprodukovaných vozidlem dle vztahu (8).

$$\frac{\text{emise výroby nafty}}{\text{emise spálení}} = \frac{24}{96} = 25 \% \quad (8)$$

V případě benzínu je představuje rovněž 24 g CO₂-eq/km (tzv. well-to-tank) a jeho spálení ve vozidle vyprodukuje 104 g CO₂-eq/km (tzv. tank-to-wheel). Výroba benzínu tedy představuje 23 % z emisí vyprodukovaných vozidlem dle vztahu (9).



$$\frac{\textit{emise výroby}}{\textit{nafty}} = \frac{24}{104} = 23 \% \quad (9)$$

Průměr z těchto dvou hodnot činí 24 %, což je hodnota, se kterou počítá také porovnávací nástroj.

Údaje o produkci emisí CO₂ uvádějí v jednotkách [g CO₂/km] sami výrobci vozidel se spalovacím motorem. Produkované emise zvoleného vozidla jsou tedy v porovnávacím nástroji navýšeny o dalších 24 % z udávané hodnoty.

5.2.2.3 Emise CO₂

Hodnoty emisí jsou v jednotkách g/km a pro potřeby porovnání jsou využívány hodnoty průměrné. Pokud výrobce vozidla neuvádí rovnou průměrnou hodnotu, byla tato hodnota vypočítána na základě udávaného rozptylu.

Průměrné uživatelské emise byly stanoveny poměrným přepočtem na základě podílu uživatelské a výrobcem udávané spotřeby. Přepočet vystihuje vztah (10).

$$\frac{\textit{emise uživatelské}}{\textit{průměrné}} = \frac{\textit{spotřeba uživatelská průměrná}}{\textit{spotřeba udávaná průměrná}} \cdot \textit{emise udávané průměrné} \quad (10)$$

V případě vozu BMW 520d Touring je tento výpočet následující (11).

$$\frac{\textit{emise uživatelské}}{\textit{průměrné}} = \frac{6,64}{5,1} \cdot 134 = 174,5 \textit{ g/km} \quad (11)$$

5.3 Použité výpočty

Výsledkem je grafické porovnání kumulovaných emisí CO₂ dvou různých automobilů za jejich celý životní cyklus automobilu, který v tomto porovnání reprezentuje nájezd 240 000 km.

Kumulované emise jsou reprezentovány především dvěma křivkami:

- Křivka BEV – zelená barva, vozidlo s elektrickým pohonem vybavené baterií
- Křivka ICE – červená barva, vozidlo se spalovacím motorem



5.3.1 Křivka BEV

Tato křivka se celkem skládá ze 3 částí – výroba baterie (světle modrá barva), výroba vozidla bez baterie (tmavě modrá barva) a provoz BEV v rámci životního cyklu (zelená barva).

5.3.1.1 Výroba baterie

Výpočet vyprodukovaných emisí z výroby baterie [t CO₂-eq] je založen na následujících parametrech:

- Celková kapacita baterie vozidla [kWh]
- Náročnost výroby baterie [MJ/kWh]
- Energetický mix v místě výroby baterie [g CO₂/kWh]

Tyto parametry jsou dosazeny do vztahu (12).

$$v\acute{y}r\acute{o}b\acute{a} \text{ baterie} = \frac{\left(\left[\frac{\text{celková kapacita baterie} \cdot \text{náročnost výroby baterie}}{3,6} \right] \cdot \text{energetický mix v místě výroby baterie} \right)}{10^6} \quad (12)$$

V grafickém porovnání je výsledek tohoto výpočtu reprezentován světle modrým sloupcem v levé dolní části grafu.

5.3.1.2 Výroba vozidla BEV

Velikost emisí CO₂-eq z výroby vozidla BEV bez baterie je rozdělena do tří kategorií podle velikosti vozidla. Každému vozidlu v tabulce 40 (v příloze) byla přiřazena jeho velikost vyjádřená čísly 1, 2 a 3. Výběr vozidla automaticky ovlivní tuto volbu. Nástroj pro porovnání počítá s celkovou hodnotou, která je v tabulce 22 uvedena ve sloupci zcela vpravo.



Tab. 22.: Velikost emisí CO₂-eqz výroby vozidla BEV bez baterie

Kategorie	Karoserie	Motor	Ostatní části	Výroba	Celkem
-	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq
1 - Malé BEV	2,6	0,2	0,8	1,5	5,1
2 - Střední BEV	3,3	0,3	0,9	1,5	6
3 - Velké BEV	5	0,4	1,5	1,5	8,4

Hodnoty v tabulce 22 byly odečteny z grafu publikovaného ve zprávě UMBReLA – Umweltbilanzen Elektromobilität [36, s. 34], vydané německým ministerstvem životního prostředí, ochrany přírody a jaderné bezpečnosti. Údaje o produkci CO₂ z výroby baterie, které jsou vyčíslené v tomto grafu, nebyly v této práci použity. Od publikování této studie se kategorie BEV dynamicky vyvíjela, a především data týkající se kapacity baterií, se kterými je v grafu počítáno, už dnes nejsou relevantní.

Takto vzniklé emise z výroby BEV bez započítání baterie reprezentuje v grafu porovnání tmavě modrý sloupec.

5.3.1.3 Provoz vozidla BEV

Emise vznikající při provozu vozidla v rámci jeho životního cyklu z výroby elektrické energie. Takto vzniklé emise jsou dány následujícími parametry:

- Spotřeba vozidla [kWh/100 km]
- Energetický mix v místě provozu vozidla [g CO₂/kWh]
- Ztráty v přenosové soustavě [%], resp. přírůstek spotřeby elektřiny z výroby a distribuce elektřiny (stanoven v kapitole 5.2.1.2)
- Nabíjecí ztráty [%], stanoveny v kapitole 5.2.1.3

Takto vzniklé emise v porovnání reprezentuje rostoucí lineární funkce, kdy každý ujetý kilometr znamená spotřebovanou energii, a tedy také vyprodukované emise. Lineární funkce je dána předpisem (13).



$$y = ax + b \quad (13)$$

Pro případ výpočtu kumulovaných emisí je význam proměnných následující (14):

$$\begin{aligned} y &= \text{kumulované emise z provozu vozidla [t CO}_2\text{ - eq]} \\ x &= \text{nájezd vozidla [km]} \\ a &= \text{emise z ujetého kilometru [t CO}_2\text{ - eq/km]} \\ b &= \text{emise z výroby baterie a vozidla [t CO}_2\text{ - eq]} \end{aligned} \quad (14)$$

Koeficient a je vypočten následujícím způsobem (15).

$$\begin{aligned} a &= \left\{ \left[\left(\frac{\text{spotřeba vozidla [kWh/100km]}}{100} \right) \cdot P_{Z_{\text{nabíjení}}} \right] \cdot P_{Z_{\text{přenos}}} \right\} \cdot m \\ P_{Z_{\text{nabíjení}}} &= \text{ztráty při nabíjení vozidla [%]} \\ P_{Z_{\text{přenos}}} &= \text{ztráty v přenosové soustavě elektrické energie [%]} \\ m &= \text{energetický mix v místě provozu [t CO}_2\text{ - eq]} \end{aligned} \quad (15)$$

Kde ztráty při nabíjení budou započítány dle (16):

$$P_{Z_{\text{nabíjení}}} = \frac{100}{(100 - \text{nabíjecí ztráty})} \quad (16)$$

A ztráty v přenosové soustavě dle (17):

$$P_{Z_{\text{přenos}}} = \frac{100}{(100 - \text{ztráty v přenosové soustavě})} \quad (17)$$

Energetický mix je připočítán dle vztahu (18):

$$m = \frac{\text{energetický mix v místě provozu [g CO}_2\text{/kWh]}}{10^6} \quad (18)$$

Takto vzniklé emise jsou v grafu vyznačeny rostoucí zelenou přímkou.

5.3.2 Křivka ICE

Křivka reprezentující vozidlo se spalovacím motorem se skládá celkem ze 2 částí – výroba vozidla a provoz ICE v rámci životního cyklu (červená barva).



5.3.2.1 Výroba vozidla ICE

Velikost emisí CO₂-eq z výroby vozidla ICE je rozdělena do tří kategorií podle velikosti vozidla stejně jako v případě BEV. Každému vozidlu v tabulce 41 (v příloze) byla přiřazena jeho velikost vyjádřená čísly 1, 2 a 3. Výběr vozidla automaticky ovlivní tuto volbu. Nástroj pro porovnání počítá s celkovou hodnotou, která je v tabulce 23 uvedena ve sloupci zcela vpravo.

Tab. 23.: Velikost emisí CO₂-eq z výroby vozidla ICE

Kategorie	Karoserie	Motor	Ostatní části	Výroba	Celkem
-	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq
1 - Malé BEV	2,6	0,4	0,5	1,5	5
2 - Střední BEV	3,3	0,5	0,6	1,5	5,9
3 - Velké BEV	5	0,8	0,8	1,5	8,1

Hodnoty v tabulce 23 byly odečteny z grafu publikovaného ve zprávě UMBReLA – Umweltbilanzen Elektromobilität [36, s. 22], vydané německým ministerstvem životního prostředí, ochrany přírody a jaderné bezpečnosti. Takto vyčíslená produkce emisí byla v této zprávě porovnána také s údaji od samotných výrobců (VW a Daimler). Vyčíslení autorů zprávy korespondovalo s údaji od výrobců vozidel.

Výroba vozidla ICE je v grafu porovnávacího nástroje reprezentována oranžovým sloupcem.

5.3.2.2 Provoz vozidla ICE

Přírůstek emisí z provozu vozu se spalovacím motorem je řešen analogicky jako v kapitole „3.3.1.3. Provoz BEV“. V tomto případě jsou však výchozí parametry tyto:

- Emise CO₂ vyprodukované při jízdě [g/km]
- Přírůstek emisí CO₂ z výroby a distribuce uhlovodíkových paliv [g/km]

I zde vyprodukované emise reprezentuje lineární funkce, která je dána předpisem (19).

$$y = cx + d \quad (19)$$



Pro případ výpočtu kumulovaných emisí je význam proměnných následující (20):

$$\begin{aligned}y &= \text{kumulované emise z provozu vozidla [t CO}_2\text{ - eq]} \\x &= \text{nájezd vozidla [km]} \\c &= \text{emise z ujetého kilometru [t CO}_2\text{ - eq/km]} \\d &= \text{emise z výroby vozidla [t CO}_2\text{ - eq]}\end{aligned}\tag{20}$$

Koeficient a je vypočten následujícím způsobem (21).

$$a = \frac{\text{Produkované emise při jízdě vozem + přírůstek z výroby paliv}}{10^6}\tag{21}$$

Takto vzniklé emise jsou v grafu vyznačeny rostoucí červenou přímkou.

5.3.3 Průsečík

Průsečík (bod rovnosti) je v grafickém porovnání bodem, ve kterém jsou si rovny vyprodukované emise obou automobilů – to znamená, že z hlediska emisní náročnosti jsou obě vozidla rovnocenné.

Vpravo od průsečíku je oblast, kde se zpravidla začne BEV projevovat jako ekologičtější, protože kumulované emise z jeho provozu rostou pomaleji než kumulované emise z provozu ICE.

K průsečíku teoreticky vůbec dojít nemusí, popřípadě může k průsečíku dojít mimo vymezenou oblast grafu, která je dána nájezdem 240 000 km.

Průsečík je dán souřadnicemi, které na vodorovné ose udávají nájezd, ve kterém došlo k vyrovnání obou vozidel a na svislé ose celkovou výši vyprodukovaných emisí do vyrovnání obou vozidel. Přesná číselná hodnota těchto souřadnic je uvedeno v rámečku pod grafem.

5.4 Návod k obsluze porovnávacího nástroje

Porovnávací nástroj byl vytvořen pro posuzování životního cyklu BEV a ICE a ilustraci vlivu jednotlivých parametrů na celkový výsledek. Cílem bylo vytvořit rychlý a univerzální porovnávač, který uživateli poskytne v pár krocích celkový odhad emisí CO₂-eq vyprodukovaných v životním cyklu vozidla.



Porovnávací nástroj je tvořen samostatným souborem aplikace Excel pod názvem „Porovnavaci_nastroj_BEV_vs_ICE.xlsx“ a je přílohou této práce. První list, který se zobrazí po otevření souboru je list samotného porovnání vozidel. V horní části je zobrazeno výsledné grafické porovnání a níže jsou ovládací panely BEV a ICE.

5.4.1 Panel BEV

Panel je orámovaný zelenou barvou (obr. 23). Celkem je možné zde navolit 8 parametrů v následujícím pořadí:

1. Volba spotřeby – nastavení hodnoty průměrné spotřeby buď na základě výrobcem uváděných dat, nebo na základě hodnot spotřeb, kterých dosáhli spotřebitelé v různých druzích provozu. Spotřebitelské hodnoty spotřeb jsou založeny na databázi www.spritmonitor.de.
2. Volba automobilu BEV – výběr libovolného vozidla z nabídky. Nabídka ve formě vyskakovacího okna se zobrazí po kliknutí na šipku v pravé části panelu. Pohyb v nabídce je možný šipkami na pravém okraji vyskakovacího okna, popřípadě tažením posuvníku.
3. Ztráty v přenosové soustavě – výchozí hodnota představuje 11,6 % a je platná pro Českou republiku.
4. Způsob nabíjení vozu, který má přímý vliv na ztráty při nabíjení vozu. Na výběr je ze 4 možností. Výrobci BEV doporučují nabíjet v rozmezí 20 – 80 % SOC.
5. Energetický mix v místě provozu vozidla udává s jakou uhlíkovou stopou se vyrábí elektřina, která je v rozvodné síti státu ve kterém je vozidlo nabíjeno. Na výběr je 7 možností.
6. Energetický mix v místě výroby baterie – na výběr je opět 7 možností, avšak většina baterií pro BEV provozované ve střední Evropě se vyrábí v Číně, Polsku a Jižní Koreji.
7. Náročnost výroby baterie vyjadřuje, kolik MJ energie je potřeba pro výrobu 1 kWh baterie. Na tuto tematiku byla mimo jiné zaměřena práce Emise CO₂ při výrobě baterií [1]. Jako vhodný kompromis se jeví střední odhad.



8. Výpočet celkových emisí v libovolném nájezdu. Funkce pro uživatele, které zajímá konkrétní bod kdekoliv na křivce BEV v grafu.

Takto zvolená specifikace je kompletní a zobrazená modro-zelená křivka v grafickém porovnání ihned reaguje na jakoukoliv změnu a odpovídá právě zvoleným parametrům.

BEV

Spotřeba udávaná:
Výrobem 16,8 kWh/100 km
 Vlastní spotřeba vozu:

Model vozu:
Škoda Enyaq iV 80; 77 kWh

Ztráty v přenosové soustavě elektřiny:
Počítáno s přírůstkem ve výši 11,6 % 11,60 %
 Vlastní ztráty v přenosové soustavě:

Způsob nabíjení vozu: **Ztráty při nabíjení vozu:**
AC nabíjení 4+1 12,8 %
 Vlastní ztráty při nabíjení vozu:

Energetický mix v místě provozu:
EU-27 261 g CO2/kWh
 Vlastní energetický mix:

Energetický mix v místě výroby baterie:
Čínský 549 g CO2/kWh
 Vlastní energetický mix:

Náročnost výroby baterie:
Střední odhad 670 MJ/kWh
 Vlastní odhad

Celkové emise výroby: 16,78 t CO2-eq
Emise výroby baterie: 8,38 t CO2-eq
Emise výroby vozu bez baterie: 8,4 t CO2-eq

Celkové emise v: 240000 km
30,43 t CO2-eq

Obr. 23 - Panel BEV pro volbu parametrů

5.4.2 Panel ICE

Panel orámovaný červenou barvou (obr. 24), ve kterém se volí až 4 parametry.

1. Průměrná spotřeba udávaná výrobcem nebo uživateli. Uživatelské spotřeby vycházejí z dat na serveru www.spritmonitor.de.
2. Automobil ICE – výběr libovolného vozidla z nabídky se provádí ve vyskakovacím okně, které se zobrazí po rozkliknutí šipky v pravé části okénka volby. Ve



vyskakovacím okně je možné rolovat posunem posuvníku či poklepáním na šipky v pravé části vyskakovacího okna.

3. Emise produkované výrobou fosilních paliv – výchozí přírůstek činí 24 % - tato hodnota je platná pro benzín a diesel užívané v Evropské unii.
4. Výpočet celkových emisí v libovolném nájezdu vozu.

Takto zvolené kroky představují kompletní konfiguraci ICE a zobrazená oranžovo-červená křivka v grafickém porovnání tyto volby ihned reflektuje.

ICE

Spotřeba udávaná:
Výrobce: 6,4 l/km
 Vlastní spotřeba vozu:

Model vozu:

Produkovávané emise CO₂ z výroby a distribuce paliv:
Počítáno s přírůstkem ve výši 24 % 34,68 g/km
 Vlastní přírůstek z výroby paliv:

Produkovávané emise CO₂ při jízdě vozem:
144,50 g/km

Celkové produkované emise CO₂ při provozu vozu:
179,18 g/km

Celkové emise výroby: 5,90 t CO₂-eq

Celkové emise v: km
48,90 t CO₂-eq

Obr. 24 - Panel ICE pro volbu parametrů



5.4.3 Výsledné grafické porovnání

Volby provedené na panelu BEV a ICE se ihned promítají do výsledného grafického porovnání, které obsahuje modro-zelenou křivku BEV a oranžovo-červenou křivku ICE. Tyto křivky znázorňují kumulované emise CO₂ v životním cyklu automobilu.

Pokud se tyto křivky protínají, je zde vidět průsečík křivek a jeho souřadnice, které jsou číselně uvedené v černém rámečku pod grafem.

Průsečík reprezentuje bod, kdy se vyrovnají vyprodukované emise během životního cyklu obou vozidel. Na obě strany od tohoto bodu vždy převažují vyprodukované emise CO₂ jednoho z vozidel.

Svislá osa je v jednotkách [t CO₂-eq]¹² a vodorovná v jednotkách [km], zobrazovaný nájezd je 240 000 km.

5.4.4 Vstupní data pro výpočty

Grafické porovnání a panely BEV a ICE čerpají data pro výpočty z tabulek, které jsou umístěny pod panely BEV a ICE. Tyto tabulky nejsou určeny pro výběr možností či změnu parametrů uživatelem (není vhodné zde cokoli měnit, pokud uživatel plně neporozumí celkové koncepci porovnávacího nástroje). Jsou zde však uvedeny pro celkovou transparentnost porovnávacího nástroje.

Okolnosti získu těchto parametrů jsou popsány v kapitole 4.2 Zdrojová data.

Technická data vozidel jsou uvedena také zvlášť v přehledných tabulkách na listu „BEV datasheet“ (Tab. 40 – příloha) a „ICE datasheet“ (Tab. 41 – příloha). Tyto dvě tabulky nejsou nijak propojeny s výpočty na prvním listu „Porovnání“.

5.5 Volba vlastních parametrů

Řada parametrů v porovnávacím nástroji má také možnost zadání vlastní hodnoty. Takovéto parametry mají na levé straně zaškrtačací políčko, při jeho zaškrtnutí porovnávací

¹² CO₂-eq reprezentuje celkové množství vyprodukovaných skleníkových plynů vyjádřených ekvivalentem množství CO₂



nástroj automaticky počítá s hodnotou, která je uvedena v bílém poli vpravo s černým ohraničením, které se objeví po zaškrtnutí políčka.

Volbu vlastní spotřeby zachycuje obr. 25.

BEV

Spotřeba udávaná:

Uživateli 27,8 kWh/100 km

Vlastní spotřeba vozu: 27,8 kWh/100 km

Model vozu:

Mustang Mach-E AWD; 98,7 kWh

Obr. 25 - Zaškrtnuté políčko vlevo, porovnávací nástroj počítá s hodnotou 27,8 uvedenou v bílém poli s černým ohraničením

V případě odškrtnutí políčka porovnávací nástroj opět počítá s vlastními hodnotami, které čerpá dle výběru uživatele ze zdrojových tabulek. Bílé pole vpravo v takovém případě není vidět, aby bylo patrné že není využíváno pro výpočet. Výchozí stav porovnávacího nástroje je bez zaškrtnutých políček.

Výchozí volbu spotřeby bez využití vlastních parametrů zachycuje obr. 26.

BEV

Spotřeba udávaná:

Uživateli 25,65 kWh/100 km

Vlastní spotřeba vozu:

Model vozu:

Mustang Mach-E AWD; 98,7 kWh

Obr. 26 - Výchozí stav, kdy políčko vlevo není zaškrtnuté, porovnávací nástroj počítá s hodnotou 25,65, kterou čerpá ze zdrojových tabulek. Bílé pole vpravo pro zadání vlastní hodnoty je skryté.

Vlastní parametry je nutné volit s rozmyslem v odpovídajících jednotkách. Předpokládá se znalost významu a reálného rozptylu voleného parametru. V případě zadání nereálné či jinak extrémní hodnoty je zobrazený výsledek nerelevantní.



5.6 Porovnání s jinými studii

Vyčíslování emisí v průběhu životního cyklu vozidla a porovnávání BEV a ICE se objevilo také v dalších studiích. V této kapitole jsou uvedeny příklady porovnání výsledků jiných studií vůči porovnávacímu nástroji v této práci.

5.6.1 Green NCAP

Jedná se o nezávislou organizaci, která hodnotí automobily na základě posouzení celkového životního cyklu vozidla označovaného zkratkou LCA (Life Cycle Assessment). Jedná se o metodiku, která využívá principu cradle-to-gate a zahrnuje veškeré procesy a toky energií, které jsou spojeny s výrobou, provozem a recyklací vozidla.

Cílem Green NCAP je poskytnout běžnému spotřebiteli možnost porovnat mezi sebou automobily z hlediska vyprodukovaných emisí během jeho životního cyklu. Legislativní požadavky představují pouze soubor limitů za jasně daných specifických podmínek, které však nemusí být v reálném světě dosažitelné. Spotřebitel se nemá šanci dozvědět objektivní porovnání, zda vozidla splňují více než pouze minimální legislativní požadavky. Touha výrobců po úspěchu v přísnějších testech Green NCAP, by tedy měla motivovat výrobce k větším inovacím, než které vyžadují legislativní limity.

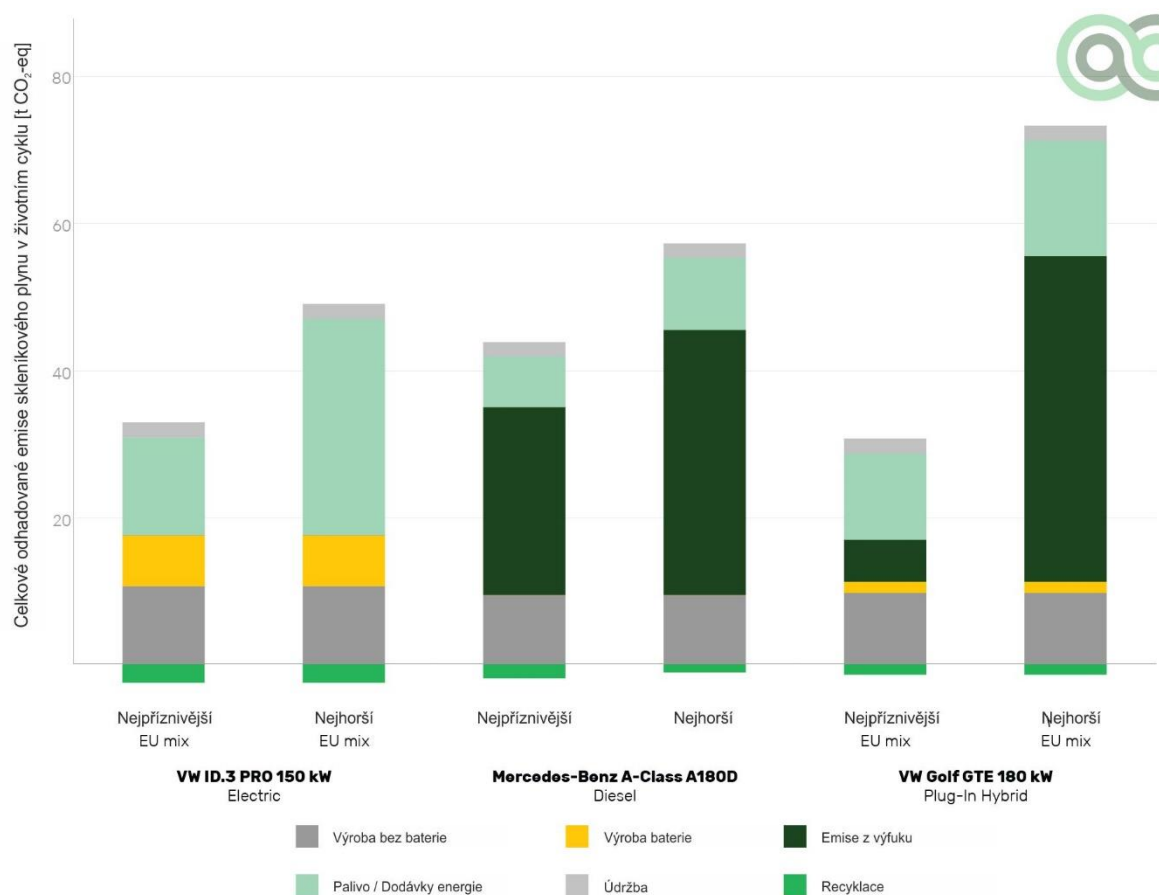
Je zde paralela s organizací Euro NCAP, která jasně danými spotřebitelskými testy porovnává bezpečnost různých vozidel, přičemž úspěch v těchto testech motivuje výrobce ke zlepšení bezpečnostních systémů nad rámec legislativy. Úspěšnost v Euro NCAP pak může být rozhodovacím kritériem i pro samotného spotřebitele.

Metodika Green NCAP je založena na posouzení životního cyklu, který je vyjádřen stářím 16 let a nájezdem 240 000 km. Je používán průměrný evropský energetický mix (EU27) včetně Velké Británie.

Organizace Green NCAP v současné chvíli (červen 2022) plánuje spuštění interaktivní platformy LCA pro porovnávání až 4 vozidel z hlediska vyprodukovaných emisí v rámci životního cyklu, kde bude možné volit například konkrétní zemi provozu dle situace spotřebitele. Lze přepokládat, že tato interaktivní platforma, bude řešit obdobnou tematiku, jako porovnávací nástroj obsažený v této práci.



Na webu Green NCAP [37] je k dispozici grafické porovnání (obr. 27), které vystihuje rozdílnost celkových vyprodukovaných emisí v závislosti na spotřebě vozidla. Jako BEV je zde uveden VW ID.3 PRO 150 kW. Z grafického vyjádření lze vyčíst, že výroba vozu bez baterie představuje produkci více než 10 tun CO₂-eq, výroba baterie představuje přibližně 7 tun CO₂-eq, emise ze spotřeby energie během provozu se pohybuje mezi 13 až 30 tunami CO₂-eq a emise z údržby vozidla činí 2 tuny CO₂-eq.



Obr. 27 - Grafické vyčíslení rozptylu vyprodukovaných emisí v životním cyklu vybraných automobilů, zejména VW ID.3 [37] - přeloženo

V rámci této práce nebyla údržba vozidla uvažována, ale z grafického porovnání Green NCAP je patrné, že představuje poměrně konstantní složku životního cyklu, která má v kontextu celkových emisí menší význam. Dále uvedené porovnání bude tedy bez uvažování složky údržby.



Výroba vozidla velikosti VW ID.3 byla v této práci vyčíslena na 6 tun CO₂-eq oproti 10 tunám CO₂-eq uvedeným v grafu Green NCAP. Emise z výroby baterie při zvolení střední náročnosti (670 MJ/kWh) a výrobě v Číně (549 g CO₂/kWh) vychází na 6,33 tun CO₂-eq. Green NCAP výrobu baterie vyčísluje na 7 tun CO₂-eq.

Spotřeba v nejlepším a nejhorším případě provozu byla dle Green NCAP zjištěna jako 16,9 kWh/100 km, respektive 38,3 kWh/100 km [38]. Při dosažení těchto spotřeb do porovnávacího nástroje (v rámci volby vlastní spotřeby), výchozího nastavení ztrát v přenosové soustavě, při volbě AC nabíjení 4+1 a EU-27 energetického mixu vychází při nejnižší spotřebě vyprodukované emise přibližně na 13,74 tun CO₂-eq a při nejhorší spotřebě na 31,13 tun CO₂-eq. Graf (obr. 28) Green NCAP pak udává 13 CO₂-eq a 30 CO₂-eq. Porovnání těchto číselných hodnot je uvedeno v tabulce 23 níže.

Tab. 24.: Srovnání výsledků Green NCAP a porovnávacího nástroje pro VW ID.3

VW ID.3, 58 kWh	Porovnávací nástroj	Green NCAP	
Výroba vozidla	6	10	[t CO ₂ -eq]
Výroba baterie	6,33 (střední odhad) (Čína)	7	[t CO ₂ -eq]
Emise ze spotřeby – nejnižší (16,9 kWh/100 km)	13,74 (ztráty přenosu 11,6 %) (AC nabíjení 4+1)	13	[t CO ₂ -eq]
Emise ze spotřeby – nejvyšší (38,3 kWh/100 km)	31,13 (ztráty přenosu 11,6 %) (AC nabíjení 4+1)	30	[t CO ₂ -eq]

Nastavení souhlasných podmínek v porovnávacím nástroji v případě nejnižší spotřeby 16,9 kWh/100 km je zobrazeno na obr. 28 a dále pro spotřebu 38,3 kWh/100 km na obr. 29. Ze srovnání výsledků je patné, že největší rozdíl činí vyjádření produkce emisí CO₂ z výroby vozidla. Organizace Green NCAP tento parametr počítá na základě hmotnosti vozidla a poměrného procentuálního složení vozu z různých materiálů na každý kilogram jeho hmotnosti. K jednotlivým materiálům jsou poté přiřazeny parametry, vyjadřující náročnost



jejich výroby. Procentuální skladba materiálů vozidla je stanovena zvlášť pro kategorii ICE, BEV, PHEV a HFC.

Použitá metodika posouzení velikosti vozu v porovnávacím nástroji této práce je popsána v kapitole 5.3.2.1 Výroba vozidla ICE a 5.3.1.2 Výroba vozidla BEV.

Další výsledky jednotlivých složek životního cyklu, uvedených v tab. 24, jako výroba baterie a emise ze spotřeby se liší v rámci jednotek tun CO₂-eq.

BEV

Spotřeba udávaná:

Výrobce	16,9 kWh/100 km
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní spotřeba vozu:	16,9 kWh/100 km

Model vozu:

VW ID.3 GO!; 58 kWh

Ztráty v přenosové soustavě elektřiny:

Počítáno s přírůstkem ve výši 11,6 %	11,60 %
<input type="checkbox"/> Vlastní ztráty v přenosové soustavě:	

Způsob nabíjení vozu: **Ztráty při nabíjení vozu:**

AC nabíjení 4+1	12,8 %
<input type="checkbox"/> Vlastní ztráty při nabíjení vozu:	

Energetický mix v místě provozu:

EU-27	261 g CO ₂ /kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	

Energetický mix v místě výroby baterie:

Čínský	549 g CO ₂ /kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	

Náročnost výroby baterie:

Střední odhad	670 MJ/kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní odhad	

Celkové emise výroby: 12,33 t CO₂-eq

Emise výroby baterie: 6,33 t CO₂-eq

Emise výroby vozu bez baterie: 6 t CO₂-eq

Celkové emise v: 240000 km
26,07 t CO₂-eq

Obr. 28 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz VW ID.3 a spotřebu 16,9 kWh/100 km



BEV

Spotřeba udávaná:

Výrobce	38,3 kWh/100 km
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní spotřeba vozu:	38,3 kWh/100 km

Model vozu:

VW ID.3 GO!; 58 kWh

Ztráty v přenosové soustavě elektřiny:

Počítáno s přírůstkem ve výši 11,6 %

<input type="checkbox"/> Vlastní ztráty v přenosové soustavě:	11,60 %
---	---------

Způsob nabíjení vozu: AC nabíjení 4+1

Ztráty při nabíjení vozu:

<input type="checkbox"/> Vlastní ztráty při nabíjení vozu:	12,8 %
--	--------

Energetický mix v místě provozu:

EU-27	261 g CO2/kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	

Energetický mix v místě výroby baterie:

Čínský	549 g CO2/kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	

Náročnost výroby baterie:

Střední odhad	670 MJ/kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní odhad:	

Celkové emise výroby: 12,33 t CO2-eq

Emise výroby baterie: 6,33 t CO2-eq

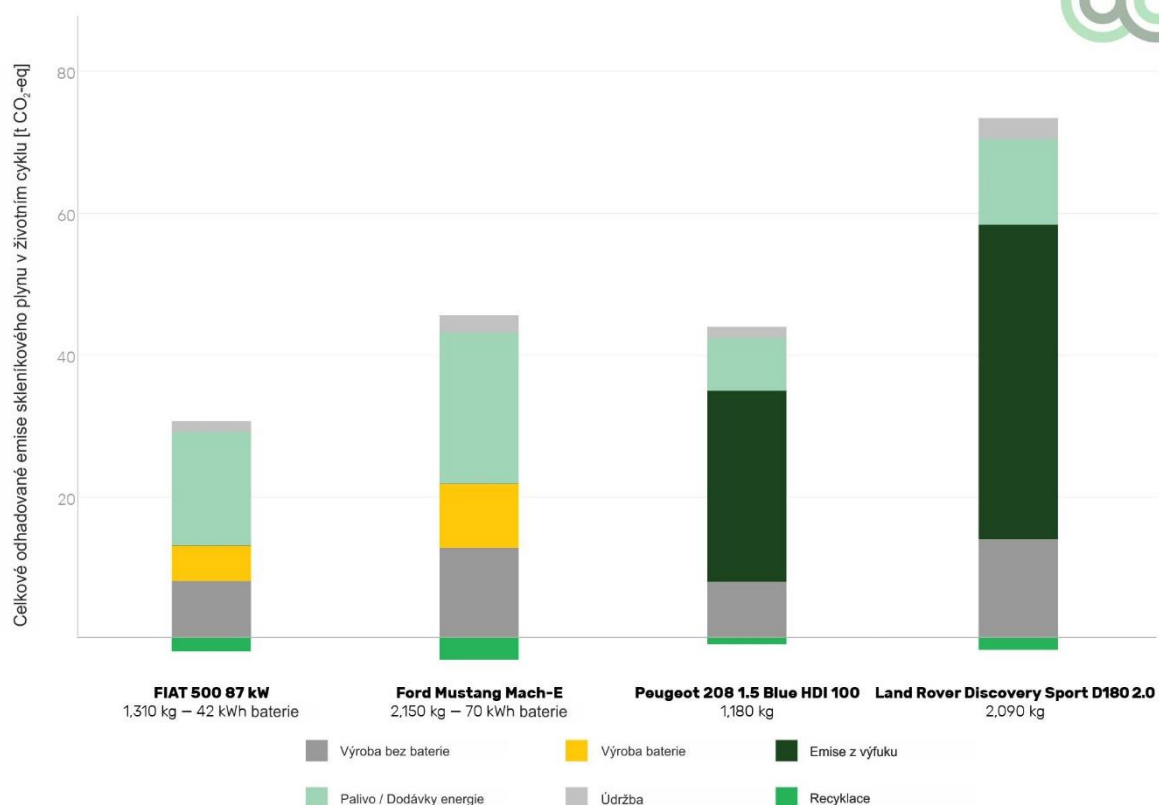
Emise výroby vozu bez baterie: 6 t CO2-eq

Celkové emise v: 240000 km

43,46 t CO2-eq

Obr. 29 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz VW ID.3 a spotřebu 38,3 kWh/100 km

Mezi dalšími grafy životních cyklů od společnosti Green NCAP jsou také vozidla Fiat 500 a Ford Mustang Mach-E obr. 30.



Obr. 30 - Grafické vyčíslení emisí v životním cyklu vybraných automobilů [37] - přeloženo

Výsledky porovnávacího nástroje uvedené v tab. 25 byly dosaženy nastavením, které je zachyceno na obr. 31. Výsledky analýzy Green NCAP uvedené v tab. 25 byly odečteny z grafu na obr. 30.

Tab. 25.: Srovnání výsledků Green NCAP a porovnávacího nástroje pro Fiat 500

Fiat 500, 42 kWh	Porovnávací nástroj	Green NCAP	
Výroba vozidla	5,1	8	[t CO ₂ -eq]
Výroba baterie	4,29 (střední odhad) (Čína)	5	[t CO ₂ -eq]
Emise ze spotřeby (20,9 kWh/100 km)	16,98 (ztráty přenosu 11,6 %) (AC nabíjení 4+1)	16	[t CO ₂ -eq]



V porovnávacím nástroji byla nastavena totožná spotřeba jako průměrná spotřeba dle LCA analýzy Green NCAP [39].

BEV

Spotřeba udávaná:

Výrobce	20,9 kWh/100 km
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní spotřeba vozu:	<input type="text" value="20,9"/> kWh/100 km

Model vozu:

Fiat 500; 42 kWh

Ztráty v přenosové soustavě elektřiny:

Počítáno s přírůstkem ve výši 11,6 % 11,60 %

Vlastní ztráty v přenosové soustavě:

Způsob nabíjení vozu: **Ztráty při nabíjení vozu:**

AC nabíjení 4+1	12,8 %
<input type="checkbox"/> Vlastní ztráty při nabíjení vozu:	

Energetický mix v místě provozu:

EU-27	261 g CO ₂ /kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	

Energetický mix v místě výroby baterie:

Čínský	549 g CO ₂ /kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	

Náročnost výroby baterie:

Střední odhad	670 MJ/kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní odhad	

Celkové emise výroby: 9,39 t CO₂-eq

Emise výroby baterie: 4,29 t CO₂-eq

Emise výroby vozu bez baterie: 5,1 t CO₂-eq

Celkové emise v: km
26,37 t CO₂-eq

Obr. 31 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Fiat 500 a spotřebu 20,9 kWh/100 km

Výsledky porovnávacího nástroje uvedené v tab. 26 byly dosaženy nastavením, které je zachyceno na obr. 32. Výsledky analýzy Green NCAP uvedené v tab. 26 byly odečteny z grafu obr. 30.



Tab. 26.: Srovnání výsledků Green NCAP a porovnávacího nástroje pro Ford Mustang Mach-E

Mustang Mach-E, 75,7 kWh	Porovnávací nástroj	Green NCAP	
Výroba vozidla	8,4	13	[t CO ₂ -eq]
Výroba baterie	7,73 (střední odhad) (Čína)	9	[t CO ₂ -eq]
Emise ze spotřeby (27,8 kWh/100 km)	22,6 (ztráty přenosu 11,6 %) (AC nabíjení 4+1)	21,5	[t CO ₂ -eq]

V případě vozu Ford Mustang Mach-e je v porovnávacím nástroji k dispozici pouze verze s celkovou kapacitou baterie 98,7 kWh. V rámci Green NCAP byla však prověřena pouze verze s baterií o kapacitě 75,7 kWh. Pro potřeby srovnání výsledků s Green NCAP však bylo počítáno s menší baterií, průměrná spotřeba byla nastavena dle LCA analýzy Green NCAP [40].

BEV

Spotřeba udávaná:

Uživatel: 27,8 kWh/100 km

Vlastní spotřeba vozu: 27,8 kWh/100 km

Model vozu:

Mustang Mach-E AWD; 75,7 kWh

Ztráty v přenosové soustavě elektřiny:

Počítáno s přírůstkem ve výši 11,6 % 11,60 %

Vlastní ztráty v přenosové soustavě:

Způsob nabíjení vozu: **Ztráty při nabíjení vozu:**

AC nabíjení 4+1 12,8 %

Vlastní ztráty při nabíjení vozu:

Energetický mix v místě provozu:

EU-27 261 g CO₂/kWh

Vlastní energetický mix:

Energetický mix v místě výroby baterie:

Čínský 549 g CO₂/kWh

Vlastní energetický mix:

Náročnost výroby baterie:

Střední odhad 670 MJ/kWh

Vlastní odhad:

Celkové emise výroby: 16,13 t CO₂-eq

Emise výroby baterie: 7,73 t CO₂-eq

Emise výroby vozu bez baterie: 8,4 t CO₂-eq

Celkové emise v: 240000 km
38,73 t CO₂-eq

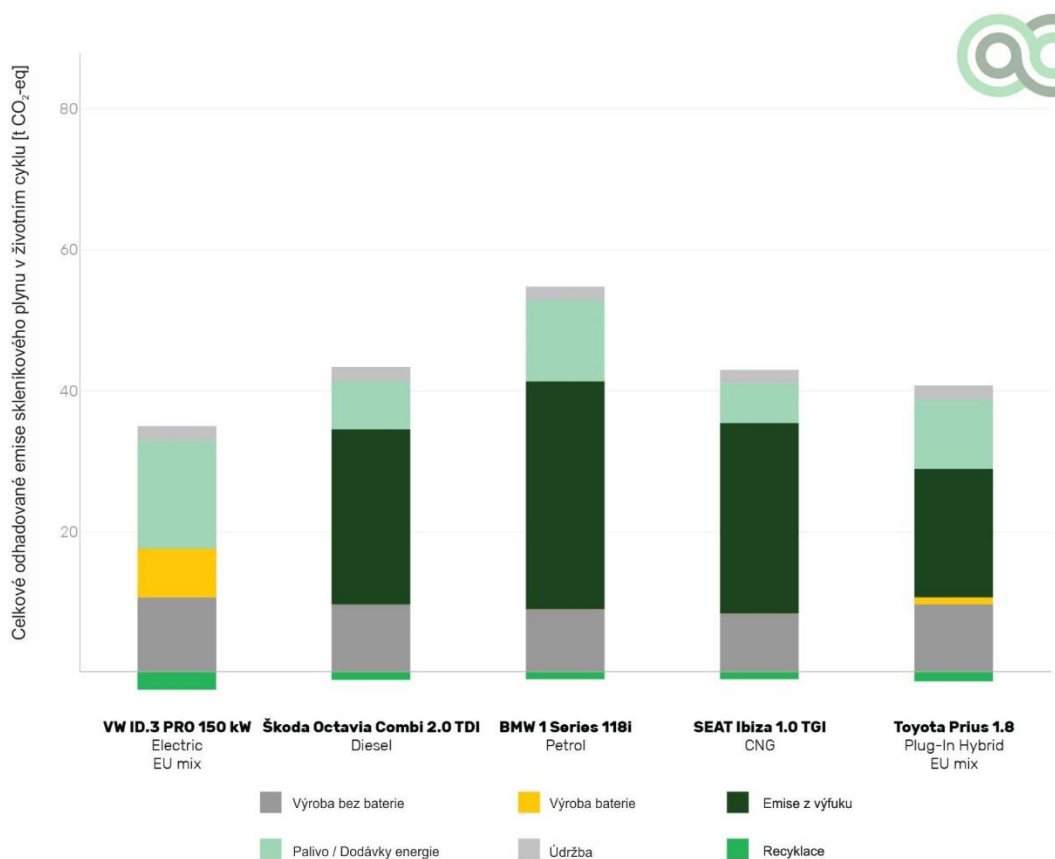
Obr. 32 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Ford Mustang Mach-E a spotřebu 27,8 kWh/100 km



Pro vozidla se spalovacím motorem, je k dispozici grafické vyjádření (obr. 33) emisí životního cyklu Green NCAP pro vůz Škoda Octavia TDI 85 kW. Přestože životní cyklus vozů se spalovacím motorem neobsahuje takové množství proměnných jako v případě BEV, je vhodné porovnat výsledky Green NCAP i pro ICE.

Tento model Škody Octavia není v porovnávacím nástroji zařazen, nicméně pro účely porovnání bylo provedeno nastavení výchozích parametrů odpovídající parametrům Škoda Octavia TDI 85 kW ve verzi liftback:

- Spotřeba 4,2 l/100 km dle [41]
- Emise 106,9 - 117,6 g/km dle dokumentace výrobce pro spotřebu 4,1 až 4,5 l/100 km



Obr. 33 - Grafické vyčíslení emisí v životním cyklu vybraných automobilů [37] - přeloženo



I v případě ICE je největší rozdíl mezi porovnávacím nástrojem a analýzou Green NCAP ve vyčíslení emisní náročnosti výroby vozidla. Rozdíl je dán pravděpodobně odlišnou metodikou, je otázkou na kolik jsou oba způsoby univerzální a obecně uplatnitelné. Nicméně oba způsoby zachycují skutečnost, že výroba srovnatelně velkých vozů¹³ produkuje obdobné množství emisí (pro BEV uvažována výroba vozu bez baterie). Například výroba vozu VW ID.3 bez baterie a vozu Škoda Octavia je dle grafu na obr. 34 porovnatelná. Výraznější rozdíly nastávají až při započítání emisí z výroby baterie a z provozu vozu.

Význam vyčíslení emisí z výroby vozů roste v případě, že jsou porovnávány vozy různých velikostí, jak lze vidět na grafickém zobrazení na obr. 31 v případě automobilů Fiat 500 a Ford Mustang Mach-e.

Tab. 27.: Srovnání výsledků Green NCAP a porovnávacího nástroje pro Škoda Octavia

Škoda Octavia	Porovnávací nástroj	Green NCAP	
Výroba vozidla	5,9	10	[t CO ₂ -eq]
Emise ze spotřeby ICE (4,2 l/100 km)	31,63 (přírůstek z výroby paliv 24 %)	31,5	[t CO ₂ -eq]

Výsledky porovnávacího nástroje uvedené v tab. 27 byly dosaženy nastavením, které je zachyceno na obr. 34. Výsledky analýzy Green NCAP uvedené v tab. 27 byly odečteny z grafu obr. 33.

¹³ Velikost by zde měla být posuzována především z hlediska rozměrů a hmotností dílů podvozku, karoserie, motorů a interiéru. Není vhodné porovnávat celkové váhy vozů, protože u BEV tvoří značnou část hmotnosti baterie, která je však z hlediska výrobní náročnosti posuzovaná samostatně.



ICE

Spotřeba udávaná:

Výrobcem	4,2 l/km
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní spotřeba vozu:	<input type="text" value="4,2"/> l/km

Model vozu:

Škoda Octavia; D; 85 kW; MP

Produkové emise CO₂ z výroby a distribuce paliv:

Počítáno s přírůstkem ve výši 24 %	26,31 g/km
<input type="checkbox"/> Vlastní přírůstek z výroby paliv:	

Produkové emise CO₂ při jízdě vozem:

	109,64 g/km
--	-------------

Celkové produkované emise CO₂ při provozu vozu:

	135,95 g/km
--	-------------

Celkové emise výroby:

	5,90 t CO ₂ -eq
--	----------------------------

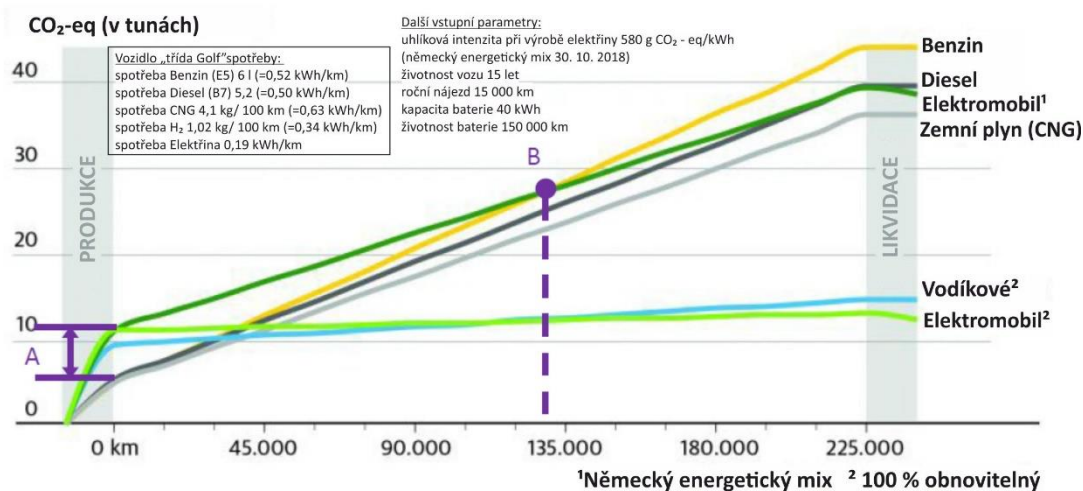
Celkové emise v:

<input type="text" value="240000"/> km	
	38,53 t CO ₂ -eq

Obr. 34 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Škoda Octavia TDI 85 kW

5.6.2 Joanneum research (2019)

V rámci zprávy *Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen: Version 1.1* [7] byly porovnávány různé varianty automobilu VW Golf. Ve vztahu k porovnávacímu nástroji je zajímavé především grafické srovnání varianty s benzinovým motorem a varianty s elektrickým pohonem, které je zobrazeno na obr. 35.



Obr. 35 - Produkce emisí CO₂ během životního cyklu vozidla VW Golf [7] - přeloženo

Vstupní parametry pro porovnání v této studii byly následující:

- Spotřeba BEV = 0,19 kWh/km = 19 kWh/100 km
- Energetický mix = 580 g CO₂-eq/kWh
- Spotřeba ICE (benzin) = 6 l/100 km
- Předpokládaný nájezd = 225 000 km
- Kapacita baterie = 40 kWh¹⁴
- Náročnost výroby baterie = 586 MJ/kWh

Tyto parametry byly nastaveny v porovnávacím nástroji díky možnosti volby vlastních parametrů. Dále bylo nutné doplnit produkci emisí z provozu spalovacího motoru. Vzhledem k datu publikování studie (rok 2019) bylo zvoleno vozidlo VW Golf sedmé generace v těchto specifikacích:

- VW Golf TSI 85 kW; udávaná spotřeba 4,9 l/100 km, emise 112 g CO₂-eq/km

Dle grafického zobrazení na obr. 35 odpovídá průsečík B přibližně nájezdu 127 000 km. Rozdíl vyznačený písmenem A, který reprezentuje přírůstek z výroby baterie odpovídá asi

¹⁴ V rámci analýzy bylo počítáno s 40 kWh baterií, nicméně VW e-Golf, který byl dosazen do porovnávacího nástroje disponoval kapacitou baterie o velikosti 35,8 kWh. Pro potřeby souhlasnosti tohoto porovnání, byla kapacita baterie v porovnávacím nástroji upravena na 40 kWh, tak aby korespondovala se studií Joanneum research (2019).

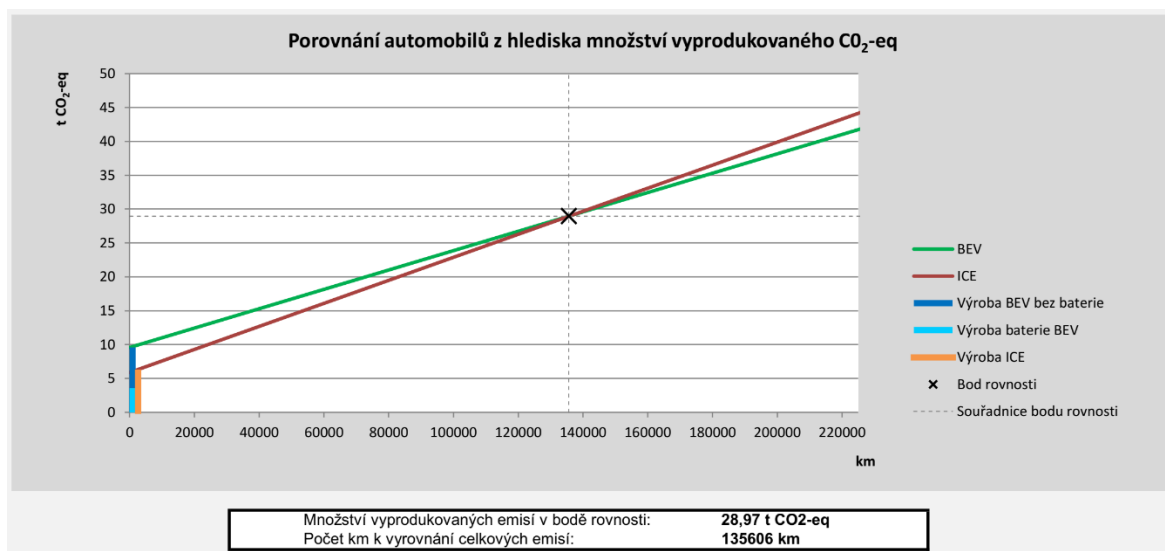


7 tunám CO₂-eq. Výroba vozidel bez baterie, respektive výroba vozidla se spalovacím motorem, vychází asi na 5 tun CO₂-eq. Porovnání výsledných hodnot je uvedeno v tab. 28.

Tab. 28.: Srovnání výsledků Joanneum research (2019) a porovnávacího nástroje pro vozy VW Golf

VW e-Golf vs. VW Golf TSI	Porovnávací nástroj	Joanneum	
Výroba vozidla	6	5	[t CO ₂ -eq]
Výroba baterie	3,57 (vlastní náročnost = 586 MJ/kWh) (Čína)	7	[t CO ₂ -eq]
Poloha průsečíku	135 606 (ztráty přenosu 11,6 %) (AC nabíjení 4+1)	127 000	[km]
Celkové emise BEV (po 225 000 km)	41,74	39,5	[t CO ₂ -eq]
Celkové emise ICE (TSI) (po 225 000 km)	44,16	44	[t CO ₂ -eq]

Výsledek porovnávacího nástroje je zobrazen na obr. 36 a jeho nastavení pro BEV na obr. 37 a pro ICE na obr. 38.



Obr. 36 - Produkce emisí CO₂ během životního cyklu vozidla VW Golf



BEV

Spotřeba udávaná:

Uživateli	19 kWh/100 km
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní spotřeba vozu:	19 kWh/100 km

Model vozu:

VW e-Golf; 40 kWh

Ztráty v přenosové soustavě elektřiny:

Počítáno s přírůstkem ve výši 11,6 % 11,60 %

Vlastní ztráty v přenosové soustavě:

Způsob nabíjení vozu: **Ztráty při nabíjení vozu:**

AC nabíjení 4+1	12,8 %
<input type="checkbox"/> Vlastní ztráty při nabíjení vozu:	

Energetický mix v místě provozu:

EU-27	580 g CO2/kWh
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	580 g CO2/kWh

Energetický mix v místě výroby baterie:

Čínský	549 g CO2/kWh
<input type="checkbox"/> Vlastní energetický mix:	

Náročnost výroby baterie:

Střední odhad	586 MJ/kWh
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní odhad	586 MJ/kWh

Celkové emise výroby: 9,57 t CO2-eq

Emise výroby baterie: 3,57 t CO2-eq

Emise výroby vozu bez baterie: 6 t CO2-eq

Celkové emise v: 225000 km
41,74 t CO2-eq

Obr. 37 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Ford Mustang Mach-E a spotřebu 27,8 kWh/100 km



ICE

Spotřeba udávaná:
Výrobce: 6 l/km
 Vlastní spotřeba vozu: 6 l/km

Model vozu:
VW Golf VII; B; 85 kW; MP

Produkovávané emise CO₂ z výroby a distribuce paliv:
Počítáno s přírůstkem ve výši 24 %: 32,91 g/km
 Vlastní přírůstek z výroby paliv:

Produkovávané emise CO₂ při jízdě vozem:
137,14 g/km

Celkové produkované emise CO₂ při provozu vozu:
170,06 g/km

Celkové emise výroby:
5,90 t CO₂-eq

Celkové emise v:
225000 km
44,16 t CO₂-eq

Obr. 38 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Ford Mustang Mach-E a spotřebu 27,8 kWh/100 km

5.6.3 Volvo (2020)

V rámci této práce je v kapitole 2.2 uveden rozbor zprávy Volvo (2020) [10], kde automobilka uvádí, že předpokládá nájezd 200 000 km.

Největší rozdíl ve výsledcích analýzy životního cyklu představuje vyhodnocení náročnosti výroby vozidla BEV bez baterie a ICE.

Pro výrobu BEV bez baterie Volvo počítá s hodnotou 18,4 t CO₂-eq a porovnávací nástroj s 8,4 t CO₂-eq.

V případě ICE Volvo uvádí 16,1 t CO₂-eq a porovnávací nástroj počítá s 8,1 t CO₂-eq.



Bohužel Volvo blíže nespecifikuje, jakou metodiku pro toto vyčíslení použilo. Jedná se o jedny z největších hodnot, které se v rámci vyčíslení emisní náročnosti výroby vozidel vyskytují napříč studii a analýzami. Avšak jedná se o údaj prezentovaný přímo výrobcem vozidla.

Dále je uvedeno, že výroba baterie o kapacitě 78 kWh pro model XC40 vyprodukuje 7 t CO₂-eq. Pokud zvolíme vozidlo XC40 jako BEV v porovnávacím nástroji, vybereme střední odhad náročnosti výroby baterie a umístění výroby baterie v Číně, vychází vyprodukované emise na 7,97 t CO₂-eq.

Bohužel automobilka nepoužívala žádný konkrétní energetický mix¹⁵, ale procentuální kombinaci energetických mixů dle územních prodejů svých vozidel, což nemusí zcela odpovídat tomu, kde je baterie vyráběna, a tedy co je zvoleno v porovnávacím nástroji. Zároveň je však ve studii uvedeno, že výsledné hodnoty emisí vztahující se k produkci baterií, byly vypočítány ve spolupráci se společnostmi CATL a LG Chem, od kterých Volvo nakupuje baterie. Je tedy otázkou, zda i pro vyčíslení emisí baterií byl použit složený energetický mix.

Spotřebu BEV Volvo předpokládalo ve výši 240 Wh/km (což je mimochodem více, než uvádí Volvo v technické specifikaci automobilů), což vyústilo při evropském energetickém mixu v celkové emise 18 t CO₂-eq. V porovnávacím nástroji byly emise ze spotřeby vyčísleny na 16,25 t CO₂-eq.

Celkové porovnání výsledků pro BEV je uvedeno v tabulce 29. Nastavení porovnávacího nástroje je zachyceno na obr. 39.

¹⁵ Použila přibližně energetický mix, který je roven 355 g CO₂-eq/kWh. Jedná se o vypočtenou hodnotu na základě informací ze studie, že mix je složen následujícím způsobem: 69 % EU, 26 % Čína, 5 % USA – patrně se jednalo o data z roku 2020. Takový mix je pro zemi, kde by se vyráběly baterie poměrně nepravděpodobný. Avšak pokud se nastaví horní odhad náročnosti výroby baterie, tak v porovnávacím nástroji vyjde 7,27 t CO₂-eq z výroby baterie vůči 7 tunám které udává Volvo.



BEV

Spotřeba udávaná:
Výrobce: 24 kWh/100 km
 Vlastní spotřeba vozu: 24 kWh/100 km

Model vozu:
Volvo XC40 AWD; 78 kWh

Ztráty v přenosové soustavě elektřiny:
Počítáno s přírůstkem ve výši 11,6 % 11,60 %
 Vlastní ztráty v přenosové soustavě:

Způsob nabíjení vozu: AC nabíjení 4+1
Ztráty při nabíjení vozu: 12,8 %
 Vlastní ztráty při nabíjení vozu:

Energetický mix v místě provozu:
EU-27 261 g CO₂/kWh
 Vlastní energetický mix:

Energetický mix v místě výroby baterie:
Čínský 549 g CO₂/kWh
 Vlastní energetický mix:

Náročnost výroby baterie:
Střední odhad 670 MJ/kWh
 Vlastní odhad:

Celkové emise výroby: 16,37 t CO₂-eq
Emise výroby baterie: 7,97 t CO₂-eq
Emise výroby vozu bez baterie: 8,4 t CO₂-eq

Celkové emise v: 200000 km 32,62 t CO₂-eq

Obr. 39 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Volvo (2020) pro vůz Volvo XC 40 Recharge a spotřebu 24 kWh/100 km

Tab. 29.: Srovnání výsledků Volvo (2020) a porovnávacího nástroje pro vůz Volvo XC 40 Recharge

Volvo XC 40 Recharge	Porovnávací nástroj	Volvo	
Výroba vozidla	8,4	18,4	[t CO ₂ -eq]
Výroba baterie	7,97 (střední náročnost) (Čína)	7	[t CO ₂ -eq]
Emise ze spotřeby (24 kWh/100 km)	16,25 (ztráty přenosu 11,6 %) (AC nabíjení 4+1) (EU-27)	18	[t CO ₂ -eq]



V případě ICE Volvo předpokládá spotřebu dle WLTP. Výsledky porovnání ICE jsou uvedeny v tabulce 30.

Tab. 30.: Srovnání výsledků Volvo (2020) a porovnávacího nástroje pro vůz Volvo XC 40

Volvo XC 40 Recharge	Porovnávací nástroj	Volvo	
Výroba vozidla	8,1	16,1	[t CO ₂ -eq]
Emise ze spotřeby (7,3 l/100 km)	41,04	41	[t CO ₂ -eq]

Nastavení porovnávacího nástroje zachycuje obr. 40.

ICE

Spotřeba udávaná:
Výrobem 7,3 l/km
 Vlastní spotřeba vozu:

Model vozu:
Volvo XC40; B; 95 kW; MP;

Produkové emise CO₂ z výroby a distribuce paliv:
Počítáno s přírůstkem ve výši 24 % 39,72 g/km
 Vlastní přírůstek z výroby paliv:

Produkové emise CO₂ při jízdě vozem:
165,50 g/km

Celkové produkované emise CO₂ při provozu vozu:
205,22 g/km

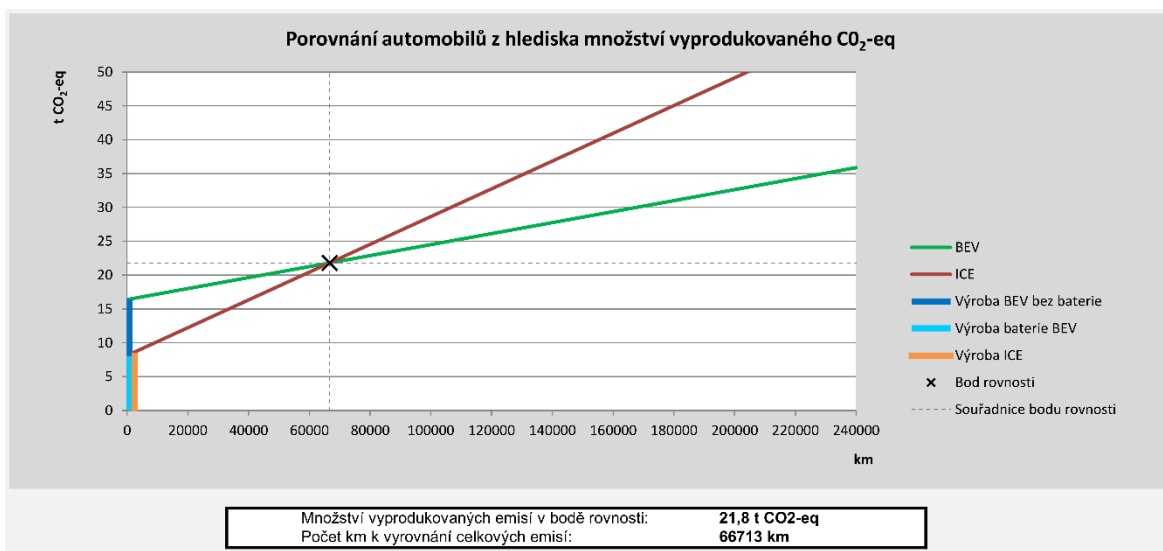
Celkové emise výroby: 8,10 t CO₂-eq

Celkové emise v: km 49,14 t CO₂-eq

Obr. 40 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Volvo (2020) pro vůz Volvo XC 40



Výsledek z porovnávacího nástroje je zobrazen na obr. 41. Jelikož porovnávací nástroj počítá s nižší náročností výroby automobilu než Volvo, vychází bod rovnosti už v nájezdu 66 713 km oproti nájezdu 84 000 km, který uvádí Volvo ve své studii.



Obr. 41 - Produkce emisí CO₂ během životního cyklu vozidla Volvo XC 40 Recharge a Volvo XC 40



5.7 Příklady porovnání

Životní cyklus vozidel obsahuje celou řadu neznámých, v této kapitole jsou uvedeny příklady vlivu jednotlivých parametrů na výslednou bilanci vyprodukovaných emisí.

Výsledek těchto porovnání představuje Bod rovnosti, kdy dojde k vyrovnání emisí CO₂-eq obou vozidel. Tento parametr je vyjádřen v kilometrech nájezdu. Parametry Bodu rovnosti v porovnávacím nástroji jsou uvedeny v černém rámečku pod vyobrazeným grafem.

Pokud není uvedeno jinak, porovnání je koncipováno tak, že parametry jednoho z vozů (BEV nebo ICE) jsou konstantní a vybrané parametry druhého vozu jsou měněny. Posuzuje se vliv změny daného parametru na výsledek.

Výsledky spolu se zvolenými parametry jsou uváděny v jednotlivých tabulkách, včetně vyčíslení procentuální odchylky od zvoleného základu. Červeně (růžově) podbarvené pole tabulek patří k vozům ICE a zeleně podbarvené pole tabulek se vztahují na vozy BEV.

Porovnáváme-li z pohledu vozu BEV, je průsečík vhodný v co nejmenším nájezdu. Naproti tomu porovnáváme-li z pohledu ICE, je průsečík vhodný v co nejvyšším nájezdu.

5.7.1 Vliv velikosti baterie

Posouzení významu velikosti baterie je ilustrováno porovnáním dvojice vozů Škoda Enyaq iV vůči Škodě Karoq. Nastavení pro Škodu Karoq (ICE) bylo po dobu celého porovnání konstantní a v případě Škody Enyaq iV (BEV) byl změněn pouze model s jinou kapacitou baterie. Jelikož je Enyaq s menší baterií také lehčí, má mírně nižší parametry spotřeby, které se odlišují v řádech desetin – jedná se o rozdíl 0,3 kWh / 100 km v případě výpočtu z výrobcem udávaných spotřeb. Takováto změna spotřeby má na výsledné porovnání minimální vliv.

Výsledky a specifikace nastavení jsou uvedeny v tab. 31.



Tab. 31.: Vliv velikosti baterie na výsledek porovnání

Automobil	Kapacita baterie	Poloha průsečíku	Odchylka
Škoda Enyaq iV 60	62 kWh	72 645 km	základ
Škoda Enyaq iV 80	82 kWh	136 477 km	+87 %
Specifikace: AC nabíjení 4+1 / Mix v místě provozu: Český Výroba baterie: Polsko / Náročnost výroby baterie: Střední			
Porovnáno vůči:			
Škoda Karoq	6,4 l/100 km Výrobce	110 kW Benzín	MP

Lze vidět, že význam velikosti baterie je opravdu značný, výroba menší 62 kWh baterie vyprodukuje 7,58 t CO₂-eq a výroba větší 82 kWh baterie vyprodukuje 10,03 t CO₂-eq. Rozdíl ve výši 2,45 t CO₂-eq na počátku životního cyklu může v tuzemských podmínkách vyústit v téměř dvojnásobný nájezd, než dojde k vyrovnání obou vozidel (nárůst 87 %).

Tuzemské podmínky České republiky zde byly zohledněny volbou energetického mixu v místě provozu vozidla a také volbou energetického mixu v místě výroby baterií, což je v tomto předpokladu Polsko. Jedná se sice o emisně nejnáročnější možnost, která výrobě baterií přidává vyšší váhu v kontextu životního cyklu, avšak dle dostupných informací je polský závod LG Chem dodavatelem [34] baterií pro koncern VW do kterého značka Škoda spadá.

5.7.2 Vliv energetického mixu v místě výroby baterie

Většina baterií pro BEV provozované ve střední Evropě se vyrábějí v následujících lokalitách: Čína, Polsko, Jižní Korea. Vliv energetických mixů jednotlivých zemí na vyrovnání vyprodukovaných emisí je při středním odhadu náročnosti výroby baterie uveden v tab. 32. Parametry ICE byly v tomto porovnání konstantní, v případě BEV byl měněn pouze energetický mix v místě výroby baterie.



Tab. 32.: Vliv odhadu náročnosti výroby baterie na výsledek porovnání

Automobil	Mix v místě výroby baterie	Poloha průsečíku	Odchylka
Škoda Enyaq iV 80	Čína	88 951 km	základ
Škoda Enyaq iV 80	Polsko	102 428 km	+15 %
Škoda Enyaq iV 80	Jižní Korea	75 598 km	-15 %
Specifikace: Spotřeba udávaná výrobcem / AC nabíjení 4+1 / Mix v místě provozu: EU-27 / Náročnost výroby baterie: Střední			
Porovnáno vůči:			
Škoda Karoq	6,4 l/100 km Výrobce	110 kW Benzín	MP

Výsledky tohoto porovnání (tab. 32) ukazují, že v rámci vybraných lokalit není rozdíl tak výrazný. Je nutné však uvažovat, že tato odchylka je platná pouze pro střední odhad náročnosti výroby baterií. Je zřejmé, že výrobu baterií by bylo vhodné umístit do zemí s příznivějším energetickým mixem. Společnost Volvo 1. 7. 2022 oznámila [42], že plánuje vybudovat nový výrobní závod BEV v Košicích na Slovensku. Je otázkou, jestli zde bude probíhat i výroba baterií, nicméně právě Slovensko může být vhodnou volbou z důvodu svého významně nižšímu energetickému mixu¹⁶ než Čína, Polsko či Jižní Korea.

5.7.3 Vliv náročnosti výroby baterie

Vyčíslení spotřebované energie pro výrobu baterie je důležitým parametrem pro posouzení její výroby. Hodnota náročnosti výroby baterie zahrnuje výrobu veškerých součástí baterie – články, moduly, ochranný obal, řídicí systém, chladicí či ohřevný systém.

Průměrný odhad náročnosti výroby baterie zde představuje „střední odhad“, který je v tomto porovnání považován za základ.

Parametry ICE byly v tomto porovnání konstantní, v případě BEV byl měněn pouze odhad náročnosti výroby baterie. Výsledky a specifikace parametrů jsou uvedeny v tab. 33.

¹⁶ Slovenský energetický mix byl v roce 2021 roven 174 g CO₂-eq/kWh dle dat organizace Our World in Data uváděné pod názvem Carbon intensity of electricity ve webové aplikaci [13].



Tab. 33.: Vliv odhadu náročnosti výroby baterie na výsledek porovnání

Automobil	Náročnost výroby baterie	Poloha průsečíku	Odchylka
Škoda Enyaq iV 80	Střední odhad	88 951 km	základ
Škoda Enyaq iV 80	Dolní odhad	61 343 km	-31 %
Škoda Enyaq iV 80	Horní odhad	117 070 km	+32 %
Specifikace: Spotřeba udávaná výrobcem / AC nabíjení 4+1 / Mix v místě provozu: EU-27 / Výroba baterie: Čína			
Porovnáno vůči:			
Škoda Karoq	6,4 l/100 km Výrobce	110 kW Benzín	MP

Výsledky ukazují, že vyčíslení náročnosti výroby baterií je velmi důležitým parametrem. Bylo by žádoucí nalézt větší shodu napříč studiemi na toto téma a snížit rozptyl hodnot, protože například horní odhad dosahuje bodu rovnosti v téměř dvojnásobném nájezdu oproti dolnímu odhadu.

5.7.4 Vliv energetických mixů v místě provozu

Důležitým parametrem je energetický mix v místě provozu vozidla. Pokud je vozidlo nabíjeno z běžné elektrické sítě, je každý ujetý kilometr vozu ovlivněn tímto parametrem. Parametry ICE byly v tomto porovnání konstantní, v případě BEV byl měněn pouze elektrický mix v místě provozu vozidla, přičemž průměrný energetický mix Evropské unie je považován za základ. Výsledky a specifikace parametrů jsou uvedeny v tab. 34.



Tab. 34.: Vliv energetického mixu v místě provozu na výsledek porovnání

Automobil	Mix v místě provozu	Poloha průsečíku	Odchylka
Škoda Enyaq iV 80	EU-27	88 951 km	základ
Škoda Enyaq iV 80	Německý	108 948 km	+22 %
Škoda Enyaq iV 80	Český	118 520 km	+33 %
Škoda Enyaq iV 80	Světový	131 303 km	+48 %
Škoda Enyaq iV 80	Jižní Korea	131 303 km	+48 %
Škoda Enyaq iV 80	Čínský	182 738 km	+105 %
Škoda Enyaq iV 80	Polský	302 242 km	+240 %
Specifikace: Spotřeba udávaná výrobcem / AC nabíjení 4+1 Výroba baterie: Čína / Náročnost výroby baterie: Střední			
Porovnáno vůči:			
Škoda Karoq	6,4 l/100 km Výrobce	110 kW Benzín	MP

Z výsledků je možné vidět, že energetický mix v místě provozu vozidla může mít zásadní vliv na výsledek. Navíc energetický mix dané země neovlivňuje pouze provoz BEV, ale veškeré sektory, kde je spotřebovávána elektřina. V případě elektrifikace dopravy je zásadní, aby tato doprava spotřebovávala elektrickou energii vyrobenou s co možná nejnižšími emisemi.

5.7.5 Vliv typu paliva

Česká republika je zemí, ve které jsou stále ve značné oblibě osobní automobily s dieselovými motory. V globálním měřítku se jedná o výjimku, protože celoevropský trh se od dieselových motorů postupně spíše odklání. Svůj význam na tom měla jistě aféra „diesel gate“ a celkově si lze všimnout, že všeobecná laická veřejnost nahlíží na dieselové motory jako na ty závadné a více znečišťující.

Z těchto důvodů bylo provedeno porovnání vlivu různých typů paliva na životní cyklus vozidel. Dvojice vozů Škoda Superb (ICE) byla porovnána proti automobilu Kia EV6 (BEV).



Bylo provedeno dvojí porovnání – na základě spotřeb udávaných výrobcem a také na základě uživatelských spotřeb.

Výsledky a volby pro porovnání typu paliva při výrobem udávaných spotřebách jsou uvedeny v tab. 35. Nastavení pro vůz Kia EV6 bylo konstantní, jak vůči benzinové Škodě Superb, tak vůči dieselové.

Tab. 35.: Vliv typu paliva – spotřeby udávané výrobcem

Automobil	Spotřeba	Poloha průsečíku	Odchylka
Škoda Superb Liftback Benzín; 140 kW; AP	7,1 l/100 km Výrobce	73 299 km	základ
Škoda Superb Liftback Diesel; 147 kW; AP	5,5 l/100 km Výrobce	91 041 km	- 24 %
Porovnáno vůči:			
Kia EV6 77,4 kWh	16,85 kWh/100 km Výrobce		
Specifikace: AC nabíjení 4+1 / Mix v místě provozu: Český Výroba baterie: Čína / Náročnost výroby baterie: Střední			

Výsledek porovnání ukazuje, že k vyrovnání vyprodukovaných emisí vozu s dieselovým motorem dojde o čtvrtinový nájezd kilometrů později než v případě vozidla benzinového. To z toho důvodu, že během provozu jsou jeho emise nižší (celkové produkované emise diesel 177,82 g/km; benzin 199,64 g/km).

Dále bylo totožné porovnání realizováno pro volbu s uživatelskými spotřebami jak pro ICE, tak pro BEV. Nastavení pro vůz Kia EV6 bylo konstantní, jak vůči benzinové Škodě Superb, tak vůči dieselové. Výsledky tohoto porovnání jsou uvedeny v tab. 36 níže.



Tab. 36.: Vliv typu paliva – spotřeby dosažené uživateli

Automobil	Spotřeba	Poloha průsečíku	Odchylka
Škoda Superb Liftback Benzín; 140 kW; AP	7,64 l/100 km Uživatelé	88 369 km	základ
Škoda Superb Liftback Diesel; 147 kW; AP	6,65 l/100 km Uživatelé	88 206 km	+0,19 %
Porovnáno vůči:			
Kia EV6 77,4 kWh	23,44 kWh/100 km Uživatelé		
Specifikace: AC nabíjení 4+1 / Mix v místě provozu: Český Výroba baterie: Čína / Náročnost výroby baterie: Střední			

Výsledky v případě nastavení uživatelských spotřeb jsou v podstatě rovnocenné, k průsečíku vyrovnání emisí dojde jak pro benzinový motor, tak pro diesellový v podstatě ve stejnou chvíli.

V rámci posuzování emisí CO₂-eq z životního cyklu lze tedy říct, že typ paliva ICE má spíše nižší význam v celkovém kontextu. Podle výše uvedeného porovnání výrobcem udávaných spotřeb a uživatelských spotřeb lze předpokládat, že takto vzniklý rozdíl bude mít v reálném provozu spíše snižující se tendenci.

5.7.6 Vliv spotřeby

Spotřeba může být pro každého řidiče značně individuální, kromě řidiče je zde také vliv roční doby nebo klimatických podmínek.

V obecném měřítku má proto význam počítat především s průměrnými spotřebami, které zastupují větší množství uživatelů. V porovnávacím nástroji je na výběr mezi výrobcem udávanými daty, které byly dosaženy dle WLTP metodiky a mezi uživatelskými daty, které jsou čerpané z databáze www.spritmonitor.de. Uživatelská data mají omezenou výpovědní hodnotu, avšak jsou zařazena právě pro ilustraci vlivu rozdílné spotřeby, aniž by bylo nutné vymýšlet si vlastní hodnoty nebo vycházet z různých jednorázových testů vozidel, často ve specifickém režimu provozu.



Parametry vozidla ICE byly v případě tohoto porovnání konstantní, přičemž u BEV byla zvolena pouze jiná spotřeba. Výsledky tohoto porovnání jsou uvedeny v tab. 37 níže.

Tab. 37.: Vliv spotřeby na výsledek porovnání

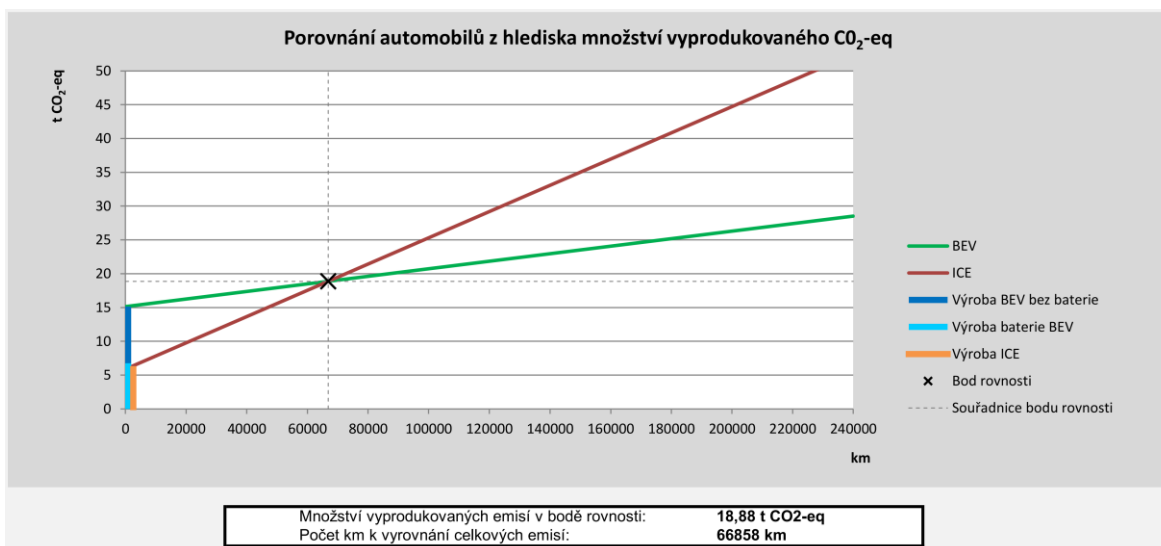
Automobil	Spotřeba	Poloha průsečíku	Odchylka
Škoda Enyaq iV 80	16,8 kWh/100 km	88 951 km	základ
Škoda Enyaq iV 80	22,37 kWh/100 km	105 169 km	+18 %
Specifikace: AC nabíjení 4+1 / Mix v místě provozu: EU-27 Výroba baterie: Čína / Náročnost výroby baterie: Střední			
Porovnáno vůči:			
Škoda Karoq	6,4 l/100 km Výrobce	110 kW Benzín	MP

Význam průměrné spotřeby je hrubě srovnatelný s významem typu paliva v případě ICE. Je samozřejmě žádoucí dosáhnout co nejnižší průměrné spotřeby, ovšem v kontextu celkového životního cyklu je význam tohoto parametru spíše nižší (pokud se zásadně neodlišuje od spotřeby udávané výrobcem).

Tento parametr je však sledovaný i samotnými uživateli, především z důvodu maximálního dojezdu BEV. Maximální dojezd BEV je totiž parametrem, který je předmětem konkurenčního boje automobilek a přímo ovlivňuje rozhodnutí zákazníků. Spotřeba je tedy parametrem, kterému je věnována značná pozornost, i když v kontextu celkového životního cyklu nedosahuje takového významu jako například výše energetických mixů.

5.7.7 Vliv kombinace příznivých a nepříznivých faktorů

Výše uvedená porovnání vždy vycházela ze změny jednoho konkrétního parametru, nicméně jednotlivé parametry je samozřejmě možné mezi sebou kombinovat. V této kapitole jsou prezentovány dva případy, kdy jeden představuje příznivou kombinaci faktorů z pohledu BEV (obr. 42) a druhý nepříznivou kombinaci faktorů z pohledu BEV (obr. 43).



Obr. 42 - Výsledné porovnání v případě příznivé kombinace faktorů

Pro BEV bylo nastaveno nejvýhodnější nabíjení z hlediska výsledných ztrát, příznivý energetický mix pro provoz i výrobu baterie a dále byl zvolen střední odhad náročnosti výroby baterie. Vůči výrobcem udávané spotřebě BEV, byla zvolená vyšší uživatelská spotřeba ICE. Přehled parametrů je uveden v tab. 38.

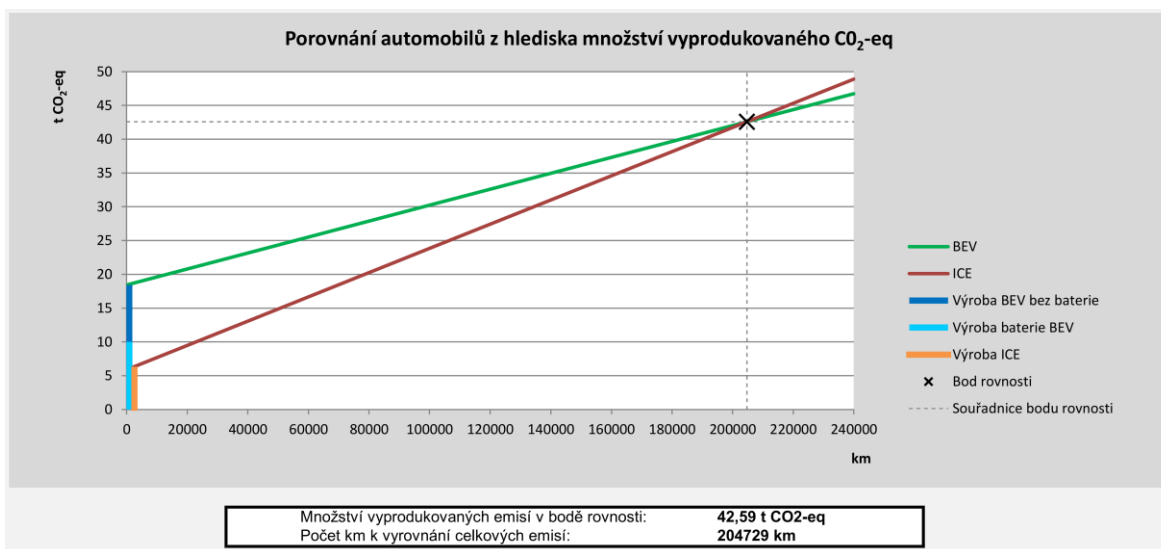
Tab. 38.: Parametry při kombinaci příznivých faktorů

Škoda Enyaq iV 80		
Spotřeba:	Výrobce	16,8 kWh/100 km
Nabíjení:	AC nabíjení 20-80% SOC	11% ztráty
Mix v místě provozu:	EU-27	261 g CO ₂ /kWh
Mix výroby baterie:	Celosvětový	442 g CO ₂ /kWh
Náročnost výroby baterie:	Střední odhad	670 MJ/kWh
Škoda Karoq 110 kW, benzin, MP		
Spotřeba:	Uživateli	6,93 l/100 km

Bod rovnosti v takovém případě nastane po 66 858 ujetých kilometrech, jak lze vidět na obr. 43.



Méně příznivé podmínky pro BEV byly nastaveny takto: uživatelská spotřeba BEV, ztrátové významnější výkonné nabíjení, místo provozu Česká republika a výroba baterií v sousedním Polsku. Posledním parametrem je střední odhad výrobní náročnosti baterie, který zůstal totožný jako při příznivé kombinaci faktorů – střední odhad. Přehled parametrů je uveden v tab. 39.



Obr. 43 - Výsledné porovnání v případě nepříznivé kombinace faktorů

V takovémto případě nastane bod rovnosti až po 204 729 km jak lze vidět na obr. 43. Zároveň však parametry nebyly ve vztahu k České republice zvoleny nijak zvláště nereálně.

Tab. 39.: Parametry při kombinaci nepříznivých faktorů

Škoda Enyaq iV 80		
Spotřeba:	Uživateli	22,37 kWh/100 km
Nabíjení:	DC 50 kW nabíjení 20-80 % SOC	14% ztráty
Mix v místě provozu:	Český	401 g CO ₂ /kWh
Mix výroby baterie:	Polský	657 g CO ₂ /kWh
Náročnost výroby baterie:	Střední odhad	670 MJ/kWh
Škoda Karoq 110 kW, benzin, MP		
Spotřeba:	Výrobce	6,4 l/100 km



6 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout nástroj pro porovnávání emisí CO₂ elektrických vozidel a vozidel se spalovacími motory. Tento nástroj je nyní k dispozici každému zájemci o porovnání životních cyklů vozidel. Přestože se jedná o komplexní tematiku s řadou proměnných, nástroj na základě zvolení sady dostupných údajů poskytne uživateli okamžitě odhad vyprodukovaných emisí CO₂ pro unikátní uživatelem zvolenou kombinaci parametrů.

Klíčové parametry, které byly analyzovány, jsou – náročnost výroby baterií a energetické mixy výroby elektřiny a jejich vliv na celkové vyprodukované emise CO₂.

Na základě analyzovaných studií, byla náročnost výroby baterií stanovena na 670 MJ/kWh, což představuje střední hodnotu ze zjištěných výsledků. Maximální stanovený rozsah této hodnoty činí 400–945 MJ/kWh.

Energetické mixy výroby elektřiny jsou zásadní součástí porovnávacího nástroje a rozbor jejich vlivu na celkové emise CO₂ za životní cyklus vozidel je uveden v samostatných kapitolách.

Tyto parametry jsou však pouze částí pro posouzení celkového životního cyklu vozidel. Jejich dopad by měl být vždy posuzován v kontextu všech proměnných tak, jak to nabízí navržený porovnávací nástroj.



7 Použitá literatura

- [1] STRAŇÁK, Tomáš. *Emise CO₂ při výrobě baterií*. Praha, 2020. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Morkus Josef.
- [2] DAI, Qiang, Jarod C. KELLY, Linda GAINES a Michael WANG. Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications. *Sustainable Lithium Ion Batteries: From Production to Recycling* [online]. 15 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2313-0105/5/2/48/pdf>
- [3] MAJEAU-BETTEZ, Guillaume. *Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es103607c>
- [4] DUNN, Jennifer B., James CHRISTINE, Linda GAINES, Kevin GALLAGHER a Qiang DAI. *Material and Energy Flows in the Production of Cathode and Anode Materials for Lithium Ion Batteries* [online]. 2015 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://publications.anl.gov/anlpubs/2014/11/108520.pdf>
- [5] DUNN, Jennifer, Linda GAINES, Jarod KELLY a Kevin GALLANGER. *Life Cycle Analysis Summary for Automotive Lithiumion Battery Production and Recycling* [online]. 2016 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781119275039.ch11>
- [6] KIM, Hyung Chul. *Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis* [online]. 2016 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b00830>
- [7] JUNGMEIER, G. *Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen: Version 1.1* [online]. Joanneum research life, 2019 [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: <https://www.adac.de/-/media/pdf/tet/lca-tool---joanneum-research.pdf?la=de-de&hash=F06DD4E9DF0845BC95BA22BCA76C4206>
- [8] ROMARE, Mia a Lisbeth DAHLLÖF. *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries: A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles* [online]. In: . Stockholm, Sweden: IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017, s. 48 [cit. 2020-06-05]. ISBN 978-91-88319-60-9. Dostupné z: <https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243%20The%20life%20cycle%20energy%20consumption%20and%20CO2%20emissions%20from%20lithium%20ion%20batteries%20.pdf>



- [9] BUCHAL, Christoph, Hans-Dieter KARL a Hans-Werner SINN. Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz?. *Ifo Schnelldienst*. 2019, **2019**(72), 40-54. ISSN 0018-974X. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10419/198746>
- [10] EGESKOG, Andrea, Karl-Henrik HAGDAHL a Christoffer KREWER. *Battery electric XC40 Recharge and the XC40 ICE: Carbon footprint report* [online]. 1. Švédsko: Sustainability Center, Volvo Cars, 2020 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Applications/newsCorp/Volvo_carbonfootprintreport_LCA
- [11] REN-SHU, YIN, YANG YAN-PING a YANG YANG. Life cycle assessment of the lithium titanate batteries used for electric vehicles. *CHINA ENVIRONMENTAL SCIENCE* [online]. 2018, **2018**(38), 11 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <http://www.zghjx.com.cn/EN/Y2018/V38/I6/2371>
- [12] YANGTAO, Liu, Zhang RUIHAN a Wang JUN. Current and future lithium-ion battery manufacturing. *IScience* [online]. 2021, **2021**(24), 17 [cit. 2022-07-06]. Dostupné z: doi:10.1016/j.isci.2021.102332
- [13] Our World in Data. In: *Our World in Data* [online]. online: Our World in Data, 2022 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart>
- [14] YUAN, Chris a Yelin DENG. Manufacturing energy analysis of lithium ion battery pack for electric vehicles. *CIRP Annals* [online]. 2017, **66**(1), 53-56 [cit. 2022-07-07]. ISSN ISSN 0007-8506. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.109>.
- [15] KOSTOPOULOS, Emmanouil D., George C. SPYROPOULOS a John K. KALDELLIS. Real-world study for the optimal charging of electric vehicles. *Energy Reports* [online]. 2020, **2020**(6), 418-426 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.008>
- [16] ADAC. In: *ADAC: Elektroautos im Test: So hoch ist die Reichweite wirklich* [online]. [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>
- [17] ČEZ - futurego. In: *ČEZ - futurego: TYPY DOBÍJECÍCH STANIC* [online]. [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://www.futurego.cz/file/edee/futurego/prilohy/technicka-karta_abb.pdf
- [18] PRE Mobilita: Dobíjecí stanice a návody. In: *PRE Mobilita: Dobíjecí stanice a návody* [online]. [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/dobijeni-na-prepoint/dobijeci-stance-a-navody/>



- [19] *ABB Terra 54 multi-standard DC charging station: Product Leaflet* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK1074920233&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [20] *E.ON Drive Hypercharger* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://www.eon-drive.cz/wp-content/uploads/2020/12/Alpitronic-Hypercharger-150-300.pdf>
- [21] *Alpitronic hypercharger 75 / hypercharger 150: product brief* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://www.hypercharger.it/wp-content/uploads/2018/06/HYC_075_150_produktbrief_v20180513.pdf
- [22] *IAA 2019: IONITY INTRODUCES NEW HIGH POWER CHARGER AND WELCOMES NEW SHAREHOLDER HYUNDAI MOTOR GROUP* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://ionity.eu/_Resources/Persistent/1/d/d/a/1dda33c2316290078246e1a56de1b9e109b797d3/20190910_IONITY-IAA-CHARGER-EN_f.pdf
- [23] *ABB selected by IONITY for second phase of European charging network expansion: Group press release* [online]. In: . Zurich, Switzerland [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://new.abb.com/news/detail/55280/abb-selected-by-ionity-for-second-phase-of-european-charging-network-expansion>
- [24] *ABB Terra 94/124/184 UL DC Fast Charging Station: Product leaflet* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A4247&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [25] *Tritium PK350/350kW Specifications* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://tritiumcharging.com/wp-content/uploads/2020/11/TRI105.DTA_.002_Veefil-PK350-Specifications.pdf
- [26] *ABB Terra HP high power charging: Product leaflet* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A6237&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [27] *Předsudky a fakta – Baterie a nabíjení*. In: <https://www.skoda-auto.cz/> [online]. [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/emobilita/predsudky-fakta-baterie-nabijeni>
- [28] *Elektrický pohon: První vůz značky ŠKODA na bázi modulární platformy pro elektromobily (MEB): TISKOVÁ MAPA*. In: *Skoda-storyboard.com* [online]. [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://cdn.skoda-storyboard.com/2020/09/02_Tiskova-mapa_SKODA_ENYQAQ_iV_WP_elektricky_pohon.pdf



- [29] APOSTOLAKI-IOSIFIDOU, Elpiniki, Paul CODANI a Willett KEMPTON. Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging. *Energy* [online]. 2017, **2017**(127), 730-742 [cit. 2022-07-07]. ISSN ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.015>.
- [30] NYLAND, Bjørn. *Charging loss on Model 3 on AC and DC* [online]. In: . [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://youtu.be/iLmIle9N_al
- [31] TRENTADUE, Germana, Alexandre LUCAS a Marcos OTURA. Evaluation of Fast Charging Efficiency under Extreme Temperatures. *Energies* [online]. 2018, **11**(8) [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/en11081937>
- [32] ANDERSSON, DANIEL a DAVID CARLSSON. *Measurements of ABB's Prototype Fast Charging Station for Electric Vehicles: A contribution towards standardized models for voltage and transient stability analysis*. Gothenburg, Sweden, 2012. MASTER'S THESIS. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- [33] ELLINGSEN, Linda Ager-Wick. *Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12072>
- [34] *LG Energy Solution Wrocław: About us* [online]. In: . [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: <https://lgensol.pl/en/about-us/>
- [35] PRUSSI, M., M. YUGO a L. DE PRADA. *JEC Well-To-Wheels report v5. EUR 30284 EN. V5*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. ISBN ISBN 978-92-76-20109-0. ISSN ISSN 1831-9424.
- [36] HELMS, Hinrich, Julius JÖHRENS a Jan HANUSCH. *UMBReLA Umweltbilanzen Elektromobilität Wissenschaftlicher Grundlagenbericht: gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)*. 2011. Heidelberg: ifeu – Institut für Energie, 2011. Dostupné také z: https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/publications/grundlagenbericht-umbrela_1.pdf
- [37] Green NCAP LCA Update: LCA Results: A Closer Look. In: *Green NCAP* [online]. Belgium, 2022 [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: <https://www.greenncap.com/press-releases/lca-how-sustainable-is-your-car/#CloserLook>
- [38] *Green NCAP - VW ID.3: LIFE CYCLE ASSESSMENT FACT SHEET* [online]. In: . 2022 [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: https://www.greenncap.com/wp-content/uploads/pre-lca/Green%20NCAP_VW%20ID3-2021-0060_LCA%20fact%20sheet.pdf
- [39] *Green NCAP - FIAT 500: LIFE CYCLE ASSESSMENT FACT SHEET* [online]. In: . Green NCAP, 2022 [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: https://www.greenncap.com/wp-content/uploads/pre-lca/Green%20NCAP_FIAT%20500-2021-0071_LCA%20fact%20sheet.pdf



- [40] *Green NCAP - Ford Mustang Mach-E: LIFE CYCLE ASSESSMENT FACT SHEET* [online]. In: . Green NCAP [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: https://www.greenncap.com/wp-content/uploads/pre-lca/Green%20NCAP_Ford%20Mustang%20Mach-E-2021-0083_LCA%20fact%20sheet.pdf
- [41] *Green NCAP - Škoda Octavia: LIFE CYCLE ASSESSMENT FACT SHEET* [online]. In: . Green NCAP, 2022 [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: https://www.greenncap.com/wp-content/uploads/pre-lca/Green%20NCAP_Skoda%20Octavia-2021-0049_LCA%20fact%20sheet.pdf
- [42] *Volvo Cars gears up for long-term sustainable growth with new Slovakia electric car manufacturing plant: Press Releases* [online]. In: . Volvo Cars, 2022 [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/302778/volvo-cars-gears-up-for-long-term-sustainable-growth-with-new-slovakia-electric-car-manufacturing-pl-5>



8 Seznam obrázků

Obr. 1 - Grafická prezentace výsledků pro různé energetické mixy, studie Volvo (2020) [10] - přeloženo	24
Obr. 2 - Vyčíslení výsledků studie Volvo (2020) [10] - přeloženo	25
Obr. 3 - Procentuální podíly jednotlivých materiálů na vyprodukovaných emisích v produkční fázi výroby automobilu [10] - přeloženo.....	25
Obr. 4 - Produkce CO ₂ během 1. a 2. fáze životního cyklu v jednotkách kg CO ₂ -eq/kWh [11] - přeloženo.....	30
Obr. 5 - Produkce CO ₂ různých procesů ve fázi recyklace [11] - přeloženo.....	31
Obr. 6 - Celkové výsledky studie v přepočtu na kWh baterie [11] - přeloženo	31
Obr. 7 - Porovnání produkce emisí v jednotkách kg CO ₂ -eq/kWh s dalšími studii s odlišnými technologiemi baterií [11]	32
Obr. 8 - Porovnání uvolněné energie v rámci životního cyklu [11]	33
Obr. 9 - Schéma výrobního procesu Lithium-iontových baterií [12] - přeloženo	36
Obr. 10 - Přehledová tabulka obsahující ceny, dostupnost a spotřebu energie jednotlivých výrobních procesů Lithium-iontové baterie [12] - přeloženo	37
Obr. 11 - Procentuální porovnání spotřeby energie jednotlivými výrobními procesy Li-ion baterie [12] - přeloženo.....	37
Obr. 12 - Procentuální porovnání nákladů na jednotlivé výrobní procesy Li-ion baterie [12] - přeloženo	38
Obr. 13 - Porovnání spotřebované elektrické energie z výroby Li-ion baterií mezi jednotlivými studii.....	41
Obr. 14 - Celkové vyprodukované emise CO ₂ z výroby baterií uváděné autory studií	42
Obr. 15 - Průměrné ztráty energie pro testované rozsahy SOC [15] - přeloženo.....	48
Obr. 16 - Nabíjecí ztráty EV výkonové elektroniky [29] - přeloženo.....	50
Obr. 17 - Ztráty stanovené studií [29] - přeloženo	50
Obr. 18 - Grafické znázornění rozdělení vozidel dle velikosti ztrát	52
Obr. 19 - Naměřené hodnoty při pokusech, Bjørn Nyland (2020).....	54
Obr. 20 - Průběh účinnosti nabíjení a nabíjecího výkonu v závislosti na SOC baterie. [32] – přeloženo, doplněny vysvětlivky	60
Obr. 21 - Grafické porovnání energetických mixů vybraných územních celků za posledních 10 let [13]	68
Obr. 22 - Grafické znázornění emisí CO ₂ , [35, s. 54] – graf 20 pro WLTP - přeloženo	71
Obr. 23 - Panel BEV pro volbu parametrů	79
Obr. 24 - Panel ICE pro volbu parametrů	80
Obr. 25 - Zaškrtnuté políčko vlevo, porovnávací nástroj počítá s hodnotou 27,8 uvedenou v bílém poli s černým ohraničením	82
Obr. 26 - Výchozí stav, kdy políčko vlevo není zaškrtnuté, porovnávací nástroj počítá s hodnotou 25,65, kterou čerpá ze zdrojových tabulek. Bílé pole vpravo pro zadání vlastní hodnoty je skryté.	82
Obr. 27 - Grafické vyčíslení rozptylu vyprodukovaných emisí v životním cyklu vybraných automobilů, zejména VW ID.3 [37] - přeloženo.....	84
Obr. 28 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz VW ID.3 a spotřebu 16,9 kWh/100 km	86
Obr. 29 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz VW ID.3 a spotřebu 38,3 kWh/100 km	87
Obr. 30 - Grafické vyčíslení emisí v životním cyklu vybraných automobilů [37] - přeloženo	88
Obr. 31 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Fiat 500 a spotřebu 20,9 kWh/100 km	89
Obr. 32 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Ford Mustang Mach-E a spotřebu 27,8 kWh/100 km	90
Obr. 33 - Grafické vyčíslení emisí v životním cyklu vybraných automobilů [37] - přeloženo	91
Obr. 34 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Škoda Octavia TDI 85 kW	93



Obr. 35 - Produkce emisí CO ₂ během životního cyklu vozidla VW Golf [7] - přeloženo	94
Obr. 36 - Produkce emisí CO ₂ během životního cyklu vozidla VW Golf	95
Obr. 37 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Ford Mustang Mach-E a spotřebu 27,8 kWh/100 km	96
Obr. 38 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Green NCAP pro vůz Ford Mustang Mach-E a spotřebu 27,8 kWh/100 km	97
Obr. 39 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Volvo (2020) pro vůz Volvo XC 40 Recharge a spotřebu 24 kWh/100 km	99
Obr. 40 - Nastavení porovnávacího nástroje dle Volvo (2020) pro vůz Volvo XC 40	100
Obr. 41 - Produkce emisí CO ₂ během životního cyklu vozidla Volvo XC 40 Recharge a Volvo XC 40	101
Obr. 42 - Výsledné porovnání v případě příznivé kombinace faktorů	110
Obr. 43 - Výsledné porovnání v případě nepříznivé kombinace faktorů	111



9 Seznam příloh

Příloha 1: Kompaktní disk formátu CD s porovnávacím nástrojem a digitální podobou této práce ve formátu PDF

Příloha 2: Tab. 40 – Seznam vozů BEV

Příloha 3: Tab. 41 – Seznam vozů ICE

Příloha 4: Tab. 42 – Výsledky měření nabíjecích ztrát společnosti ADAC



10 Přílohy

Tab. 42 - Výsledky měření nabíjecích ztrát společnosti ADAC

Název vozu	Dojezd dle ADAC Ecotest	Celková kapacita baterie	Využitelná kapacita baterie	Požadovaná energie na dobíjení baterie	Odchylka
	[km]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]
Mercedes-Benz EQS 450+ Electric Art	575	n.B.	107,8	124,9	15,9%
Ford Mustang Mach-E Extended Range	480	98,7	88	104,3	18,5%
Polestar 2 Long Range Single Motor	480	78	72,5	89	22,8%
Tesla Model X 100D	451	100	95	108,3	14,0%
Hyundai Kona Elektro (64 kWh) Trend (nach Facelift)	435	67	64	72,8	13,8%
Tesla Model 3 Longe Range AWD	429	75	70	89,5	27,9%
BMW iX3 Impressive	400	80	73,8	85,3	15,6%
Porsche Taycan 4S Performance Plus	400	93,4	83,7	95,2	13,7%
Kia e-Niro (64 kWh) Spirit	398	67	64	72,3	13,0%
Polestar 2 Long Range Dual Motor	395	78	75	88,4	17,9%
Skoda Enyaq iV 80	395	82	77	86,9	12,9%
Audi e-tron Sportback 55 quattro	390	95	86,5	96	11,0%
Hyundai Ioniq 5 (72,6 kWh) Techniq-Paket 2WD	390	77	72,6	82,1	13,1%
Kia e-Soul (64 kWh) Spirit	390	67	64	73,9	15,5%
VW ID.4 Pro Performance (77 kWh) Max	385	82	77	88,5	14,9%
Audi e-tron GT quattro	370	93,4	83,7	86,9	3,8%
Tesla Model Y Maximum Range AWD	370	80,5	77	83,8	8,8%
Jaguar i-Pace EV400 S AWD	366	90,2	84,7	100,8	19,0%
Audi e-tron 55 quattro	365	95	83,6	94,3	12,8%
Mercedes EQA 250 Electric Art	350	k. A.	66,5	75,7	13,8%
Mercedes EQC 400 AMG Line	335	85	80	93	16,3%
Renault Zoe R135 Z.E. 50 (52 kWh) Intens	335	55	52	64,3	23,7%
VW ID.3 Pro Performance 1st Max	335	62	58	64,8	11,7%
Volvo XC40 Recharge Pure Electric Twin Pro AWD	310	78	75	90	20,0%
VW ID.4 GTX 4Motion	310	82	77	83,7	8,7%
Tesla Model 3 Standard Range Plus	305	k. A.	53	60	13,2%
Nissan Leaf e+ Tekna (62 kWh)	300	62	56	68,4	22,1%
Aiways U5 Premium	290	63	61	72,3	18,5%
Opel Corsa-e Elegance	280	50	46	53,1	15,4%
Peugeot e-208 GT	280	50	47,5	53,1	11,8%
BMW i3 (120 Ah)	272	42,2	37,9	48,8	28,8%
DS 3 Crossback E-Tense So Chic	270	50	47,5	55,4	16,6%
Hyundai Ioniq Elektro Style	270	k. A.	38,3	44,1	15,1%
Citroen e-C4 Shine	260	50	46	50,5	9,8%
Peugeot e-2008 GT	260	50	47,5	53,1	11,8%
Citroen e-Spacetourer XL (75 kWh) Shine	255	75	69	76	10,1%
Opel Mokka-e Ultimate	255	50	46	52,4	13,9%
Fiat 500e Cabrio Icon	245	42	37	42,9	15,9%
Renault Zoe Intens (41 kWh)	243	44,1	41	49,5	20,7%
MG ZS EV Luxury	220	44,5	40	46,4	16,0%
Opel Combo-e Life Ultimate	215	50	46	51,7	12,4%
Mini Cooper SE	210	32,6	28,9	37,6	30,1%
Nissan Leaf Acenta (40 kWh)	201	40	37	44,5	20,3%
Dacia Spring Electric Comfort Plus 2WD	185	28,3	27,4	33,3	21,5%
Mazda MX-30 e-SKYACTIV	170	35,5	32	37,5	17,2%
Nissan e-NV 200 Evalia	167	40	37	46,9	26,8%
Renault Twingo Electric Intens	150	22	21,4	27,2	27,1%
Smart Forfour EQ passion	100	17,6	16,7	18,9	13,2%

Tab. 40 – Seznam vozů BEV

Velikost vozu	Název vozu; označení kapacity baterie [kWh]	Spotřeba uživatelská průměrná	Spotřeba udávaná průměrná	Celková kapacita baterie	Využitelná kapacita baterie	Dolní mez spotřeby udávaná	Horní mez spotřeby udávaná	Počet vozidel na Spritmonitor
		[kWh/100 km]	[kWh/100 km]	[kWh]	[kWh]	[kWh/100 km]	[kWh/100 km]	[-]
3	Audi e-tron 50 quattro; 95 kWh	25,77	24,5	95	86,5	22,4	26,6	12
2	BMW i3; 42,2 kWh	16,44	15,95	42,2	37,9	15,3	16,6	44
2	Citroën eC4; 50kWh	20,91	18,3	50	45	18,3	18,3	7
1	Dacia Spring; 26,8 kWh	16,46	12	27,4	26,8	12	12	16
1	Fiat 500; 42 kWh	16,32	14,4	42	37,3	13,9	14,9	49
3	Hyundai IONIQ 5; 72,6 kWh	20,85	16,8	77,4	72,5	16,8	16,8	21
2	Hyundai Kona Electric; 64 kWh	16,18	14,7	67	64	14,7	14,7	143
1	Kia e-Niro; 39,2 kWh	17,4	15,3	42	39,2	15,3	15,3	87
3	Kia EV6; 77,4 kWh	23,44	16,85	77,4	72,6	16,5	17,2	7
2	Mazda MX-30; 35,5 kWh	20,02	19	35,5	30	19	19	22
2	Mercedes EQA; 66,5 kWh	23,3	18,35	69,7	66,5	17,7	19	12
3	Mercedes EQS; 107,8 kWh*	25,8	18,05	120	107,8	15,7	20,4	0
3	Mustang Mach-E AWD; 98,7 kWh	25,65	18,7	98,7	88	18,7	18,7	7
1	Peugeot 208; 50 kWh	19,35	15,7	50	45	15,5	15,9	42
2	Peugeot e-2008; 50 kWh	19,15	15,95	50	45	15,9	16	18
1	Renault ZOE; 52 kWh	17,7	17,2	54,7	52	17,2	17,2	76
3	Škoda Enyaq iV 80; 77 kWh	22,37	16,8	82	77	16,2	17,4	41
3	Škoda Enyaq iV 60; 58 kWh	21,25	16,5	62	58	15,9	17,1	17
3	Tesla Model 3 Long Range Dual Motor; 75 kWh	18,03	14,7	82	75	14,7	14,7	26
3	Tesla Model 3 Performance 377 kW; 75 kWh	20,63	13,9	82	75	13,9	13,9	23
3	Tesla Model 3; 57,5 kWh	17,96	14,4	60	57,5	14,4	14,4	59
3	Tesla S 75D; 75 kWh**	20,47	14,8	75	72,5	14,8	14,8	19
3	Tesla X 90D; 90 kWh**	23,98	17,5	90	85,5	17,5	17,5	4
3	Tesla Y LR Dual Motor; 82 kWh	23,83	17,1	82	75	16,9	17,3	9
3	Volvo XC40 AWD; 78 kWh	23,44	21	78	75	20,4	21,6	4
2	VW ID.3 GO!; 58 kWh	20,05	15,6	62	58	15,6	15,6	84
3	VW ID.4 Pro Performance; 77 kWh	21,27	16,3	82	77	16,3	16,3	17

* Uživatelská spotřeba automobilu Mercedes EQS byla stanovena na základě testu vozu: <https://www.electrive.com/2022/02/19/mercedes-egs-a-new-benchmark-in-luxury/>

** Udávané spotřeby byly vypočítány na základě cyklu NEDC

Tab. 41 – Seznam vozů ICE (1. část ze 2)

Velikost vozu	Třída vozu	Název vozu; palivo; výkon; převodovka	Spotřeba uživatelská průměrná	Spotřeba udávaná průměrná	Emise udávané průměrné	Emise uživatelské průměrné	Dolní mez spotřeby udávaná	Horní mez spotřeby udávaná	Dolní mez emisí udávaná	Horní mez emisí udávaná	Počet vozidel na Spritmonitor
			[l/100 km]	[l/100 km]	[g/km]	[g/km]	[l/100 km]	[l/100 km]	[g/km]	[g/km]	[-]
3	B	BMW 520d Touring; D; 140 kW; AP	6,64	5,1	134	174,5	5,1	5,1	134	134	86
3	B	BMW 530i Touring; B; 185 kW	9,32	6,6	151	213,2	6,6	6,6	151	151	16
2	A-Hatch	Citroen C4; B; 96 kW; MP;	6,96	5,35	120,5	156,8	5,3	5,4	119	122	4
2	S-SUV	Dacia Duster; B; 96 kW; MP;	7,23	6,2	141	164,4	6,2	6,2	141	141	52
1	A0	Dacia Sandero; B; 67 kW; MP;	6,77	5,3	120	153,3	5,1	5,5	116	124	25
2	A-Combi	Ford Focus Kombi; B(m); 92 kW; MP;	6,11	5,5	124,5	138,3	5,5	5,5	124	125	18
3	L-SUV	Ford Kuga; D; 88 kW; AP;	6,44	5,35	140,5	169,1	5,2	5,5	137	144	13
2	S-SUV	Ford Puma; B(m); 92 kW; MP;	6,28	5,55	126	142,6	5,3	5,8	121	131	41
3	L-SUV	Honda CR-V; B(m); 135 kW; AP;	6,62	6,6	151	151,5	6,6	6,6	151	151	12
1	A0	Hyundai i20; B; 73,6 kW; MP	6,29	5,4	122	142,1	5,2	5,6	117	127	164
2	A-Combi	Hyundai i30 Kombi; B(m); 117,5 kW; MP	6,36	6,05	137	144,0	5,6	6,5	126	148	18
2	A-Hatch	Hyundai i30; B; 88,3 kW; MP	6,67	5,15	117	151,5	4,9	5,4	111	123	90
2	S-SUV	Hyundai Kona; B; 88,3 kW; MP;	6,54	5,4	132,5	160,5	5,1	5,7	128	137	82
3	L-SUV	Hyundai Santa-Fe; D; 142 kW; AP;	7,49	6,2	163,5	197,5	6,1	6,3	161	166	15
2	M-SUV	Hyundai Tucson; B; 110 kW; MP	7,77	6,8	154,5	176,5	6,6	7	150	159	17
2	A-Combi	Kia Ceed SW; B; 118 kW; MP	6,49	5,9	133,5	146,9	5,5	6,3	125	142	28
2	A-Hatch	Kia Ceed; B; 88 kW; MP	6,49	5,8	132	147,7	5,2	6,4	119	145	28
1	A0	Kia Rio; B; 74 kW; MP	6,12	5,45	123,5	138,7	5,2	5,7	118	129	29
2	M-SUV	Kia Sportage IV; B; 130 kW; MP	8,69	8,15	184,5	196,7	8	8,3	181	188	38
2	A-Hatch	Mazda 3; B; 90kW; MP;	6,42	5,4	122,5	145,6	5,4	5,4	122	123	102
3	B	Mazda 6 Wagon; B; 143 kW; AP;	8,24	7,6	172	186,5	7,6	7,6	172	172	107
2	M-SUV	Mazda CX-30; B; 110 kW; MP;	6,72	5,9	134	152,6	5,9	5,9	134	134	17
3	L-SUV	Mazda CX-5; B; 121 kW; MP;	7,52	6,8	153,5	169,8	6,8	6,8	153	154	228
3	B	Mercedes C220d IV; D; 143 kW; AP	6,25	5,3	139,5	164,5	4,9	5,7	128	151	81
3	B	Mercedes C300 IV; B; 190 kW; AP;	8,86	7,4	168	201,1	6,9	7,9	156	180	62
3	B	Opel Insignia ST; B; 125 kW; AP;	9,4	7,85	177,5	212,5	7,4	8,3	188	167	3
2	S-SUV	Peugeot 2008; B; 74 kW; MP;	6,52	5,4	123	148,5	5,4	5,4	123	123	8
1	A0	Peugeot 208; B; 74 kW; MP	6,09	5,1	115	137,3	5,1	5,1	115	115	22
2	M-SUV	Peugeot 3008; B; 96 kW; MP;	7,1	6,2	140	160,3	6,2	6,2	140	140	53
2	A-Hatch	Peugeot 308 II; B; 81 kW; MP	6,36	5,5	124	143,4	5,5	5,5	124	124	29
2	A-Combi	Peugeot 308 SW II; B; 96 kW; MP	6,72	5,7	128,5	151,5	5,6	5,8	127	130	94
3	L-SUV	Peugeot 5008; B; 133 kW; AP;	8,41	6,65	150	189,7	6,6	6,7	149	151	10
3	B	Peugeot 508 SW; N; 96 kW; AP;	5,29	4,7	124	139,6	4,7	4,7	124	124	10
1	A0	Renault Clio; B; 67 kW; MP;	6,2	5,4	121,5	139,5	5,4	5,4	121	122	6

Tab. 41 – Seznam vozů ICE (2. část ze 2)

Velikost vozu	Třída vozu	Název vozu; palivo; výkon; převodovka	Spotřeba uživatelská průměrná	Spotřeba udávaná průměrná	Emise udávané průměrné	Emise uživatelské průměrné	Dolní mez spotřeby udávaná	Horní mez spotřeby udávaná	Dolní mez emisí udávaná	Horní mez emisí udávaná	Počet vozidel na Spritmonitor
			[l/100 km]	[l/100 km]	[g/km]	[g/km]	[l/100 km]	[l/100 km]	[g/km]	[g/km]	[-]
1	A0	Škoda Fabia III; B; 81 kW; MP;	5,95	5,735	129,7	134,6	5,25	6,22	118,8	140,6	411
2	S-SUV	Škoda Kamiq; B; 81 kW; MP;	6,09	5,55	126,3	138,6	5,3	5,8	120,5	132,1	14
2	M-SUV	Škoda Karoq; B; 110 kW; MP;	6,93	6,4	144,5	156,5	6,1	6,7	138	151	59
3	L-SUV	Škoda Kodiaq; B; 110 kW; MP	7,86	6,8	155,25	179,5	6,5	7,1	148,3	162,2	36
2	A-Combi	Škoda Octavia Combi; B; 110 kW; MP;	6,36	5,75	130,35	144,2	5,5	6	124,5	136,2	95
2	A-Combi	Škoda Octavia Combi; D; 110 kW; MP	5,13	4,45	116,7	134,5	4,2	4,7	111,4	122	15
2	A-Hatch	Škoda Scala; B; 81 kW; MP;	5,61	5,4	122,8	127,6	5,2	5,6	118	127,6	13
3	B	Škoda Superb Liftback; B; 140 kW; AP	7,64	7,1	161	173,2	6,6	7,6	150,7	171,3	8
3	B	Škoda Superb Liftback; D; 147 kW; AP	6,65	5,5	143,4	173,4	5,3	5,7	137,8	149	9
2	A-Combi	Toyota Corolla TS; B; 85 kW; MP;	7,06	6,5	148,5	161,3	6,3	6,7	144	153	32
3	L-SUV	Toyota RAV4; B; 129 kW; AP;	8,92	7	158	201,3	6,9	7,1	156	160	6
1	A0	Toyota Yaris; B; 53 kW; MP;	5,56	5,6	128	127,1	5,6	5,6	128	128	23
2	M-SUV	Volvo XC40; B; 95 kW; MP;	7,63	7,3	165,5	173,0	7	7,6	158	173	6
2	A-Combi	VW Golf Varinat; B; 110 kW; MP;	6,5	5,2	128	160,0	5,2	5,2	128	128	63
2	A-Hatch	VW Golf; B; 81 kW; MP;	5,82	5,4	123	132,6	5,4	5,4	123	123	21
3	B	VW Passat Variant; D; 110 kW; MP	5,79	5,5	143,5	151,1	5,5	5,5	143	144	368
1	A0	VW Polo; B; 70 kW; MP	5,57	5,65	128	126,2	5,2	6,1	117	139	149
3	L-SUV	VW Tiguan Allspace; D; 110 kW; AP;	7,2	5,7	149	188,2	5,3	6,1	139	159	20
2	M-SUV	VW Tiguan; D; 110 kW; MP;	6,23	5,55	145,5	163,3	5,1	6	135	156	43