



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta Elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Porovnání provozu vozidel s různými zdroji energie

Vehicle operation with Different Energy Sources

Evaluation

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc.

David Zelený

Praha 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zelený** Jméno: **David** Osobní číslo: **486383**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání provozu vozidel s různými zdroji energie

Název bakalářské práce anglicky:

Vehicle operation with Different Energy Sources Evaluation

Pokyny pro vypracování:

1. Konstrukce a princip funkce vybraných pohonů včetně používaných paliv pohony.
2. Parametry a výpočet emisí vybraných druhů vozidel a použitých paliv.
3. Porovnání vybraných typů vozidel, jejich parametrů, emisí, včetně nákladů na pořízení a provoz.
4. Výpočet a porovnání nákladů na firemní vozidlo s vybranými druhy pohonu.

Seznam doporučené literatury:

- 1) J. Kameš, Alternativní pohon automobilů. Praha: BEN - technická literatura, 2004
- 2) Kislíngrová a kol: Manažerské finance, Beck 2007, 2.vydání, ISBN/978-80-7179-903-0
- 3) Národní akční plán čisté mobility, MPO ČR, 2021

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc. katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **01.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2024**

doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Vašíčka CSc. Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

David Zelený

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi CSc. za odborné vedení, cenné připomínky a za čas, který mi v průběhu vypracování této práce věnoval.

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje různé druhy alternativních pohonů, které jsou v současné době používány v osobních automobilech. Dále se zaměřuje na porovnání automobilu se vznětovým motorem, hybridního automobilu a elektromobilu použitých pro firemní účely v modelové situaci. Je provedeno jak porovnání ekonomické, tak porovnání ekologické. V ekonomické části jsou vypočítány náklady na pořízení a provoz automobilů a jejich ekonomická výhodnost je posouzena pomocí NPV. V ekologické části je nastíněna problematika měření emisí škodlivých látek a vypočítáno množství oxidu uhličitého produkovaného při provozu vybraných vozidel. Také jsou zde vyčísleny a porovnány externí náklady způsobené provozem daných automobilů.

Klíčová slova

Alternativní pohony, elektromobil, hybridní automobil, náklady na provoz vozidel, ekonomické porovnání, emise CO₂, externí náklady

Abstract

The Bachelor thesis describes the different kinds of alternative drives currently used in passenger cars. It also focuses on comparing a car with a diesel engine, a hybrid car and an electric car used for corporate purposes in a model situation. Both economic and ecological comparisons are made. In the economic part, the costs of acquiring and operating the cars are calculated and their economic advantage is assessed using the NPV. The environmental part outlines the issue of measuring emissions of harmful substances and calculates the amount of carbon dioxide produced in operation of selected vehicles. There are also quantified and compared external costs caused by the operation of the cars in question.

Keywords

Alternative drives, electric car, hybrid car, vehicle running costs, economic comparison, CO₂ emissions, external costs

Obsah

1	Úvod.....	13
2	Emise v dopravě.....	14
2.1	Klimatická změna a její dopady na planetu.....	14
2.2	Skleníkové plyny.....	16
2.3	Zdroje skleníkových plynů v ČR	18
2.4	Opatření vedoucí k omezení emisí skleníkových plynů.....	19
3	Vozidla s modifikovanými spalovacími motory	20
3.1	Biopaliva	20
3.2	LPG	21
3.3	Zemní plyn	22
4	Hybridní pohon	24
4.1	Rozdělení podle typu hybridního pohonu	24
4.2	Uspořádání	25
4.3	Zásobníky energie	27
5	Elektrický pohon.....	28
5.1	Elektromotory	28
5.2	Bateriové systémy a energetické zásobníky.....	33
5.3	Nabíjení a nabíjecí stanice.....	36
6	Vodíkový pohon.....	40
6.1	Výroba vodíku.....	40
6.2	Typy palivových článků.....	41
7	Ekonomické porovnání vybraných vozidel.....	43
7.1	Výběr vozidel	43
7.2	Výpočet nákladů.....	44
7.3	Vyhodnocení ekonomického porovnání.....	54
8	Ekologické porovnání vybraných vozidel.....	58
8.1	Emise automobilů.....	58

8.2	Externí náklady.....	63
9	Závěr.....	70
10	Seznam literatury.....	72
	Seznam obrázků.....	79
	Seznam tabulek.....	80

1 Úvod

Svět osobní dopravy prochází v současné době největší změnou od chvíle, kdy byli koně nahrazeni na cestách automobily se spalovacím motorem. Tato změna vedla k masivnímu rozvoji silniční dopravy i průmyslu a přinesla úlevu koním, které začali lidé chovat pouze pro radost. S provozem automobilů jsou však spojeny také emise škodlivých látek, které jsou produkovány při spalování fosilních paliv. Tyto výfukové plyny, které jsou při provozu uvolňovány do ovzduší, mají podíl na globálním oteplování planety. V současné době narostl problém globálního oteplování do takových výšin, že je nutné jej aktivně řešit, přičemž jedním z možných východisek je snižování produkce skleníkových plynů z dopravy, především pak snižování produkce CO₂. Z tohoto důvodu začala Evropská unie vydávat Euro normy, které stanovují emisní limity oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, uhlovodíků a pevných částic na ujetý kilometr pro osobní a nákladní automobily. Tyto normy jsou s postupem času stále přísnější a společně s emisními limity CO₂ tlačí výrobce automobilů k tomu, aby hledali alternativy ke konvenčním spalovacím motorům, které by byly schopné tyto limity splňovat. Dalším důvodem k hledání náhrady za konvenčně poháněná vozidla jsou snižující se zásoby ropy, která je hlavní surovinou pro výrobu běžně používaných paliv. [1]

Cílem této práce je popsat možné alternativy k automobilům poháněným spalovacími motory a identifikovat specifika jejich používání. Jelikož se v současnosti zdá, že náhradou za konvenční automobily budou vozidla částečně nebo zcela elektrifikovaná, práce se bude zaměřovat především na hybridy a elektromobily. Ty budou v práci porovnány s automobilem se vznětovým motorem. Dané typy vozidel budou porovnány jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska environmentálního. Cílem bude zjistit, zda se pro firemní účely vyplatí uvažovat o koupi elektrifikovaného vozidla, nebo je výhodnější pořídit si automobil s konvenčním pohonem. Ohledy budou brány nejen na pořizovací náklady a náklady nutné na provoz vozidla, ale také na externí náklady, které sice nemusí majitel vozidla přímo platit, reprezentují však dopad provozu vozidla na okolí a společnost. Dále se pokusím ověřit, zda jsou emise škodlivých látek elektrifikovaných vozidel pro zadaný případ opravdu nižší, nebo zda se elektrifikací pouze přesune produkce stejného množství škodlivin z měst a silnic do okolí elektráren.

2 Emise v dopravě

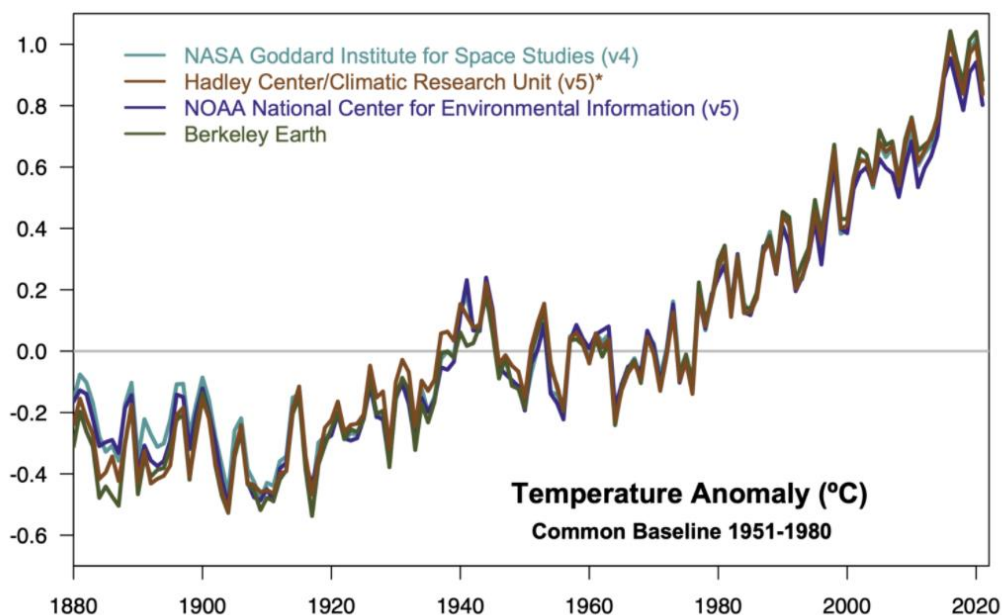
2.1 Klimatická změna a její dopady na planetu

Za posledních 400 tisíc let bylo zemské klima velice proměnlivé. V cyklech o periodě přibližně 100 tisíc let se mezi sebou střídaly doby ledové a teplá období. Z paleoklimatologických měření v ledové kůře Antarktidy lze soudit, že v teplých obdobích se v atmosféře vyskytovaly vyšší koncentrace oxidu uhličitého, který je po atmosférické vodní páře nejdůležitější skleníkový plyn. [2]

Skleníkové plyny způsobují skleníkový efekt, který na planetě Zemi zajišťuje přijatelnou teplotu pro život. Tento efekt významně ovlivňuje rovnováhu mezi energií přijímanou od Slunce ve formě krátkovlnného záření a energií vyzařovanou Zemí do okolního vesmíru. Krátkovlnné sluneční záření prochází zemskou atmosférou a ohřívá zemský povrch. Dlouhovlnné záření zemského povrchu je z části atmosférou pohlcováno a opětovně vyzařováno. Část energie se tak vrací zpět k zemskému povrchu, který se společně s nejspodnějšími částmi atmosféry ohřívá. Pokud by se v atmosféře nevyskytovaly skleníkové plyny, skleníkový efekt by neexistoval a teplota zemského povrchu by byla oproti současnému stavu asi o 33 °C nižší. [2]

V současné době je ovšem problémem příliš velká koncentrace skleníkových plynů v atmosféře.

Zvýšení koncentrace skleníkových plynů v atmosféře má za následek v první řadě globální oteplování povrchu planety, kdy se od roku 1880 do roku 2012 průměrná globální teplota zvýšila o 0,85°C. [3]

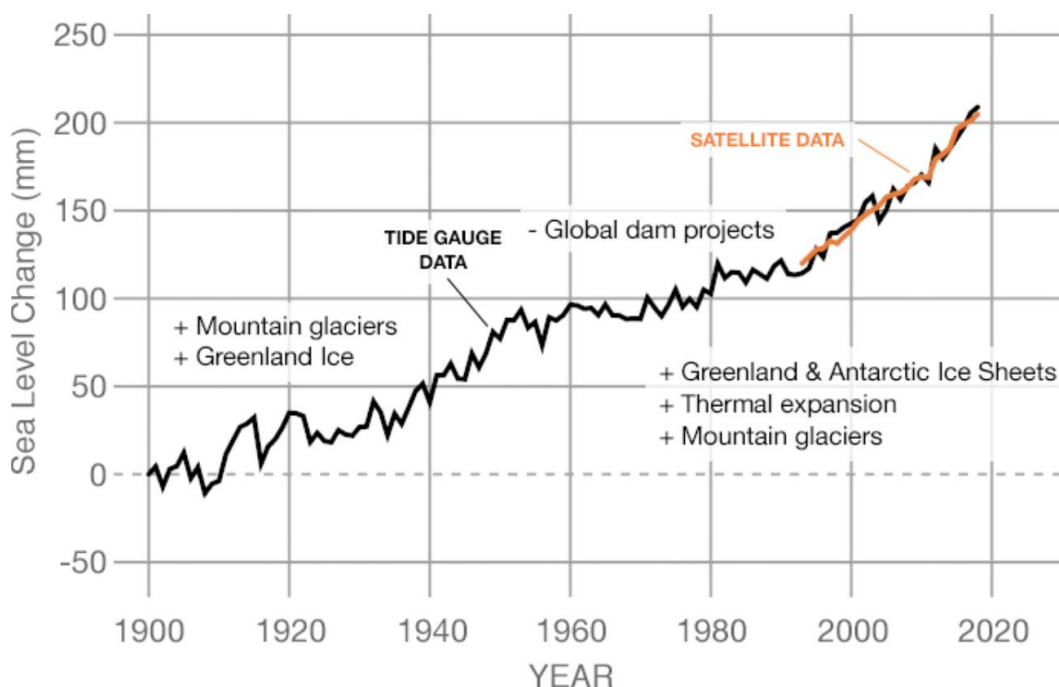


Obrázek 2.1 Průměrná teplota povrchu planety Země za posledních 140 let [66]

Dalším následkem vyšší koncentrace skleníkových plynů v atmosféře jsou změny srážkového režimu, kdy v období let 1900 až 2005 byly zaznamenány dlouhodobé změny srážkových úhrnů. Ve východních částech Severní a Jižní Ameriky, severní Evropy a severní a střední Asie byl pozorován významný nárůst srážek. V oblasti Sahelu, v oblastech Středomoří, v jižní Africe a v částech jižní Asie byl pozorován pokles srážek. Od sedmdesátých let minulého století byla především na území tropů a subtropů pozorována období intenzivnějšího a delšího sucha. [2]

Během 20. století byl v kontinentálním a regionálním měřítku pozorován ústup horských ledovců. Je ovšem možné pozorovat i výjimky, které jsou způsobené změnou místní atmosférické cirkulace. Rozsah sněhové pokrývky se od 60. let 20. století snížil o přibližně 10 %. Také se zkracuje průměrná doba, po kterou jsou zamrzlá jezera a řeky, kdy se za posledních 100 až 150 let ve středních a vysokých zeměpisných šířkách severní polokoule tato doba zkrátala přibližně o dva týdny. [2] Rozloha ledové plochy v Arktidě se každé desetiletí od roku 1979 zmenšuje o 1,07 milionu km². [3]

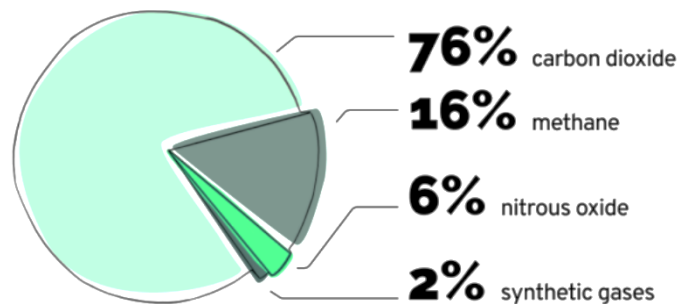
Významným důsledkem zvýšené koncentrace skleníkových plynů je také zvyšování mořské hladiny. Oceány absorbují více než 80 % tepla dodaného do klimatického systému. Díky teplotní roztažnosti se objem mořské vody zvětšuje a hladina moří tak stoupá. Ke zvyšování mořské hladiny přispívá také tání ledovců. Globální průměrná výška mořské hladiny se v posledních padesáti letech zvyšovala v průměru o 1,8 mm za rok. [2] Mezi lety 1901 až 2010 se průměrně hladina moře celosvětově zvýšila o 0,19 m. [3]



Obrázek 2.2 Graf změny výšky mořské hladiny za posledních 120 let [67]

2.2 Skleníkové plyny

Za skleníkový plyn je možné považovat každý plyn, který je schopný absorbovat infračervené záření. Skleníkové plyny je možno rozdělit podle jejich původu, a to na plyny přirozeného původu a na plyny antropogenní, které jsou způsobené lidskou činností nebo jsou na lidské činnosti závislé. Atmosférickými skleníkovými plyny přirozeného původu jsou vodní pára, oxid uhličitý a methan. Skleníkovými plyny antropogenního původu jsou oxid uhličitý, methan, oxid dusný, částečně a zcela fluorované uhlovodíky, fluorid sírový, tvrdé (CFC) a měkké freony (HCFC), halony a řada dalších plynů. [2]



Obrázek 2.3 Globální emise skleníkových plynů podle typu plynu [68]

Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý představuje přibližně 76 % ze všech emisí antropogenních skleníkových plynů. Má velmi dlouhou atmosférickou životnost, proto dokáže v atmosféře setrvat desítky let po jeho emisi. Oxid uhličitý vzniká při spalování fosilních paliv, například uhlí nebo zemního plynu, a při některých chemických reakcích, například při výrobě cementu. Přirozeně se oxid uhličitý vyskytuje v atmosféře jako součást přírodního cyklu uhlíku, kdy produkce a absorpce uhlíku probíhá mezi atmosférou, oceány, půdou, rostlinami a zvířaty. Tento cyklus je však narušován produkcí oxidu uhličitého z lidské činnosti. Přírodní rezervoáry zachycující uhlík, jako jsou například lesy, půda a oceány, nejsou schopné pohltit dostatečné množství oxidu uhličitého a jeho koncentrace v ovzduší se tak zvyšuje. [4], [5]

Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře byla v předindustriální době (polovina 18. století) přibližně 280 ppm, v současné době je jeho koncentrace přibližně 385 ppm, vzrostla tedy o 38 %. [2]

Methan CH₄

Methan je hlavní složkou zemního plynu. Mezi lidské činnosti, při kterých se uvolňuje do ovzduší methan, patří především chov dobytka, pěstování rýže, těžba a zpracování zemního plynu a těžba uhlí. V přírodě se methan uvolňuje například z mokřadů a jezer. Atmosférická životnost methanu je mnohem kratší než oxidu uhličitého, ovšem methan dokáže výrazně lépe absorbovat infračervené záření. Za časový úsek sta let by dopad methanu na klimatickou změnu byl 25krát vyšší než dopad stejného množství oxidu uhličitého. [4], [5]

Koncentrace methanu v atmosféře byla v předindustriální době přibližně 700 ppm, v současné době je jeho koncentrace přibližně 1797 ppm, vzrostla tedy o 157 %. [2]

Oxid dusný N₂O

Oxid dusný je součástí přírodního cyklu dusíku, kdy přirozeně vzniká především díky mikrobiálním procesům nitrifikace a denitrifikace v půdě a vodě. Lidské činnosti, při kterých dochází k uvolňování oxidu dusného, jsou především obdělávání půdy, výroba nylonu a spalování fosilních paliv. Je významným zdrojem oxidu dusnatého ve stratosféře, kde při jeho reakci s ozonem dochází k degradaci ozonu na kyslík. K ničení ozonové vrstvy přispívá oxid dusný také díky jeho fotochemickému rozkladu, kdy uvolněný atom kyslíku přímo reaguje s molekulou ozonu. [4], [5]

Koncentrace oxidu dusného v atmosféře byla v předindustriální době přibližně 270 ppm, v současné době je jeho koncentrace přibližně 322 ppm, vzrostla tedy o 19 %. [2]

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HCFC-22	CF ₄
předindustriální koncentrace	~280 ppm	~ 700 ppb	~ 270 ppb	0	0	0
současná koncentrace	385 ppm	1797 ppb	322 ppb	370 ppt	112 ppt	72 ppt
přibližný nárůst	38 %	157 %	19 %			
doba setrvání v atmosféře	50 – 200	12	120	50	12	50 000

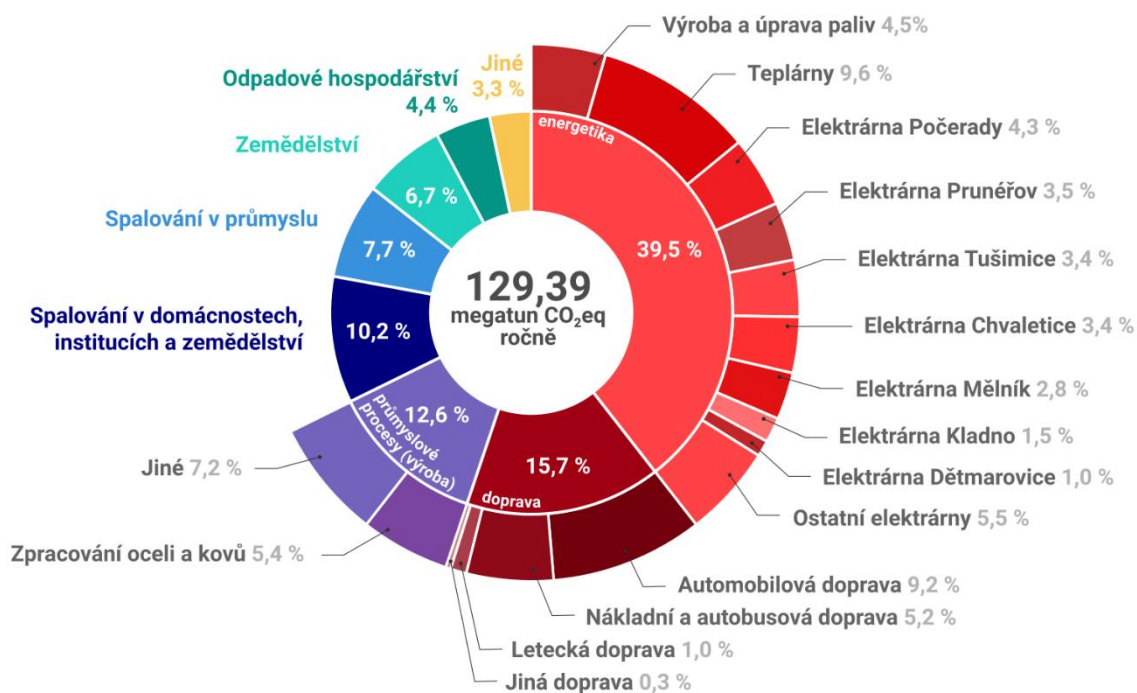
ppm = 1 díl v milionu objemově, tj. 10⁻⁴ %, ppb = 1 díl v bilionu objemově, tj. 10⁻⁷ %, ppt = 1 díl v trilionu objemově, tj. 10⁻¹⁰ %

Obrázek 2.4 Současné a historické hodnoty koncentrací skleníkových plynů v atmosféře [2]

2.3 Zdroje skleníkových plynů v ČR

Antropogenní emise skleníkových plynů je možné snižovat pouze za předpokladu, že jsou známy jejich hlavní zdroje. Největší množství skleníkových plynů, přibližně 39,5 % je v ČR produkováno v energetice. Emise v energetice pocházejí především ze spalování hnědého uhlí v elektrárnách, z výroby tepla a výroby paliv. Druhým největším zdrojem skleníkových plynů, přibližně 15,7 %, je doprava. Nejvýrazněji se pak na produkci skleníkových plynů podílí osobní a nákladní automobilová doprava. 12,6 % z celkových emisí skleníkových plynů v ČR pochází z průmyslových procesů. Jedná se například o výrobu cementu, železa, oceli apod. Dalších 7,7 % emisí skleníkových plynů v ČR je pak způsobeno spalováním fosilních paliv v průmyslu pro potřeby zahřívání, například při sušení či tavení. Spalování fosilních paliv v domácnostech za účelem topení a ohřevu vody a spalování pohonných hmot v zemědělství a lesnictví je původcem 10,2 % emisí skleníkových plynů v ČR. Emise ze zemědělství, především pak emise methanu z chovu hospodářských zvířat a emise oxidu dusného z obdělávání půdy, tvoří 6,7 % z celkových emisí skleníkových plynů v ČR. Významným zdrojem emisí v ČR je také odpadové hospodářství, jehož podíl na celkovém objemu vyprodukovaných skleníkových plynů je přibližně 4,4 %. Jedná se obzvláště o emise methanu, který se do ovzduší uvolňuje rozkladem biologicky rozložitelného materiálu v tělese skládky. [6]

Zatímco energetika, doprava a další oblasti, v nichž je zásadní spalování, produkují přímo emise CO₂, v zemědělství a odpadovém hospodářství jde především o emise methanu a oxidu dusného. Ty se přepočítávají na množství CO₂, které by mělo stejný efekt oteplení, tedy ekvivalent CO₂. [6]



Obrázek 2.5 Celkové emise skleníkových plynů v ČR za rok 2018 [6]

2.4 Opatření vedoucí k omezení emisí skleníkových plynů

V současné době je kladen stále větší důraz na snižování emisí skleníkových plynů. Již v roce 1997 byl podepsán Kjótský protokol, kterým se přes 190 zúčastněných států zavázalo k úhrnné redukci emisí skleníkových plynů o 5,2 % v období mezi lety 2008-2012. V roce 2012 se pak některé zúčastněné státy dohodly na období druhého závazku. [7]

Na Kjótský protokol navázala v roce 2015 Pařížská dohoda, kterou k únoru roku 2021 podepsalo 195 států Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. Cílem dohody je udržení nárůstu globální průměrné teploty výrazně pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí. Na rozdíl od Kjótského protokolu ukládá za povinnost stanovit vnitrostátní redukční příspěvky k dosažení cíle Pařížské dohody nejen rozvinutým, ale i rozvojovým státům. [8]

V roce 2021 se v Glasgow představitelé téměř 200 států světa dohodli na postupném omezení používání uhlí k výrobě elektrické energie. [9]

Všechny tyto snahy o omezení emisí skleníkových plynů se projevují také v automobilové dopravě. Evropská unie vydává závazné emisní normy, které stanovují limitní hodnoty škodlivin ve výfukových exhalacích benzinových a naftových motorů pro motorová vozidla v závislosti hmotnosti škodliviny na ujeté vzdálenosti. Tyto emisní normy se s postupem času zpřísňují a vyvíjí tak tlak na výrobce automobilů, kteří jsou nuceni věnovat se vývoji automobilů s nižšími emisemi. V současné době většina světových automobilek vidí budoucnost v částečné nebo úplné elektrifikaci svých vozů, stále více nových vozidel se tak prodává buď jako hybrid, nebo jako elektromobil.

Snížení emisí skleníkových plynů vypouštěných do ovzduší při provozu automobilů je ovšem možné dosáhnout i jinými způsoby, než je elektrifikace.

3 Vozidla s modifikovanými spalovacími motory

3.1 Biopaliva

„Nejjednodušší cesta nezávislosti na fosilních zdrojích energie v budoucnosti je využití paliv z dorůstajících surovin“ [10]

Biopaliva jsou vyráběna z obnovitelného zdroje energie – z biomasy. Biomasu představují jakékoli rostliny (nejčastěji cukrová řepa a třtina, kukuřice, řepka olejka, obilí, nebo olejniny) a odpady ze zemědělského a dřevozpracujícího průmyslu. Biomasa, ze které je získáván bioplyn, představuje vlastně akumulovanou sluneční energii. Odhaduje se, že v České republice tímto zdrojem může být pokryto 15-20 % spotřeby všech paliv. [10]

3.1.1 Bioethanol

K výrobě bioethanolu lze použít jako výchozí suroviny látky obsahující jednoduché cukry nebo látky, které lze na jednoduchý cukr přeměnit. Jedná se například o škrob nebo celulózu. [11]

V Evropě se nejčastěji používá řepa cukrovka, brambory nebo obilí, v USA kukuřice a v Jižní Americe cukrová třtina. Z bioethanolu je dále vyráběn etyltercbutyléter (ETBE), který se přidává do bezolovnatého benzínu pro zlepšení jeho vlastností. [12]

Bioethanol má vysoké oktanové číslo (107), proto jeho použití v zážehových motorech nepředstavuje velký problém. Hlavní úprava motoru spočívá ve zvětšení dávky paliva z důvodu jeho nízké výhřevnosti. Například při použití ethanolu E85 (směs tvořená z 85 % ethanolem, z 15 % benzínem natural 95) je nárůst spotřeby paliva přibližně 36 %. Na druhou stranu má bioethanol nízké cetanové číslo (8), proto jeho použití ve vznětových motorech vyžaduje úpravu motoru. Konkrétně zvýšení kompresního tlaku a aditivaci bioethanolu o složky podporující vznícení paliva (ethanol E95). V motorech upravených pro palivo E95 nelze spalovat motorovou naftu. [11]

3.1.2 Bionafta

Bionafta je souhrnný název pro směsi motorové nafty s minimálním podílem 5 % methylesterů mastných kyselin. Methylestery vznikají esterifikací rostlinných olejů, tedy chemickou reakcí s methanolem. Používají se oleje z řepky olejky, slunečnice nebo sóji. [13]

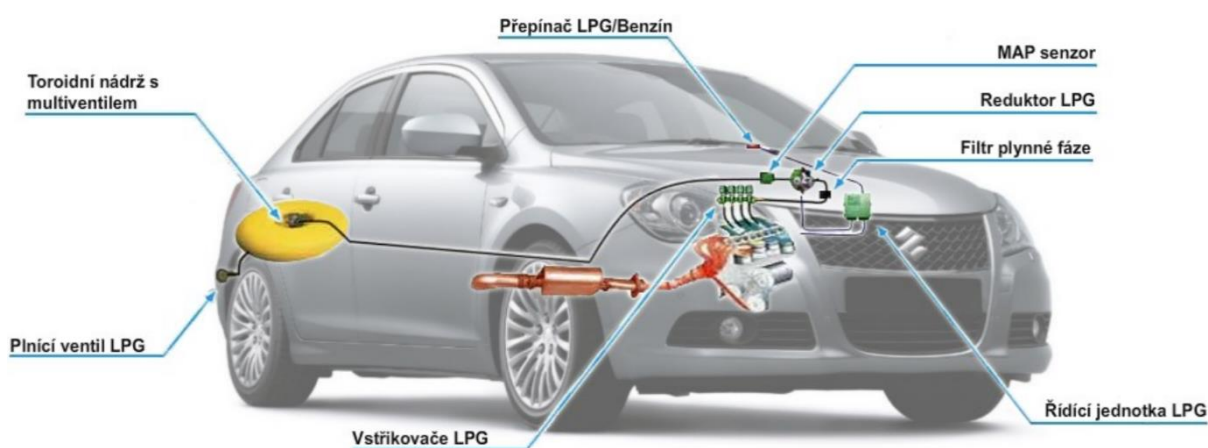
Až 80 % celosvětové produkce zaujímá methylester řepkového oleje (MEŘO) díky jeho vysoké výhřevnosti a příznivému obsahu oleje v semenech, který činí 40 až 50 %. Fyzikální vlastnosti řepkového oleje jsou velmi podobné vlastnostem motorové nafty, tudíž je toto palivo určeno pouze pro vznětové motory. [11]

3.2 LPG

LPG (Liquefied petroleum gas) je směs zkapalněných uhlovodíkových plynů. Vzniká v rafinériích při procesu zpracování ropy. Skládá se z propanu a butanu. LPG je vysoce výhřevný plyn, který lze snadno zkapalnit i při relativně nízkém tlaku a běžné teplotě. Při zkapalňování propan-butanu dochází ke zmenšení objemu v poměru 250 : 1. Pro pohon LPG se přestavují především automobily se zážehovým motorem, neboť přestavba vznětového motoru je příliš náročná a nákladná. Hlavní výhodou přestavby je snížení provozních nákladů. Spotřeba automobilu se sice zvýší v průměru o 30 %, ovšem cena LPG je oproti Naturalu poloviční. Přestavbou navíc auto neztrácí možnost jezdit na benzín, mezi režimy lze libovolně přepínat i během jízdy. Zvýší se tak i celkový dojezd automobilu. Na druhou stranu se sníží výkon vozidla přibližně o 5 %. Automobil se musí každý rok podrobit revizi plynového systému a je s ním zakázán vjezd do podzemních garáží. Cena přestavby pohonného systému automobilu se pohybuje přibližně mezi 20 000 - 40 000 Kč podle počtu válců. [11]

V současné době nabízejí v České republice někteří výrobci automobily s pohonem LPG zabudovaným přímo z výroby. [14]

K 9. 4. 2021 bylo v České republice evidováno 3991 veřejných čerpacích stanic, z nichž bylo možné zakoupit LPG u 964. [15]



Obrázek 3.1 Schéma automobilu s LPG zástavbou [69]

3.3 Zemní plyn

Obecně je zemní plyn složen přibližně z 85 % methanu, 10 % oxidu uhličitého a dusíku a 5 % vyšších uhlovodíků. Zkratka CNG označuje stlačený zemní plyn, kdy je plyn většinou stlačen v tlakových nádobách pod tlakem o hodnotě 20 MPa. Objem plynu se zmenší v poměru 200 : 1. Automobily poháněné CNG se v současnosti používají především v městské dopravě. Příkladem jsou autobusy městské hromadné dopravy, policejní vozy či automobily taxislužeb. Druhou variantou je zkapalnění zemního plynu podchlazením (LNG) a jeho uchovávání ve vozidle v kryogenních nádržích při přetlaku 0,15 MPa. Touto metodou se objem plynu změní přibližně 600krát. Zápornou stránkou tohoto způsobu jsou ztráty odpařováním, protože při nárůstu tlaku je nutné plyn odpouštět. [16]

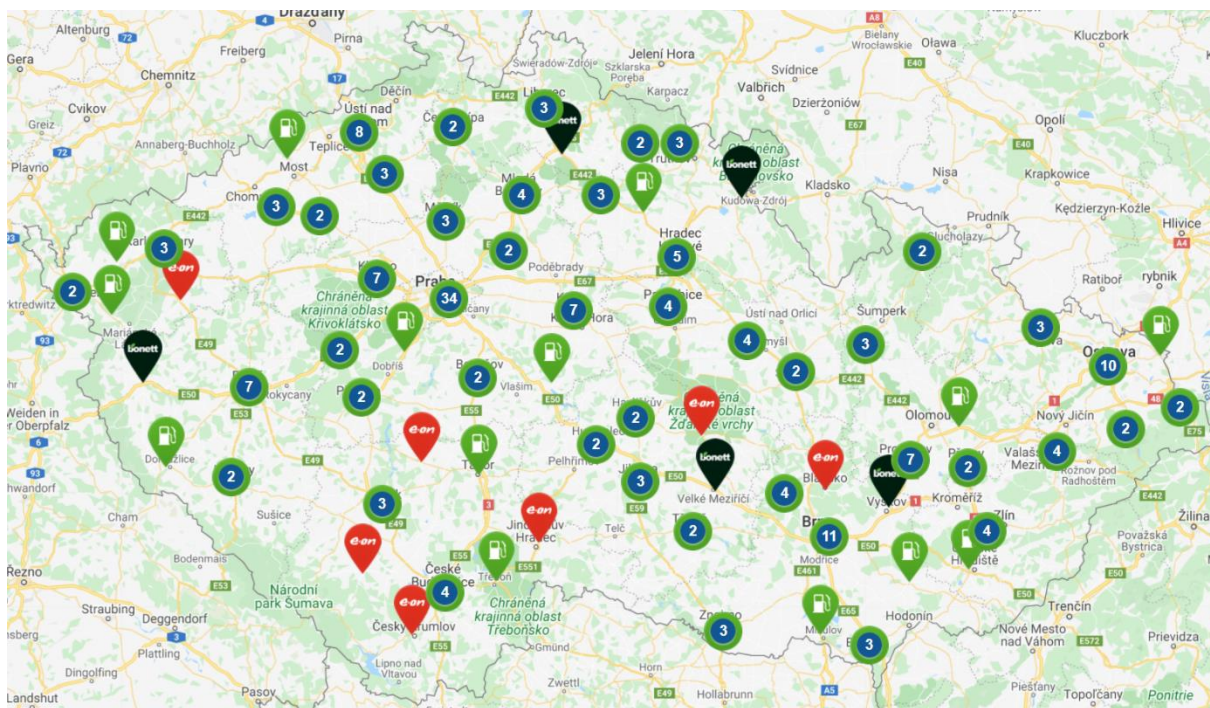
3.3.1 CNG

Výhodou pohonu na stlačený zemní plyn je výrazné snížení emisí a kouřivosti automobilu. Je také zajištěna vyšší bezpečnost, zápalná teplota zemního plynu je oproti benzínu dvojnásobná. Silnostěnná plynová tlaková nádrž automobilu je pak bezpečnější než tenkostěnné nádrže na tekuté pohonné hmoty. Hlavní provozní výhodou zemního plynu je jeho nižší cena oproti benzínu a naftě. Stejně jako u LPG je možnost zachovat i benzinový pohon, zvyšuje se tak dojezd automobilu. Za zmínku také stojí lepší startování při nízkých teplotách. [11]

Hlavní nevýhodou je cena automobilu. Přestavba standardního benzinového automobilu na pohon CNG stojí přibližně 50 000 Kč (záleží na počtu válců). Sériově vyráběné vozy jsou pak dražší než jejich ekvivalenty se zážehovým motorem. Plynové zástavby je nutné podrobovat pravidelným kontrolám. U přestavovaných aut se také může snížit jejich výkon až o 10 %. [11]

3.3.1.1 Plnicí stanice CNG

Veřejných plnicích stanic CNG v České republice bylo k 20. 10. 2021 celkem 224. Při vlastním plnění CNG do vozidel se přepouští stlačený zemní plyn z tlakových zásobníků prostřednictvím výdejního stojanu do tlakových nádob ve vozidle. U většiny CNG stanic je používána plnicí přípojka, která se upevní na plnicí koncovku vozidla. Doba plnění CNG vozidla je srovnatelná s čerpáním kapalných pohonných hmot (3-5 minut). [17]



Obrázek 3.2 Mapa CNG stanic v ČR k 20.12.2021 [70]

3.3.2 LNG

Hlavní výhodou zkapalněného zemního plynu oproti stlačenému je větší množství energie v jednotce objemu, díky čemuž má vozidlo na LNG větší dojezd a menší objem palivových nádrží než vozidlo poháněné CNG. [11]

Důvodem, proč se CNG využívá více než LNG je především velmi náročná a nákladná výroba zkapalněného zemního plynu. V současné době se LNG využívá zejména v Severní Americe pro dálkovou autobusovou a nákladní dopravu. Je také využíván pro pohon chladírenských aut, kde při odpařování slouží zároveň jako dodavatel chladu. [11]

V České republice byly k 20. 10. 2021 celkem 3 veřejné plnicí stanice LNG. [17]

4 Hybridní pohon

Hybridním pohonem označujeme kombinaci několika poháněcích zdrojů, nejčastěji se jedná o spalovací motor a elektromotor. Díky dvojici motorů si mohou hybridní vozidla zachovávat výhody konvenčních spalovacích motorů a elektromotorů. U pohonu spalovacím motorem jsou to velký dojezd vozidla, vysoký točivý moment ve střední a vyšší oblasti otáček a možnost jízdy vysokou rychlostí. U elektropohonu se jedná především o nulové výfukové plyny, vysokou účinnost elektromotoru (přibližně 90 %) a nízkou hlučnost. Další výhodou kombinovaného pohonu je možnost využití jednotlivých pohonů v oblasti nejvyšší účinnosti, čímž se docílí snížení spotřeby. [16]

4.1 Rozdělení podle typu hybridního pohonu

4.1.1 Full hybrid

Automobil označený jako full hybrid je schopný pohybovat se prostřednictvím spalovacího motoru, nebo čistě na elektrický pohon, protože je vybaven děličem výkonu. V případě klesajícího napětí na akumulátoru se zapne spalovací motor, který přímo pohání vozidlo, nebo slouží jako generátor pro nabíjení akumulátorů. Spalovací motor má nižší objem než u konvenčních vozů. [11]

4.1.2 Plug-in hybrid

Vozidla s označením plug-in hybrid jsou automobily, u kterých lze jejich akumulátor dobíjet jak během jízdy, tak z externího zdroje elektrické energie (např. ze zásuvky). Mohou být poháněny čistě benzínovým motorem, elektromotorem, nebo kombinací obou způsobů. [18]

4.1.3 Power assist hybrid

Spalovací motor je primární pohonnou jednotkou vozu. Elektromotor, který je umístěn mezi motorem a převodovkou, se zapíná pouze v případě potřeby většího výkonu (např. při akceleraci vozidla). Vůz je vybaven akumulátory, které jsou dobíjeny při jízdě z kopce nebo při brzdění. Elektromotor má nízký výkon, čistě elektrický pohon tak není možný. [11]

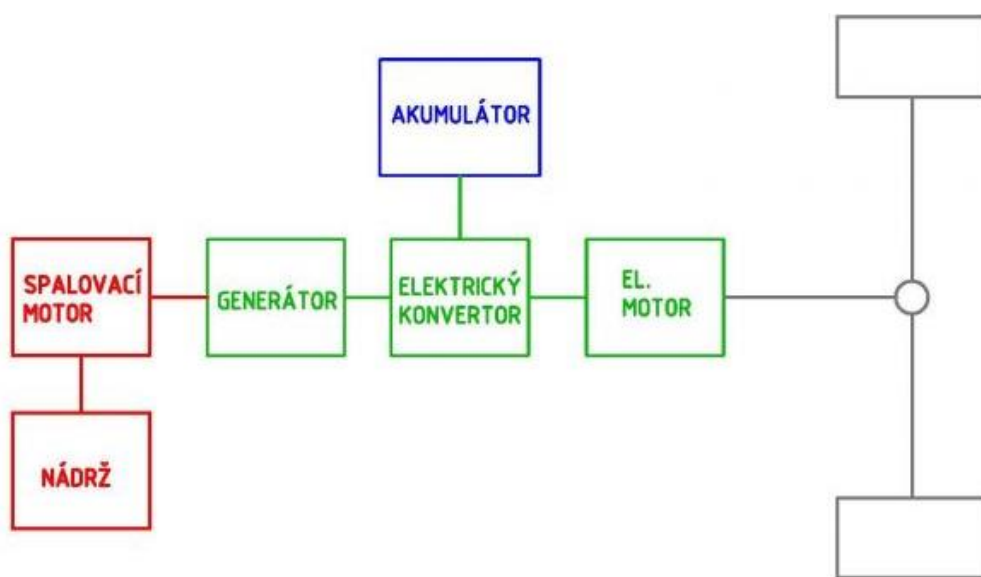
4.1.4 Mild hybrid

Vůz je vybaven generátorem, který přebírá funkci startéru a alternátoru. Tato vozidla využívají funkci start/stop. Pokud automobil například zastaví na křižovatce, v případě vyřazení a puštění spojky systém start/stop vypne spalovací motor. Klimatizace a ostatní spotřebiče v automobilu zůstávají v chodu. Pokud se spojka opět sešlápne, systém spalovací motor automaticky nastartuje. [10]

4.2 Uspořádání

4.2.1 Sériové

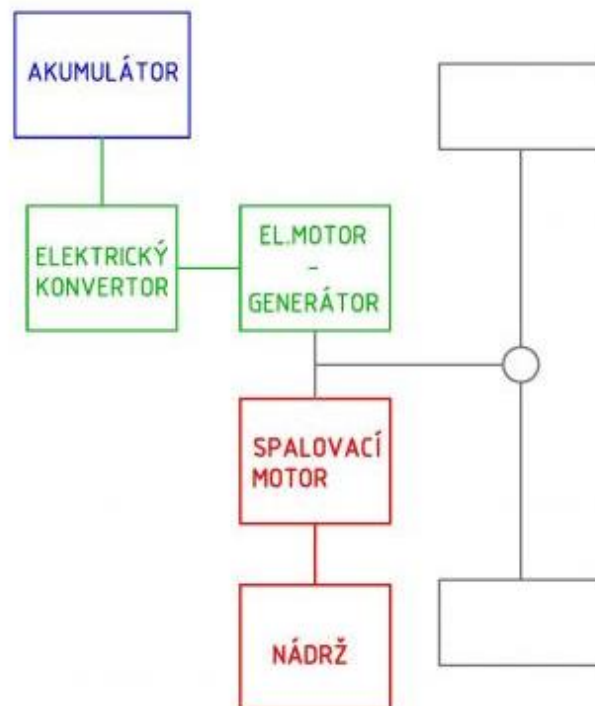
Sériový hybrid je poháněn výhradně elektromotorem. Ten při rozjezdu a malé zátěži (zejména při jízdě ve městě) získává elektrickou energii z akumulátorů. Při vyšší zátěži dojde ke spuštění spalovacího motoru. Jednotlivé poháněcí komponenty jsou vzájemně uspořádány za sebou. Spalovací motor může být provozován ve velmi úzkém rozsahu otáček, nebo dokonce jen při jedné otáčce. Tím odpadají neekonomické režimy pracovní charakteristiky, jako je volnoběh nebo spodní rozsah částečných zatížení. Motor tedy může být nastaven na optimální pracovní rozsah s nejvyšší účinností. Jestliže akumulátory nemohou pokrýt momentální potřebu energie, je spalovací motor automaticky nastartován. Naproti výhodě sériového uspořádání je zde nevýhodou vícenásobná přeměna energie (chemická – mechanická – elektrická – mechanická). Vzhledem k účinnosti nabití akumulátoru je mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou s větší než 55 %. [10]



Obrázek 4.1 Sériové uspořádání hybridního pohonu [71]

4.2.2 Paralelní

Paralelní hybridní uspořádání je tvořeno klasickým mechanickým přenosem výkonu – ze spalovacího motoru přes mechanickou převodovku. Systém je pouze doplněn jedním elektromotorem. Toto uspořádání umožňuje pohánět automobil buď pouze spalovacím motorem, elektromotorem, nebo oběma současně. Při provozu na spalovací motor nedochází k žádnému rozdílu v účinnosti oproti konvenčnímu pohonu. Paralelní hybrid může mít oproti sériovému hybridu stejného výkonu menší spalovací motor i elektromotor. V případě jízdy velkou rychlostí je vozidlo poháněno spalovacím motorem, případně i elektromotorem (paralelně), který pomáhá zlepšovat akceleraci, např. při předjíždění. Při malých rychlostech nebo ve městech dochází k odpojení spalovacího motoru a vůz je poháněn pouze elektromotorem napájeným z akumulátorů. V případě jízdy s přebytkem výkonu nebo jízdy z kopce se z elektromotoru stává generátor a slouží k dobíjení akumulátorů. [10]



Obrázek 4.2 Paralelní uspořádání hybridního pohonu [71]

4.2.3 Smíšené

Toto uspořádání vzniklo z důvodu eliminace nevýhod sériového a paralelního hybridu. Spalovací motor zde tedy může pohánět pouze kola, nebo jen vyrábět elektrickou energii. Obě činnosti ale umožňuje provozovat současně. Díky tomuto uspořádání může být menších rozměrů (výhoda paralelních hybridů), ale zároveň pracovat v oblasti nejvyšší účinnosti (výhoda sériových hybridů).

4.3 Zásobníky energie

4.3.1 Baterie

Používané typy baterií u hybridních automobilů jsou stejné jako ty, které jsou používané u elektromobilů. Volba baterie je závislá na vícero faktorech, především ale na koncepci pohonu. Pro větší dojezdy jsou například vhodné baterie s vysokou energetickou hustotou. Toto ale není vlastnost, která u hybridního pohonu vyžaduje přehnanou pozornost. Díky možnostem pohonu totiž nedochází k úplnému vybíjení baterie jako u elektromobilů. Nejčastěji používané jsou dnes nikl-metal hydridové baterie, tzv. NiMH. [10]

4.3.2 Vysokoenergetické kondenzátory

Kondenzátor je jediná součástka, ve které lze akumulovat energii přímo v elektrické formě. Výhodou vysokoenergetických kondenzátorů je jejich dlouhá životnost s opakovaným nabíjením a vybíjením elektrické energie. Dosahují značně vysoké energetické hustoty, ale výkonová hustota je malá. Při použití u hybridních vozidel tato vlastnost vede ke zvýšení hmotnosti vozidla a tím i ke zhoršení jeho dynamických vlastností. [11]

Kondenzátory v současné době používá například Lamborghini v modelu Sián. Při brzdění dochází k rekuperaci elektrické energie, která putuje do kondenzátorů a poté je využívána pro pohon elektromotoru, který v automobilu doplňuje spalovací motor. [19]

5 Elektrický pohon

5.1 Elektromotory

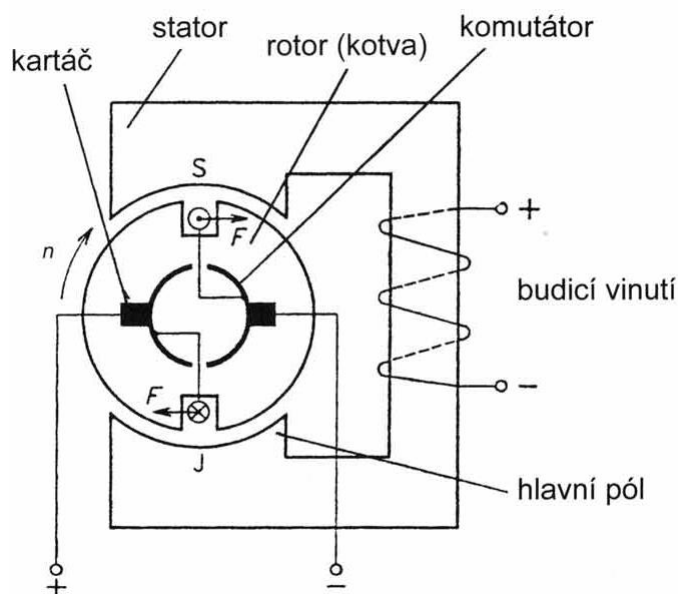
Elektromotory jsou obecně tvořeny ze dvou hlavních částí, a to nepohyblivým statorem a pohyblivým rotorem. Dělí se podle typu napájecího proudu na stejnosměrné a střídavé. V moderních elektromobilech se v současné době používají motory střídavé, především díky jejich nižším nárokům na údržbu a vyšší výkonové hustotě. [20]

5.1.1 Stejnosměrné elektromotory

5.1.1.1 Stejnosměrné kartáčové motory

Stator je tvořen permanentními magnety nebo vinutím, které tvoří stacionární magnetické pole. Na rotoru je umístěno vinutí napájené stejnosměrným proudem. Otáčení rotoru je zajištěno komutací proudu procházejícího vinutím rotoru. To zajišťuje komutátor, který pomocí grafitových kartáčů mění směr procházejícího proudu a tím polaritu magnetického pole rotoru. [21]

Hlavními výhodami stejnosměrných kartáčových motorů jsou jednoduché řízení a cena. Nevýhodou je náchylnost komutátoru a kartáčů k poruchám. Dále je maximální obvodová rychlost omezena rotační frekvencí na cca 7000 otáček/min. Účinnost a hustota výkonu je menší než u střídavých motorů. [20]



Obrázek 5.1 Příčný řez stejnosměrným kartáčovým motorem [72]

5.1.1.2 Stejnoseměrné bezkartáčové motory

Stator je tvořen vinutím, do kterého je přiváděn střídavý proud. Ten je generován ze stejnosměrného proudu pomocí střídače. Stator tedy vytváří točivé magnetické pole. Rotor je tvořen permanentními magnety a vytváří statické magnetické pole. Díky střídači tedy odpadá nutnost použití komutátoru a kartáčů, což výrazně zvyšuje životnost motoru. [20]

5.1.2 Střídavé elektromotory

Střídavé motory využívají pro svoji činnost střídavý proud. Ten je přiváděn na vinutí cívek, které jsou umístěné po dvojicích ve drážkách statoru. Každá dvojice svírá s předchozí úhel 120° . Tento úhel je dán třemi fázemi dodávaného střídavého proudu. Každé z těchto fází je přiřazena dvojice cívek, generované magnetické pole tak má fázový posun 120° . Díky tomu magnetické pole statoru rotuje. Pro vytvoření otáčivého magnetického pole tak není zapotřebí komutátoru ani střídače, jak je tomu u stejnosměrných motorů. [21]

Podle toho, zda se rotor otáčí stejnou úhlovou rychlostí jako statorové pole, se střídavé motory dělí na asynchronní a synchronní. [21]

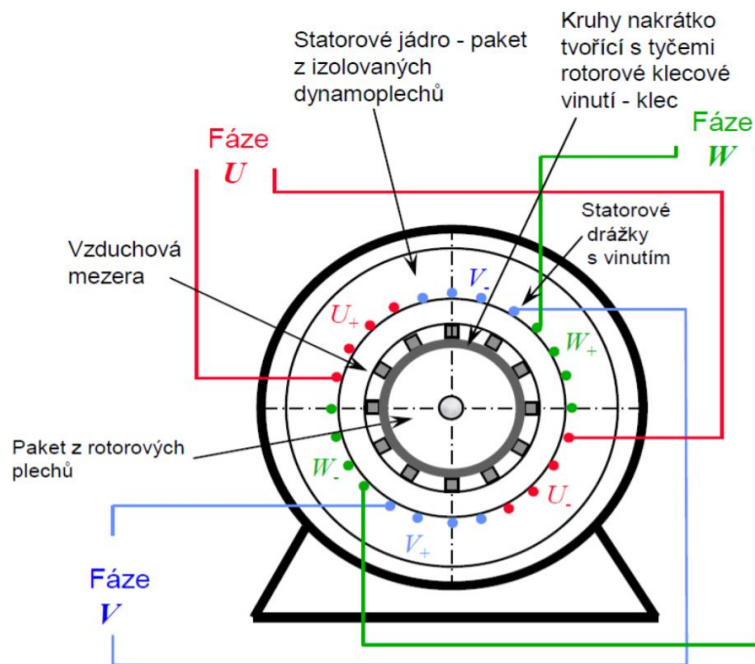
5.1.2.1 Asynchronní motory

Rotor asynchronního motoru se otáčí nižší úhlovou rychlostí než statorové pole. Rozdíl rychlostí statoru a rotoru se nazývá skluz. [21]

U třífázových asynchronních motorů odpadá vinutí kotvy a kolektor, díky čemuž motor dosáhne otáček až 20 000 za min. Výhodou asynchronního elektromotoru je malá velikost, nízká hmotnost a jednoduchá konstrukce. Je bezúdržbový a silně přetížitelný. Nevýhodou jsou vyšší náklady na elektronickou regulaci, protože stejnosměrný proud se musí přeměnit na střídavý. [16]

Asynchronní motor s kotvou nakrátko

Rotor je tvořen hliníkovými tyčemi, které jsou na okrajích spojeny kruhy nakrátko. Princip činnosti motoru je následující. Magnetický tok se uzavírá přes stator a vzduchovou mezeru a zabírá s rotorem. Magnetické pole v čase mění svůj směr, dochází ke změně magnetického pole procházejícího rotorem a v rotoru se tak indukuje napětí. Jelikož je rotor zapojen nakrátko, začne jím téct proud, který vyvolá magnetické pole rotoru. Toto pole působí dle Lenzova pravidla proti příčině jeho vzniku, díky čemuž vzniká moment, který roztáčí rotor. Asynchronní motor s kotvou nakrátko tedy pracuje na principu elektromagnetické indukce. [21]



Obrázek 5.2 Příčný řez asynchronního motoru s kotvou nakrátko [73]

5.1.2.2 Synchronní motory

Rotor synchronního motoru se otáčí stejnou rychlostí jako statorové pole. Skluz je tedy nulový. Statorové magnetické pole svírá s pólem rotoru úhel, který se s otáčením rotoru nemění. Tento úhel se nazývá zátěžný úhel. Princip činnosti motoru je následující. Magnetické pole rotoru reaguje na otáčivé magnetické pole statoru, je tímto polem „zachyceno“ a roztáčí tak rotor. Vzniká ovšem problém při spouštění synchronního motoru, kdy jsou otáčky statorového magnetického pole příliš vysoké a rotor, který má otáčky nulové, se do tohoto pole není schopen „zachytit“. Tento problém se řeší snížením rozdílu otáček statoru a rotoru, kdy jsou buď otáčky statorového magnetického pole sníženy pomocí frekvenčního měniče, nebo jsou otáčky rotoru zvýšeny pomocí rozběhového vinutí. [21]

5.1.2.3 Synchronní motory s permanentními magnety

Motory s permanentními magnety jsou synchronní motory, které místo budicího vinutí pro vytvoření magnetického toku používají permanentní magnety z materiálů na bázi vzácných zemin např. Sa-Co, nebo Nd-Fe-B. Kromě podstatného zjednodušení motoru (motor neobsahuje budicí vinutí ani kroužky) odpadá zdroj budicího proudu. [21]

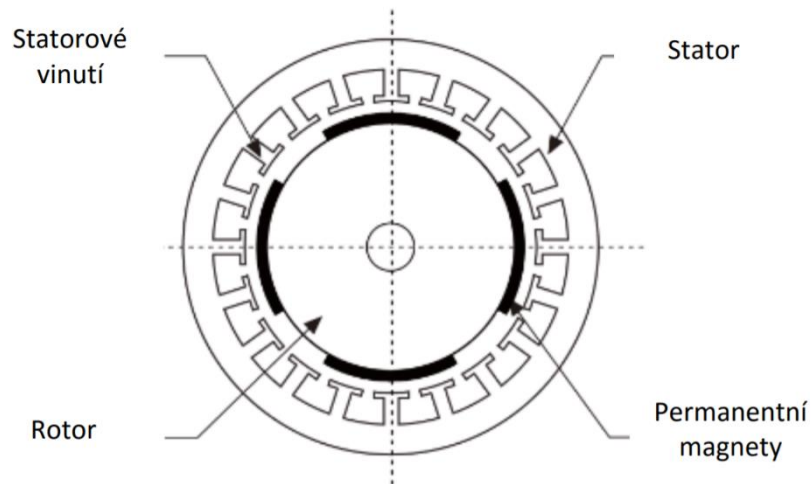
Motor pracuje s podstatně lepším účínkem než srovnatelný asynchronní motor, protože neodebírá ze sítě magnetizační proud. Navíc v rotoru nevznikají ztráty v budicím vinutí jako u klasického synchronního motoru, ani v rotorové kleci jako u asynchronního motoru. Důsledkem je, že motor o stejném výkonu má podstatně menší rozměry než klasický asynchronní motor a lepší účinnost. [21]

Synchronní motor s permanentními magnety s vnitřním rotorem

Rotor je umístěn uvnitř statoru, magnety se upevňují přímo na něj. Rotor je často odlehčený, neboť magnetický tok se uzavírá v povrchové vrstvě. [20]

Synchronní motor s permanentními magnety s vnějším rotorem

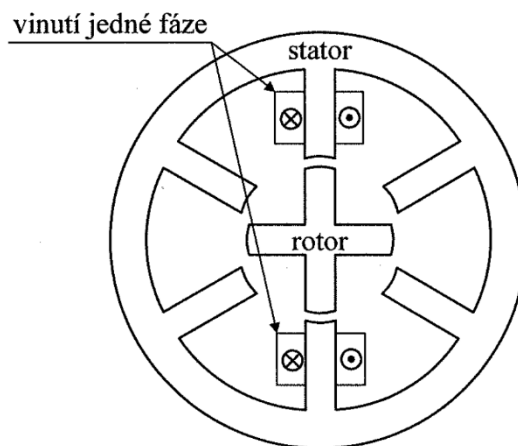
Stator je obepínán rotorem s permanentními magnety. Oproti motoru s vnitřním rotorem má vyšší výrobní náklady. [20]



Obrázek 5.3 Příčný řez synchronního motoru s PM s vnitřním rotorem [74]

5.1.2.4 Řízené reluktanční (krokové) motory

Tyto motory disponují vysokým točivým momentem při nízkých otáčkách a vysokou účinností. Díky robustní konstrukci vyžadují malé náklady na údržbu, jsou stabilní i při vypadnutí jedné či více fází a jsou vysoce přetížitelné. Nevýhodami jsou velikost, zvýšená hlučnost a nerovnoměrný točivý moment. Rozbíhání motorů probíhá asynchronně, samotný běh je synchronní. [11]



Obrázek 5.4 Schematický příčný řez spínaným reluktančním motorem [21]

5.1.3 Porovnání parametrů elektromotorů

Existuje velké množství různých typů elektromotorů, které se od sebe odlišují různými parametry. Pro pohon elektromobilů se v současné době využívají pouze dva typy elektromotorů. Asynchronní motor s kotvou nakrátko, který v některých svých elektromobilech využívá např. Tesla a synchronní motor s permanentními magnety s vnitřním rotorem, který ve svých elektromobilech využívá např. Nissan nebo Chevrolet. Tesla pak v některých elektromobilech (konkrétně např. Tesla model 3) využívá kombinaci obou typů motorů, kdy přední nápravu pohání synchronní motor s permanentními magnety s vnitřním rotorem a zadní nápravu asynchronní motor s kotvou nakrátko. [20]

V tabulce níže jsou porovnány různé vlastnosti vybraných typů elektromotorů z pohledu jejich využitelnosti pro pohon elektromobilů. Vlastnosti motorů jsou ohodnoceny pozitivně jedním ✓ nebo dvěma ✓✓, negativně jsou vlastnosti ohodnoceny X. Pokud daná vlastnost znemožňuje využití motoru pro pohon elektromobilu, je ohodnocena XX.

Attribute	ac				dc	
	SPM	IPM	SC IM	RM	PM	WF
Size	✓✓	✓✓	✓✓	XX	X	X
Cost	✓	✓✓	✓✓	✓✓	X	X
Efficiency	✓✓	✓✓	✓	✓✓	X	X
High-speed field weakening	✓✓	✓✓	✓✓	✓	XX	✓✓
Rotor cooling	✓✓	✓✓	X	✓✓	X	X
Service and maintenance	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	XX	XX
Fault tolerance	XX	✓	✓✓	✓	XX	✓
Automotive powertrain	XX	✓✓	✓✓	XX	XX	XX

Tabulka 5.1 Porovnání parametrů jednotlivých typů elektromotorů [20]

SPM – Synchronní motor s permanentními magnety s vnějším rotorem

IPM – Synchronní motor s permanentními magnety s vnitřním rotorem

SC IM – Asynchronní motor s kotvou nakrátko

RM – Reluktanční motor

PM – Stejnoseměrný kartáčový motor s permanentními magnety

WF – Stejnoseměrný kartáčový motor s budičím vinutím

Stejnoseměrné motory se nehodí pro použití v automobilech především kvůli nutnosti pravidelného servisu komutátoru a kartáčů. Reluktanční motory nejsou vhodné především kvůli svojí velikosti a hlučnosti. Synchronní motory s permanentními magnety s vnějším rotorem se nepoužívají, neboť vnější magnety je nutné upevňovat na rotor pomocí speciálních kroužků, které jsou nákladné na výrobu. Je tedy výhodnější použít motor s vnitřním rotorem. [20]

5.2 Bateriové systémy a energetické zásobníky

5.2.1 Olověný akumulátor

Jedná se o galvanický článek s elektrodami na bázi olova. Anoda je z oxidu olovičitého (PbO_2) a záporná elektroda – katoda z olova (Pb). Elektrolytem je zředěná kyselina sírová (H_2SO_4) o koncentraci přibližně 35 %. Při vybíjení dochází k přeměně aktivní hmoty záporné i kladné elektrody na síran olovnatý (PbSO_4). Elektrolyt je tak ochuzován o kyselinu sírovou a obohacován o vodu, tzn. při vybíjení koncentrace elektrolytu klesá a naopak. Hlavní výhodou olověného akumulátoru je především nízká cena. Nevýhodou je velká hmotnost a malá hustota energie na kilogram (30-40 Wh/kg). Dále také nižší účinnost dobíjení (70-92 %) a menší počet dobíjecích cyklů. U hybridů ani elektromobilů se tento typ akumulátoru v současné době již nepoužívá, jelikož se jedná o poměrně starý typ akumulátoru s řadou nevýhod. [20]

5.2.2 Baterie nikel-kadmium (NiCd)

Katoda plně nabitého nikel-kadmiového akumulátoru je tvořena oxid-hydroxidem niklitým, anodu tvoří čisté kadmium. Zásaditým elektrolytem bývá obvykle vodný roztok hydroxidu draselného. Akumulátory nikel-kadmium trpí paměťovým efektem, což znamená, že jsou-li tyto baterie opakovaně dobíjeny jen po částečném vybití, ztrácí svoji maximální kapacitu. Mezi výhody patří vysoký počet dobíjecích cyklů, který převyšuje číslo 2000. K nevýhodám se řadí relativně nižší měrná kapacita (40-60 Wh/kg) ve srovnání s NiMH a Li-ion akumulátory. Dále nižší účinnost dobíjení (66-90 %), výrazné samovybití (až 20 % za měsíc) a vyšší cena. Díky jedovatosti a toxicitě kadmia musí být akumulátory ekologicky likvidovány. [13]

5.2.3 Baterie nikel-metal hydridová (NiMH)

Anoda nikel-metal hydridové baterie je tvořena ze sloučenin na bázi niklu, katoda je ze slitiny pohlcující vodík. Elektrolytem je zředěný roztok hydroxidu. I tento akumulátor trpí paměťovým efektem, ale zároveň se vyznačuje velkou kapacitou a schopností dodávat poměrně velký proud spolu s přijatelnou cenou. I proto je dnes jedním z nejčastěji používaných druhů akumulátorů u hybridních vozů. Další výhodou je udržení potřebného napětí, téměř až do úplného vybití akumulátoru. Hlavní nevýhodou je nízká účinnost dobíjení (66 %) a poměrně nízký počet dobíjecích cyklů (přibližně 1000). Hustota energie je nižší než v případě Li-ion baterie (30-100 Wh/kg). [20]

5.2.4 Baterie lithium-iontová (Li-ion)

Anoda je vyrobena z uhlíku, katoda z oxidu kovu. Elektrolyt se skládá z lithiové soli a rozpouštědla. [2] Vlastnosti Li-ion baterií se mírně liší podle materiálu, ze kterého je vyrobena katoda (kobalt, mangan, fosfát). Největší výhodou tohoto typu baterií je vysoká hustota energie (250-270 Wh/kg). [22] Nemá žádný paměťový efekt a samovybitení je pomalé. Problém těchto baterií je však v jejich stárnutí, kdy dochází ke snižování kapacity nezávisle na používání baterií. V současné době jsou Li-ion baterie nejpoužívanějším typem baterií v moderních elektromobilech. [20]

5.2.5 Baterie lithium-polymerová (Li-Pol)

Katoda je vyrobena z oxidu lithia a kobaltu nebo z oxidu lithia, niklu a kobaltu. Anodu tvoří sloučeniny grafitu. Místo tekutého elektrolytu je zde použit elektrolyt pevný. Hlavní výhodou tohoto typu baterií je tvarovatelnost. Akumulátory lze vyrobit extrémně ploché (o tloušťce jen několik mm) a libovolného tvaru. Také jsou o stejné kapacitě asi o 15 % lehčí než baterie typu Li-ion, ovšem až o 20 % objemnější. Nemají paměťový efekt, na druhou stranu při dobíjecích cyklech ztrácejí kapacitu rychleji než Li-ion baterie. Jsou také dražší. [20]

5.2.6 Vysokoteplotní akumulátor

Tyto baterie potřebují pracovní teplotu v rozmezí 250 až 350 °C. Katoda vysokoteplotního akumulátoru není tvořena pevnou deskou jako u předchozích typů, ale roztaveným sodíkem. Anoda z pevné síry nebo niklchloridu je potopena do elektrolytu z roztavených solí (nejčastěji NaAlCl_4). Obě elektrody jsou odděleny izolační keramikou z oxidu hliníku, kterou protékají ionty sodíku při teplotě 300 °C. Tento typ baterií není využíván především díky vysoké provozní teplotě a vysoké ceně. [11]

5.2.7 Baterie zinek-vzduch

Jedná se o elektro-chemický akumulátor využívající oxidace zinku kyslíkem přímo ze vzduchu. Částice zinku jsou smíchány s elektrolytem (obvykle roztok hydroxidu draselného). Tyto akumulátory se nedají nabíjet přímo elektrinou, ale je nutná recyklace odpadního oxidu zinečnatého. Výkon lze regulovat množstvím protékajícího vzduchu. Výhodou tohoto typu baterií je vysoká hustota energie (370 Wh/kg), nízká hmotnost a poměrně levná výroba. Nevýhodou je velké samovybitení na vzduchu (při nepoužívání musí být uskladněny v anaerobním prostředí). [13]

Akumulátor	Olověný	NiCd	NiMH	Li-ion (Co)	Li-ion (Mn)	Li-ion (fosfát)	Li-pol
Hustota energie [Wh/kg]	30-50	45-80	60-120	150-190	110-120	95-140	130-200
Počet cyklů do dosažení 80 % původní kapacity	200-300	1500	1000	300-500	300-500	1000	>1000
Doba rychlonabíjení [hod]	8-16	1	2-4	1,5-3	<1	<1	<1
Samovybíjení / měsíc při 20 °C	5 %	20 %	30 %	3 %			
Nominální napětí článku [V]	2	1,25	1,25	3,6	3,7-3,8	3,3	3,7
Provozní teplota (při vybíjení) [°C]	-20 až +60	-40 až +60	-20 až +60				
Nároky na údržbu	3-6 měsíců	30-60 dní	60-90 dní	Nepotřebují.			
Toxicita	Vysoce toxické, nebezpečné pro životní prostředí.			Nízká toxicita.			

Tabulka 5.2 Porovnání parametrů jednotlivých typů akumulátorů [4]

5.2.8 Současné a budoucí technologie baterií

V současnosti se v automobilovém průmyslu používají především dva druhy baterií a to lithium-iontové a nikl-metal hydridové. U elektromobilů se téměř výhradně používají baterie typu Li-ion. [23]

Faktorů, které rozhodují o vhodnosti použití baterie v elektromobilech je velké množství. Jedním z nich je hustota energie, která udává, kolik elektrické energie je baterie schopna pojmout na 1 kg svojí váhy. V současné době se pro komerčně prodávané Li-ion baterie pohybuje jejich hustota energie okolo 250-270 Wh/kg. Dalšími kritérii vhodné baterie pro použití v elektromobilech jsou pak životnost, rychlost nabíjení, bezpečnost při používání, recyklovatelnost a v neposlední řadě také výrobní náklady. [22]

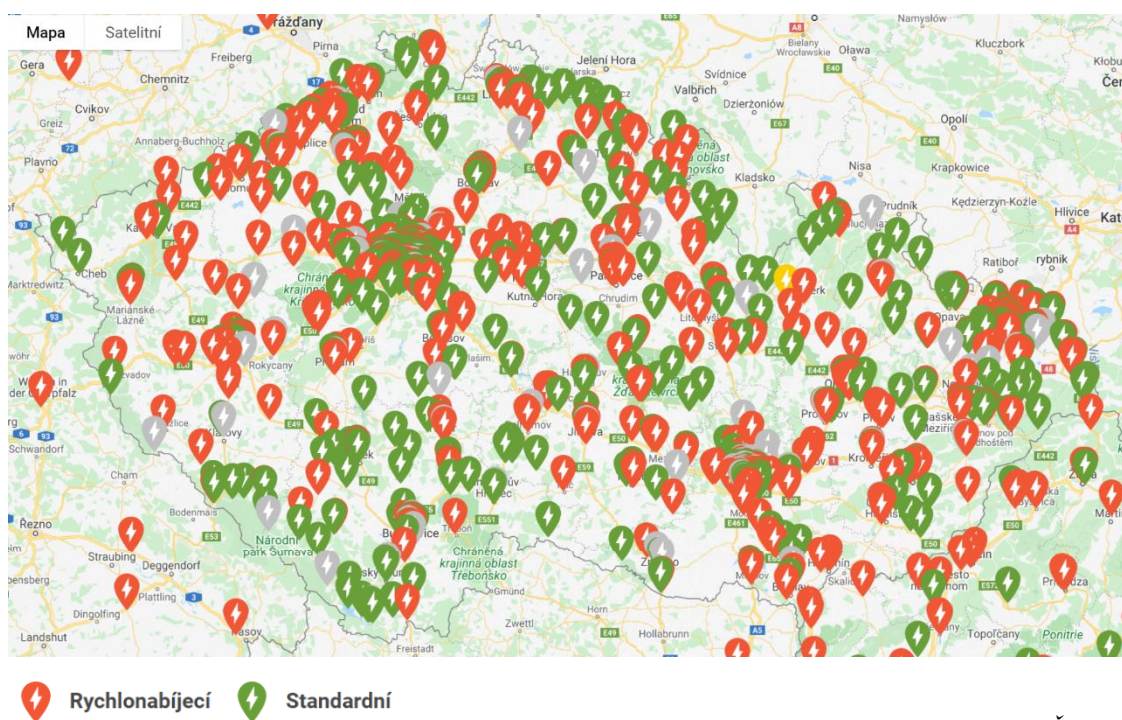
V současnosti se pracuje na nových technologiích, které by předčily současné Li-ion baterie. Jedním z možných nástupců jsou lithno-sírné bateriové články, jejichž kladnou elektrodu tvoří síra. Jedná se o potenciálně levné a snadno recyklovatelné baterie, které by teoreticky mohly dosahovat hustoty energie až 3000 Wh/kg. [24]

Další možnou alternativou k Li-ion bateriím by v budoucnu mohly být grafenové baterie. Výhody oproti Li-ion bateriím jsou především výrazně rychlejší nabíjení, dlouhá životnost a vyšší energetická hustota. Nevýhodou je pak náročnost na výrobu grafenu a s tím spojené vysoké náklady. Čínský výrobce automobilů GAC spustil v září 2021 výrobu elektromobilu Aion V, který grafenové baterie využívá. [25]

V budoucnu by se také mohly využívat baterie sodíkové. Jejich výhoda by měla spočívat především ve výrazně nižší výrobní ceně oproti Li-ion bateriím. V současné době ovšem Na-ion baterie limituje jejich nízká hustota energie 160 Wh/kg, která by se ale postupem času měla zvyšovat. [26]

5.3 Nabíjení a nabíjecí stanice

Nabíjení elektromobilů je možné realizovat jak ze soukromé domácí sítě, tak prostřednictvím veřejných nabíjecích stanic. V České republice je v současné době 1 125 veřejných nabíjecích stanic, které poskytují nabíjení střídavé, stejnosměrné (tzv. rychlonabíjení), nebo obě varianty. [27]



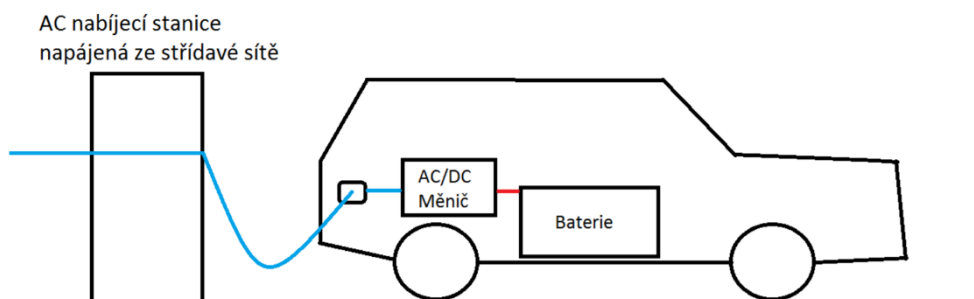
Obrázek 5.5 Mapa nabíjecích stanic v ČR [75]

5.3.1 Střídavé nabíjení (AC)

V případě střídavého nabíjení je do elektromobilu ze sítě přivedeno střídavé napětí, ke změně na stejnosměrné nabíjecí napětí dochází v elektromobilu pomocí měniče. Do elektromobilu je ve většině případů přiváděno síťové napětí a nabíjecí stanice slouží pouze k monitorování nabíjení a komunikaci s vozidlem zvyšující bezpečnost. Rychlost nabíjení závisí na proudovém omezení sítě a na výkonu palubní nabíječky, která je z důvodu úspory hmotnosti a ceny většinou dimenzována na malý výkon. [28]

Nezákladnější střídavé nabíjení elektromobilu je možné realizovat přímo ze standartní 230V zásuvky. Takovéto nabíjení má typicky výkon 3,6 kW a proud bývá omezen na 10 A z důvodu ochrany elektroinstalace domu. [29]

Druhou možností střídavého napětí je použití třífázové zásuvky na 16 nebo 32 A, která je schopná dodávat výkon 11 nebo 22 kW. Hodnota maximální přenášeného výkonu je ovšem omezena palubní nabíječkou, tedy měničem střídavého napětí na stejnosměrné, kterou je elektromobil vybaven. Pro třífázové nabíjení je také možné využít wallboxu. Toto zařízení je vybaveno proudovým čidlem, které monitoruje odebraný výkon veškerých spotřebičů připojených na domácí síť a reguluje velikost odebíraného proudu ze sítě tak, aby nedocházelo k vypadnutí jističů. Na stejném principu pak fungují také veřejné střídavé nabíječky. [30]

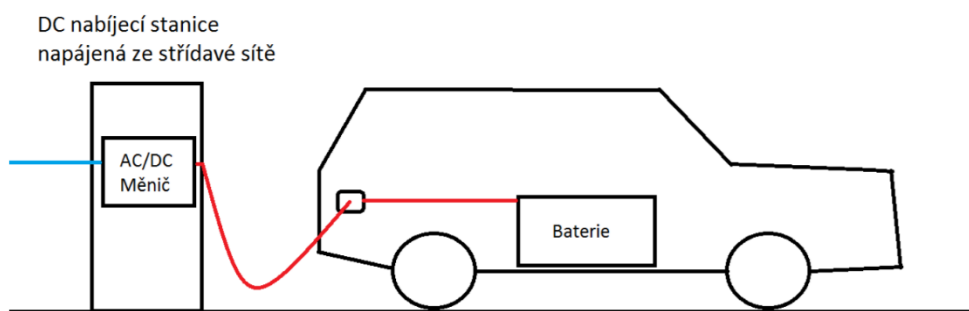


Obrázek 5.6 Schematický náčrt AC nabíjení [28]

5.3.2 Stejnoseměrné nabíjení (DC)

V případě stejnosměrného nabíjení je do elektromobilu přivedeno rovnou stejnosměrné napětí, které je usměrněno přímo v nabíjecí stanici. Palubní nabíječka umístěná v elektromobilu se nevyužívá. Pro zajištění správných nabíjecích parametrů je nutné, aby mezi nabíjecí stanicí a elektromobilem probíhala komunikace. Díky většímu výkonu těchto zařízení oproti palubním nabíječkám je tento způsob označován jako rychlonabíjení. [28]

V případě stejnosměrných rychlonabíjecích veřejných stanic probíhá nabíjení nejčastěji výkonem 50 kW. [31] V České republice jsou však k dispozici i výrazně výkonnější veřejné nabíječky. Nejvýkonnější nabíječky Tesla Supercharger nabízejí na některých místech výkon až 250 kW, u nabíječek Ionity se pak jedná o výkon až 350 kW. [32] V těchto případech je ovšem maximální dobíjecí výkon limitován maximálním dobíjecím výkonem daného elektromobilu, kdy například Škoda Enyaq disponuje maximálním nabíjecím výkonem 125 kW [33], Audi e-tron pak výkonem 150 kW. [34]



Obrázek 5.7 Schematický náčrt DC nabíjení [28]

5.3.3 Konektory pro nabíjení

Za účelem nabíjení elektromobilů se využívá specifických druhů nabíjecích konektorů. V současné době neexistuje žádný jednotný standard pro tyto konektory, v jednotlivých částech světa se používané typy konektorů liší. [35]






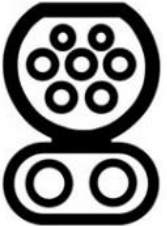
V České republice se v současnosti u nabíjecích stanic využívajících střídavé napětí setkáme nejčastěji s konektorem Type 2, označovaným jako Mennekes. Tento typ konektoru byl v roce 2014 schválen jako standard pro celou EU. Konektor je schopný zvládat přenos výkonu až 44 kW, většina nabíjecích stanic a palubních nabíječek elektromobilů je však dimenzována na výkon nižší, zpravidla na 22 kW. [35]

Pro stejnosměrné nabíjení jsou v České republice v současnosti využívány tři typy konektorů. Na nabíjecích stanicích Supercharger značky Tesla jsou instalovány dva z těchto typů konektorů. Jedním z nich je konektor Tesla, který je využíván většinou elektromobilů značky Tesla. Druhým je pak konektor CCS Combo, který využívají modely 3 a Y. [36]

U ostatních nabíjecích stanic v České republice využívajících stejnosměrný proud jsou v současné době instalovány konektory CCS Combo a CHAdeMO. Typ CCS Combo je momentálně nejrozšířenější u elektromobilů prodávaných v Evropě a je schopen přenášet výkon až 350 kW. Typ CHAdeMO je rozšířený především u elektromobilů asijských výrobců. [35]

Elektromobily využívající konektor CCS Combo jsou vybaveny jednou zdírkou složenou ze dvou částí. V horní části je umístěn vstup pro konektor podporující AC nabíjení. V případě Evropy se jedná o typ Mennekes, v případě USA a Japonska o typ Yazaki. V dolní části jsou navíc umístěny dva kolíky. Pro DC nabíjení jsou využívány dva kolíky z dolní části, z části horní je pak využíván komunikační pin a zemnicí vodič. [37]

Elektromobily využívající konektor typu CHAdeMO jsou vybaveny dvěma zdírkami. Jednou zdírkou pro konektor na střídavé napájení (většinou typ Yazaki) a jednou zdírkou pro stejnosměrné napájení typu CHAdeMO. [37]

Střídavý proud AC	Stejnoseměrný proud DC	Kombinovaný (CSS)
Typ 1 Yazaki (Japonsko/USA) 	CHAdeMO (Japonsko/USA) 	Typ 1 CSS (Japonsko/USA) 
Typ 2 Mennekes (Evropa) 	Tesla Supercharger (Japonsko/USA) 	Typ 2 CSS (Evropa) 

Obrázek 5.8 Přehled konektorů pro nabíjení elektromobilů [76]

6 Vodíkový pohon

Pro pohon automobilů lze vodík využít dvěma základními způsoby – spálením ve spalovacích (zážehových) motorech jako klasická paliva, nebo jako palivo do palivového článku pro pohon elektromobilů. Palivový článek má oproti spalovacímu motoru mnohem vyšší účinnost, ale dlouhou reakční dobu při požadavku zvýšení výkonu. [38]

6.1 Výroba vodíku

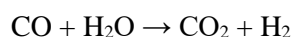
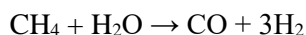
Čistý vodík se v přírodě nevyskytuje, je proto nutné jej získávat z dostupných zdrojů. [38]

6.1.1 Elektrolýza vody

Rozklad (disociace) vody pomocí stejnosměrného elektrického proudu (při minimálním napětí 1,24 V). Disociací vzniknou ionty H^+ a OH^- , které jsou přitahovány k opačně nabitým elektrodám, kde se posléze oxidují, resp. redukují na molekuly vodíku H_2 a kyslíku O_2 . Účinnost procesu je 80-90 %, při započítání účinnosti výroby elektrické energie je výsledná účinnost výroby vodíku elektrolýzou vody cca 25-35 %. Tento způsob výroby vodíku není příliš výhodný. Na výrobu množství plynného vodíku, které vyprodukuje 1 kWh energie, je při elektrolýze vody spotřebováno 1,53 kWh elektrické energie. [38]

6.1.2 Parní reformování zemního plynu

V současné době nejrozšířenější způsob výroby vodíku. Náklady na výrobu vodíku jsou touto metodou nejnižší. Parní reformování zemního plynu má dvě fáze a je vyjádřeno rovnicemi:



Nejprve se methan přivádí do vodní páry o teplotě 500-950 °C a tlaku 0,3-2,5 MPa (za přítomnosti katalyzátoru). Následnou reakcí vzniká vodík s oxidem uhelnatým. Druhou fází je přivedení páry k oxidu uhelnatému, přičemž se uvolní další molekuly vodíku a nejedovatý oxid uhličitý. Účinnost produkce vodíku za použití této metody je asi 80 %. Nevýhodou je vznik vysokého množství oxidu uhličitého (7 kg na 1 kg vodíku). [38]

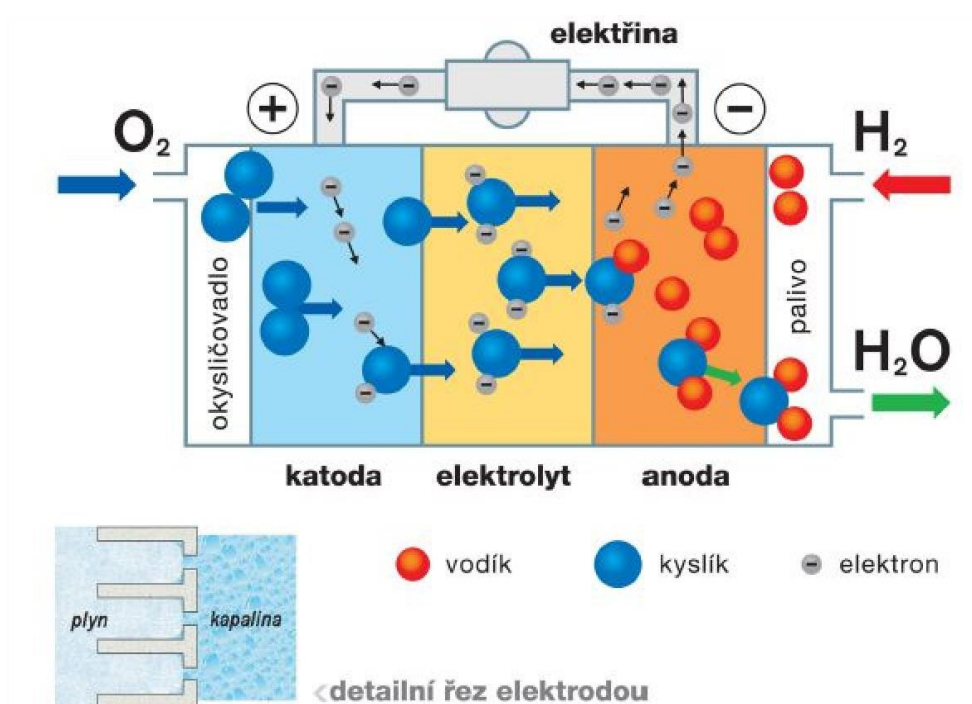
6.1.3 Termochemické cykly

Při termochemickém štěpení vody je voda rozdělena na kyslík a vodík pomocí série chemických reakcí, které jsou iniciované teplem nebo v případě hybridních cyklů teplem a elektrickou energií. Cykly jsou uzavřené, tj. použité chemické látky jsou v průběhu reakcí recyklovány a znovu vstupují do procesu. Doplněnou vstupní surovinou je tedy pouze voda a výsledným produktem vodík a kyslík. [39]

6.2 Typy palivových článků

Palivový článek je zařízení, ve kterém na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. Skládá se ze dvou elektrod – anody a katody, mezi nimi je vhodný elektrolyt.

Principem činnosti je přivádění paliva na palivovou elektrodu – anodu. Palivo zde oxiduje a vyloučené elektrony putují obvodem ke katodě a vytvářejí tak elektrický proud, obdobně jako u akumulátorů. Na katodu je přiváděno oxysličovadlo (kyslík, vzduch nebo chlor), které zde redukuje a současně reaguje s kladnými ionty pronikajícími elektrolytem od anody. K zastavení reakcí stačí přerušit elektrický obvod. [38]



Obrázek 6.1 Principiální schéma palivového článku [77]

Palivový článek polymer – elektrolyt (PEFC)

Elektrolytem je membrána polymeru kyseliny sulfonové. K reakci v článku dochází s niklovým katalyzátorem. Jediná kapalina v tomto palivovém článku je voda, problémy s korozi jsou tudíž minimální. Palivový článek musí pracovat v podmínkách, kde se voda nevypařuje rychleji, než je produkována v článku, protože membrána musí být hydratovaná. Musí být používáno bohaté plynné palivo (minimální nebo žádný obsah CO). Palivový článek PAFC je nákladný, neboť se jsou obě elektrody vyráběny z platiny. [38]

Účinnost palivového článku PEFC se pohybuje kolem 50-60 %. [40]

6.2.1 Alkalický palivový článek (AFC)

Jako elektrolyt je používán koncentrovaný KOH (85 %) pracující při vysoké teplotě (250 °C). Elektrolyt je obsažen v membráně (obvykle azbest). Jako palivo lze použít pouze vodík. [38]

Účinnost palivového článku AFC se pohybuje kolem 60–80 %. [40]

6.2.2 Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC)

Jako elektrolyt v tomto palivovém článku je využívána koncentrovaná kyselina fosforečná. Článek pracuje v rozsahu teplot 150 až 220 °C, při nižší teplotě je kyselina fosforečná slabým iontovým vodičem. Koncentrovaná kyselina fosforečná je ve srovnání s dalšími běžnými kyselinami stabilnější, navíc minimalizuje tlak vodní páry, takže vodní management článku není obtížný. Membránou je kyselý karbid křemíku. [38]

6.2.3 Palivový článek s roztavenými uhličitany (MCFC)

Elektrolytem je obvykle kombinace zásaditého uhličitanu obsaženého v LiAlO_2 . Palivový článek pracuje při teplotě 600-700 °C, kde zásaditá forma uhličitanu poskytuje uhličitanovým iontům vysokou vodivost. [38]

6.2.4 Palivový článek s tuhými oxidy – trubkový (TSOFC)

Elektrolyt v tomto palivovém článku je pevný, neporézní oxid kovu, obvykle Y_2O_3 – stabilizovaný ZrO_2 . Pracovní teplota, při níž se uskutečňuje vodivost kyslíkových iontů je 1000 °C. [38]

7 Ekonomické porovnání vybraných vozidel

7.1 Výběr vozidel

Ekonomické porovnání jsem se rozhodl uvažovat pro vozidla, která budou využívána jako firemní. Jako konkrétní typ vozidel jsem zvolil malé dodávky. Z mého pohledu jde o nejlogičtější volbu pro využití alternativního pohonu, neboť dodávky malých rozměrů jsou využívány především pro převoz nákladu po městě.

Například v Londýně za typický pracovní den vykonají užitkové vozy přibližně 280 000 jízd, při kterých najezdí v součtu 13 milionů kilometrů. Na lehké užitkové vozy připadá v dopravních špičkách 75 % nákladního provozu. [41]

Použitím alternativních pohonů pro malá užitková vozidla by tedy teoreticky bylo možné znatelně snížit emise uvolňované do ovzduší ve městech. Navíc je možné v případě městského provozu uvažovat nízký denní nájezd kilometrů, omezený dojezd elektromobilů by tedy nemusel být velkou překážkou.

Pro konkrétní porovnání jsem zvolil dodávku se vznětovým motorem, hybridním pohonem a pohonem na elektřinu. Užitková vozidla využívající jiné alternativní palivo se současně době v České republice neprodávají. Ve srovnání se tedy objevuje Ford Transit se vznětovým motorem, Ford Transit jako plug-in hybrid a Peugeot e-Expert jako elektromobil.

V následující tabulce jsou porovnány základní parametry a rozměry vybraných užitkových vozidel. Varianty dodávek byly zvoleny tak, aby byly jejich rozměry co nejpodobnější, neboť při výběru užitkového vozidla hraje velikost a užitný prostor významnou roli.

model	Ford Transit	Ford Transit PHEV	Peugeot e-Expert
koncepce	klasická	plug-in hybrid	elektromobil
palivo	diesel	elektřina + benzín	elektřina
výkon	96 kW	93 kW	100 kW
udávaná spotřeba	7,1 l/100 km	2,7 l/100 km	21,7 kWh/100 km
kapacita baterie	-	13,6 kWh	50 kWh
délka	4973 mm	4973 mm	4959 mm
výška	2000 mm	2000 mm	1890 mm
šířka	2272 mm	2272 mm	2204 mm
max. délka nákladu	2554 mm	2554 mm	2510 mm
max. výška nákladu	1406 mm	1406 mm	1397 mm
max. šířka nákladu	1775 mm	1775 mm	1628 mm
max. objem nákladu	6 m ³	6 m ³	5,3 m ³
užitečné zatížení	1469 kg	1212 kg	1226 kg
přívěs brzděný max.	2500 kg	nelze	1000 kg

Tabulka 7.1 Porovnání základních parametrů vybraných vozidel [78]–[80]

7.2 Výpočet nákladů

Aby bylo možné vypočítat náklady spojené s pořízením vozidel a jejich následným používáním, je nutné stanovit modelovou situaci. Řekněme tedy, že si fiktivní firma bude chtít automobil zakoupit a poté ho bude využívat 5 let. Po dobu pěti let bude automobil odepisovat a poté, až bude jeho zůstatková hodnota nulová, automobil prodá. Dále je nutné zvolit roční nájezd kilometrů. Jak bylo zmíněno výše, malé užitkové vozy se hodí především do městského provozu. Budu tedy uvažovat, že vybraný automobil se bude pohybovat především ve městě a v jeho blízkém okolí, denní nájezd tedy stanovím na 80 km. Rok má přibližně 250 pracovních dní, celkový roční nájezd bude tedy 20 000 km. Nabíjení vozidel využívajících pro svůj pohon elektřinu bude probíhat přes noc při nízkém tarifu, kdy se automobil připojí k elektrické síti vždy na konci pracovní doby. Pro nabíjení bude využit tarif C27d, který je určen pro nabíjení firemních elektromobilů [42]. Je třeba brát v úvahu také servisní náklady s ohledem na předepsané servisní intervaly dané výrobcem vozidla.

7.2.1 Náklady na pořízení vozidla

Aby mohlo být ekonomické porovnání provozu daných vozidel vypovídající, je nutné korektně stanovit počáteční investici. Cena vybraných vozidel se liší podle dané motorizace a výbavy. V případě elektromobilu značky Peugeot nebylo na výběr více výkonových variant, stejně tak v případě plug-in hybridu Ford Transit. Výkon vznětového motoru jsem pak volil tak, aby přibližně odpovídal zbylým dvěma variantám. Dále jsem u diesellového automobilu zvolil automatickou převodovku, neboť ostatní vozy je možné zakoupit pouze s automatem. Základní výbava je v případě obou vozidel značky Ford totožná. V případě Peugeotu jsem k základní výbavě přidal balíček obsahující lakování vnějších plastových částí, přední mlhové světlomety a LED diody pro denní svícení, díky čemuž se vyrovnal rozdíl v základních výbavách vozů různých značek. Dále je třeba započítat cenu nabíjecích kabelů pro elektrická vozidla. V případě vozu značky Ford je kapacita baterie relativně malá, vzhledem k dlouhé době, která je pro nabíjení k dispozici, budu uvažovat za dostatečný kabel pro nabíjení z klasické 230V zásuvky, který je k vozu standartně dodáván. Pro elektromobil Peugeot je nutné zakoupit nabíjecí kabel o výkonu 3,2 kW. Uvědomuji si, že lepší variantu pro dobíjení elektromobilu by představoval wallbox, jedná se ovšem o výrazně dražší variantu, která vzhledem k délce času vyhrazené pro nabíjení není zapotřebí. Náklady na případnou úpravu elektroinstalace v kalkulaci neuvažuji.

model	Ford Transit	Ford Transit PHEV	Peugeot e-Expert
zákl. cena bez DPH [kč]	869 600	949 600	964 000
balíček Look [kč]			14 500
nabíjecí kabel			5 000
cena bez DPH [kč]	869 600	949 600	983 500

Tabulka 7.2 Počáteční investice při koupi vybraných vozidel [81]–[83]

7.2.2 Náklady na palivo

Počítat náklady na palivo ze spotřeby udávané výrobcem by dle mého názoru nebylo příliš vypovídající, neboť výrobce udává spotřebu teoretickou, dosaženou v laboratorních podmínkách. Ford navíc u svého hybridního automobilu neudává spotřebu elektřiny, ale pouze benzínu. Ve svých výpočtech tedy použiji hodnoty spotřeb paliva, které byly dosaženy v průběhu testů nezávislých recenzentů.

V případě automobilu Ford Transit s motorem 2.0 EcoBlue 96 kW s automatickou převodovkou se reálná spotřeba pohybovala na úrovni 7,7 l nafty na 100 km. [43]

Pro vůz Ford Transit PHEV budu ve výpočtech uvažovat, že každé ráno bude z firmy vyrážet s plně nabitou baterií. Pro tento případ budu uvažovat spotřebu 4,9 l benzínu a 19 kWh na 100 km. [44]

Spotřeba elektromobilu je závislá na více faktorech, především pak na okolní teplotě, kdy se snižující se teplotou spotřeba energie roste. Spotřebu elektrického Peugeotu e-Expert budu uvažovat výrazně vyšší, než je spotřeba udávaná výrobcem, a to 36,8 kWh na 100 km. [45]

Ford Transit 2.0 diesel

Spotřeba paliva za jeden pracovní den.

$$s_d = \text{spotřeba na 100 km} \cdot \text{délka trasy za den}$$

$$s_d = 7,7 \cdot 0,8 = 6,16 \text{ l}$$

Spotřeba paliva za rok.

$$s_r = \text{spotřeba za den} \cdot \text{počet pracovních dní}$$

$$s_r = 6,16 \cdot 250 = 1\,540 \text{ l}$$

Pro výpočet nákladů na palivo za rok budu uvažovat cenu nafty 46,09 Kč za litr (průměrná cena nafty v ČR k 14. 4. 2022 [46]).

$$n_r = \text{spotřeba za rok} \cdot \text{cena nafty}$$

$$n_r = 1\,540 \cdot 46,09 = 70\,978,6 \text{ Kč}$$

Náklady na palivo na jeden ujetý kilometr.

$$n_{km} = \text{náklady za rok} / \text{počet ujetých km za rok}$$

$$n_{km} = 70\,978,6 / 20\,000 = 3,55 \text{ Kč}$$

Ford Transit PHEV

Pro hybridní Ford Transit budu uvažovat, že automobil vyjede s plně nabitou baterií a vrátí se s baterií prázdnou. Spotřeba elektřiny za jeden den je tedy 13,6 kWh.

Spotřeba paliva za jeden pracovní den.

$$s_d = \text{spotřeba na 100 km} \cdot \text{délka trasy za den}$$

$$s_d = 4,9 \cdot 0,8 = 3,92 \text{ l}$$

Spotřeba paliva za rok.

$$s_{rb} = \text{spotřeba za den} \cdot \text{počet pracovních dní}$$

$$s_r = 3,92 \cdot 250 = 980 \text{ l}$$

$$s_{re} = \text{spotřeba za den} \cdot \text{počet pracovních dní}$$

$$s_e = 13,6 \cdot 250 = 3\,400 \text{ kWh}$$

Pro výpočet nákladů na palivo za rok budu uvažovat cenu benzínu 43,29 Kč za litr (průměrná cena benzínu v ČR k 14. 4. 2022 [46]).

Cena elektřiny závisí na dodavateli a na tarifu. Pro dobíjení firemních elektrických vozidel je možné využít tarif C27d. Jako cenu elektřiny využitou pro nabíjení baterie budu uvažovat 7,023 Kč za 1 kWh (ceník ČEZ distribuce pro rok 2022 [47]). Jedná se o celkovou jednotkovou cenu za elektřinu, včetně daně z elektřiny a systémových služeb, odebranou v době nízkého tarifu.

$$n_{rb} = \text{spotřeba za rok} \cdot \text{cena benzínu}$$

$$n_{rb} = 980 \cdot 43,29 = 42\,424,2 \text{ Kč}$$

$$n_{re} = \text{spotřeba za rok} \cdot \text{cena elektřiny}$$

$$n_{re} = 3\,400 \cdot 6,309 = 21\,450,6 \text{ Kč}$$

$$n_r = n_{rb} + n_{re} = 42\,424,2 + 21\,450,6 = 63\,874,8 \text{ Kč}$$

Náklady na palivo na jeden ujetý kilometr.

$$n_{km} = \text{náklady za rok} / \text{počet ujetých km za rok}$$

$$n_{km} = 63\,874,8 / 20\,000 = 3,19 \text{ Kč}$$

Peugeot e-Expert

Spotřeba paliva za jeden pracovní den.

$$s_d = \text{spotřeba na 100 km} \cdot \text{délka trasy za den}$$

$$s_d = 36,8 \cdot 0,8 = 29,44 \text{ kWh}$$

Spotřeba paliva za rok.

$$s_r = \text{spotřeba za den} \cdot \text{počet pracovních dní}$$

$$s_r = 29,44 \cdot 250 = 7\,360 \text{ kWh}$$

Náklady na palivo za rok.

$$n_r = \text{spotřeba za rok} \cdot \text{cena elektřiny}$$

$$n_r = 7\,360 \cdot 6,309 = 46\,434,2 \text{ Kč}$$

Náklady na palivo na jeden ujetý kilometr.

$$n_{km} = \text{náklady za rok} / \text{počet ujetých km za rok}$$

$$n_{km} = 46\,434,2 / 20\,000 = 2,32 \text{ Kč}$$

model	Ford Transit	Ford Transit PHEV	Peugeot e-Expert
reálná spotřeba [l]	7,7	4,9	0
reálná spotřeba [kWh]	0	19	36,8
spotřeba za den [l]	6,16	3,92	0
spotřeba za den [kWh]	0	13,6	29,44
spotřeba za rok [l]	1540	980	0
spotřeba za rok [kWh]	0	3400	7360
jednotková cena paliva [Kč]	46,09	43,29	6,309
náklady rok [Kč]	70 979	63 875	46 434
náklady 5 let [Kč]	354 893	319 374	232 171
náklady na 1 km [Kč]	3,55	3,19	2,32

Tabulka 7.3 Náklady na palivo při provozu vybraných vozidel

7.2.3 Náklady na servis

Ford nabízí pro své automobily program Ford Service Plan, který pokrývá veškeré náklady spojené s pravidelnou údržbou vozidla. Zahrnuje až 5 předplacených servisních prohlídek v autorizovaném servisu Ford a to po dobu 2 až 5 let. V případě pěti servisních prohlídek po dobu pěti let pro Ford Transit s dieslovým motorem stojí předplatné jednorázově 45 000 Kč. Pro Ford Transit PHEV se pak jedná o 34 000 Kč. [48]

V případě vozu Peugeot e-Expert je cena servisní prohlídky stanovena na 5 750 Kč, platba je prováděna každý rok, za 5 let bude servis stát celkem 28 750 Kč. [49]

model	Ford Transit	Ford Transit PHEV	Peugeot e-Expert
servis za 5 let [Kč]	45 000	34 000	28 750

Tabulka 7.4 Náklady na servis za 5 let pro vybrané vozy

7.2.4 Pojištění odpovědnosti z provozu vozidla

Pro provoz vozidla na pozemních komunikacích je nutné mít sjednané pojištění odpovědnosti z provozu vozidla, též nazývané povinné ručení. Toto pojištění kryje škody, které jsou způsobené třetím osobám při provozu vozidla a chrání tak pojištěného před možným nepříznivým finančním dopadem nároků poškozené strany.

Pro porovnání cen povinných ručení jsem zvolil internetový srovnávač. Vstupní parametry pro vybrané automobily, které ovlivňují cenu povinného ručení, ale nejsou dány samotnými vlastnostmi vozidel, jako například roční nájezd, jsem zvolil pro všechna vozidla stejné. Parametry, které nejvýrazněji ovlivňují cenu pojištění a vytváří tak rozdíly v cenách pro vybrané automobily, jsou především objem motoru a výkon.

Pro stanovení průměrné roční ceny povinného ručení jsem vybral pro každý automobil tři konkrétní typy povinného ručení s různou výší pojistného plnění od různých pojišťoven. Z těchto cen jsem poté spočítal průměrnou roční cenu povinného ručení pro daná vozidla.

model	Ford Transit	Ford Transit PHEV	Peugeot e-Expert
UNIQA standard maxi 140/140 mil. [Kč]	4 958	4 419	3 968
HVP nadstandard 70/70 mil. [Kč]	6 580	4 542	5 304
PILLOW standard 70/70 mil. [Kč]	19 320	12 060	8 796
povinné ručení průměr [Kč]	10 286	7 007	6 023

Tabulka 7.5 Průměrná roční cena povinného ručení pro vybrané automobily [84]

Jedná se pouze o ceny získané z předběžných kalkulací, dle vlastní zkušenosti jsou výsledné ceny povinného ručení mírně vyšší.

Z cen pojištění uvedených v tabulce výše lze říci, že povinné ručení pro elektromobily a hybridy je levnější, než v případě konvenčního automobilu se spalovacím motorem. Takto ovšem nemají své ceny nastavené všechny pojišťovny. Například pojišťovna Direct, která pro hybrid a konvenční automobil poskytuje jedny z nejnižších pojištění, nabízí pro elektromobil pojištění extrémně drahé. To je dle mého názoru způsobeno tím, že v současné době nemají pojišťovny dostatek relevantních dat pro stanovení ceny pojištění elektromobilů. Vozidla na elektrický pohon jsou používána pouze několik posledních let a některé pojišťovny tak nejsou schopné stanovit výši škod způsobených jejich provozem.

model	Ford Transit	Ford Transit PHEV	Peugeot e-Expert
DIRECT plus 100/100 mil. [Kč]	4 586	2 689	48 249

Tabulka 7.6 Cena povinného ručení pojišťovny Direct pro vybraná vozidla [84]

Ceny povinného ručení poskytovaného pojišťovnou Direct jsem do výpočtu průměrné ceny nezapočítal z důvodu zkrácení výsledků.

7.2.5 Silniční daň

Silniční daň je jednou z přímých daní, jejímž předmětem jsou všechna motorová vozidla, která se používají k podnikání. Výpočet zálohy na silniční daň se odvíjí od objemu motoru v cm^3 . Tato sazba je pak snížena v případě, že je k podnikání použito vozidlo, od jehož první registrace v České republice či v zahraničí ještě neuplynulo 9 let. U těchto vozidel se výše daně liší v závislosti na tom, kolik měsíců od registrace vozu uplynulo. O 48 % bude daň snížena u vozidel, od jejichž registrace uplynulo maximálně 36 kalendářních měsíců, během dalších 36 měsíců bude ponížena o 40 % a za následujících 36 měsíců bude snížena o 25 %. Od platby daně jsou však některá vozidla osvobozená v plné míře, jedná se mimo jiné o vozidla do 12 t, která jezdí na alternativní paliva (elektrina, hybrid, LPG, CNG). [50] Platba silniční daně se tedy týká pouze automobilu Ford Transit s dieselovým motorem o objemu 2000 cm^3 . Vypočtené sazby silniční daně pro tento vůz pro jednotlivé roky provozu jsou uvedeny v následující tabulce.

Ford Transit 2.0 diesel					
rok	1	2	3	4	5
silniční daň [Kč]	1 560	1 560	1 560	1 800	1 800

Tabulka 7.7 Silniční daň pro jednotlivé roky provozu Fordu Transit 2.0 diesel [50]

7.2.6 Prodej vozů

Aby bylo možné spočítat pro vybrané vozy jejich ekonomickou výhodnost, je třeba stanovit cenu, za kterou je po pěti letech bude možné prodat. V případě Fordu Transit se nejedná o velký problém, neboť se tento automobil v dané karosářské variantě s daným motorem prodává již několik let. Po prohlédnutí nabídek autobazarů jsem stanovil budoucí hodnotu Fordu Transit s motorem 2.0 diesel, 5 let starého a s nájzdem 100 000 km na 440 000 Kč. [51], [52]

V případě hybridního vozu a elektromobilu je výpočet budoucí hodnoty složitější hned z několika důvodů. Baterie použité v daných vozidlech mají kratší životnost než ostatní důležité části vozidla, jejich případná výměna je vzhledem k vysoké ceně baterií velice nákladná. Tento fakt by tedy mohl negativně ovlivnit budoucí hodnotu daných automobilů. Ford na baterie použité ve voze Transit PHEV poskytuje záruku, že za 8 let nebo 160 000 ujetých kilometrů neklesne maximální kapacita baterií pod 70 % původní hodnoty. Stejnou záruku dává také Peugeot na baterie použité ve voze e-Expert. Vliv baterií na budoucí cenu vybraných vozů tedy v kalkulaci budu zanedbávat, neboť v době prodeje vozidel budou baterie stále ještě v záruce.

Dalším problémem při výpočtu budoucí hodnoty vozů je, že vybrané modely nejsou v nabídce výrobců tak dlouho, aby bylo možné posoudit, jak se bude jejich cena v budoucnu vyvíjet. V předchozích letech se také nevyráběla žádná alternativa výrobce pro daný model, budoucí hodnotu vozů jsem se tedy pokusil odhadnout z poklesu ceny automobilů ostatních výrobců. Z průměrných cen několika modelů hybridních automobilů v bazarech starých 5 let a z jejich cen v době, kdy byly prodány jako nové, jsem odhadl, že pokles ceny hybridního automobilu za 5 let je přibližně 37,7 %. Hodnotu Fordu Transit PHEV za 5 let tedy odhaduji na 620 066 Kč.

Stejným způsobem jsem odhadl, že cena elektromobilu po pěti letech poklesne přibližně o 52,41 %. Budoucí hodnotu Peugeotu e-Expert tedy odhaduji na 468 012 Kč.

model	nové 1 [Kč]	nové 2 [Kč]	bazar 1 [Kč]	bazar 2 [Kč]	rozdíl 1 [%]	rozdíl 2 [%]	rozdíl clk [%]
F. Transit 2.0	869 600	869 600	414 200	445 000	52,37	48,83	50,60
pokles hodnoty celkem [%]				50,60			

Tabulka 7.8 Výpočet odhadovaného poklesu budoucí hodnoty pro Ford Transit 2.0 diesel

model	nové 1 [Kč]	nové 2 [Kč]	bazar 1 [Kč]	bazar 2 [Kč]	rozdíl 1 [%]	rozdíl 2 [%]	rozdíl clk [%]
Toyota RAV4	915 900	845 900	627 000	481 000	31,54	43,14	37,34
Toyota C-HR	679 900	629 900	475 000	451 000	30,14	28,40	29,27
Kia Niro	599 980		375 000		37,50		37,50
pokles hodnoty celkem [%]				34,70			

Tabulka 7.10 Výpočet odhadovaného poklesu budoucí hodnoty pro hybridní automobily

model	nové 1 [Kč]	nové 2 [Kč]	bazar 1 [Kč]	bazar 2 [Kč]	rozdíl 1 [%]	rozdíl 2 [%]	rozdíl clk [%]
VW E-up!	599 900	599 900	265 000	289 000	55,83	51,83	53,83
BMW i3	936 000	936 000	449 000	499 999	52,03	46,58	49,31
Nissan Leaf	730 000	730 000	380 000	290 000	47,95	60,27	54,11
pokles hodnoty celkem [%]				52,41			

Tabulka 7.11 Výpočet odhadovaného poklesu budoucí hodnoty pro elektromobily

model	Ford Transit	Ford Transit PHEV	Peugeot e-Expert
cena bez DPH [Kč]	869 600	949 600	983 500
budoucí cena [Kč]	429 600	620 066	468 012

Tabulka 7.9 Odhadované budoucí hodnoty vybraných automobilů

7.2.7 Výpočet NPV

Aby bylo možné porovnat pořízení vybraných automobilů z ekonomického hlediska, je nutné pro každé vozidlo spočítat čistou současnou hodnotu NPV. Ta vyjadřuje celkovou současnou hodnotu všech peněžních toků souvisejících s investičním projektem. Jelikož se jedná o firemní automobily, které slouží jako nutný prostředek pro výkon podnikání, ovšem ne jako primární zdroj výdělnku, pro výpočet NPV uvažují diskontní sazbu 8 %. Meziroční inflaci uvažují 2 %. Tato inflace však neovlivní ceny paliv, neboť inflace v České republice není pro ceny paliv směrodatná.

Ford Transit 2.0 diesel						
rok	0	1	2	3	4	5
koupě vozu [Kč]	869 600					
náklady palivo [Kč]		70 979	70 979	70 979	70 979	70 979
povinné ručení [Kč]		10 286	10 492	10 702	10 916	11 134
náklady servis [Kč]	45 000					
silniční daň		1 560	1 560	1 560	1 800	1 800
prodej vozu [Kč]						447 135
skutečné náklady [Kč]	-914 600	-82 825	-83 030	-83 240	-83 694	363 222
NPV			-942 868			

Tabulka 7.12 Výpočet NPV pro Ford Transit 2.0 diesel

Ford Transit PHEV						
rok	0	1	2	3	4	5
koupě vozu [Kč]	949 600					
náklady na benzín [Kč]		42 424	42 424	42 424	42 424	42 424
náklady na el. [Kč]		21 451	21 451	21 451	21 451	21 451
náklady palivo [Kč]		63 875	63 875	63 875	63 875	63 875
povinné ručení [Kč]		7 007	7 147	7 290	7 436	7 585
náklady servis [Kč]	34 000					
silniční daň		0	0	0	0	0
prodej vozu [Kč]						645 375
skutečné náklady [Kč]	-983 600	-70 882	-71 022	-71 165	-71 311	573 916
NPV		-828 432				

Tabulka 7.13 Výpočet NPV pro Ford Transit PHEV

Peugeot e-Expert						
rok	0	1	2	3	4	5
koupě vozu [Kč]	983 500					
náklady palivo [Kč]		46 434	46 434	46 434	46 434	46 434
povinné ručení [Kč]		6 023	6 143	6 266	6 391	6 519
náklady servis [Kč]		5 750	5 865	5 982	6 102	6 224
silniční daň		0	0	0	0	0
prodej vozu [Kč]						487 115
skutečné náklady [Kč]	-983 500	-58 207	-58 442	-58 683	-58 927	427 937
NPV		-886 151				

Tabulka 7.14 Výpočet NPV pro Peugeot e-Expert

7.2.8 Daňové odpisy

Při posuzování ekonomické výhodnosti daných alternativ je vhodné brát v úvahu daňové odpisy. Daňové odpisy totiž snižují základ daně tím, že pořizovací cenu auta postupně zahrnují do nákladů firmy. Pro plátce DPH se jedná o pořizovací cenu automobilu bez DPH. Doba odepisování se liší podle druhu odepisovaného majetku, pro automobily se jedná o dobu minimálně 5 let. Existují dva možné způsoby odepisování a to rovnoměrné nebo zrychlené. Zvolil jsem odepisování zrychlené, které je výhodnější z hlediska časové hodnoty peněz.

Pro lepší představu řekněme, že firma bude mít pravidelně každý rok čistý zisk 2 000 000 Kč. Množství ušetřených peněz ovšem na zisku nezáleží, ušetřená suma pro daňové odpisy jednotlivých automobilů by byla stejná i pro jiný roční zisk.

Odpisy automobilu snižují daňový základ, celková suma zaplacená za daně tedy bude tím nižší, čím vyšší budou odpisy vozidla.

rok	1	2	3	4	5
zisk [Kč]	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
daň 19 % [Kč]	380 000	380 000	380 000	380 000	380 000
celkem daně [Kč]					1 900 000

Tabulka 7.17 Zaplacené daně celkem bez snížení daňového základu

Ford Transit 2.0 diesel					
rok	1	2	3	4	5
zisk [Kč]	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
odpisy [Kč]	173 920	278 272	208 704	139 136	69 568
zisk - odpisy [Kč]	1 826 080	1 721 728	1 791 296	1 860 864	1 930 432
daň 19 % [Kč]	346 955	327 128	340 346	353 564	366 782
celkem daně [Kč]					1 734 776
ušetřeno [Kč]					165 224

Tabulka 7.16 Zaplacené daně při odpisu vozidla Ford Transit 2.0 diesel

Ford Transit PHEV					
rok	1	2	3	4	5
zisk [Kč]	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
odpisy [Kč]	189 920	303 872	227 904	151 936	75 968
zisk - odpisy [Kč]	1 810 080	1 696 128	1 772 096	1 848 064	1 924 032
daň 19 % [Kč]	343 915	322 264	336 698	351 132	365 566
celkem daně [Kč]					1 719 576
ušetřeno [Kč]					180 424

Tabulka 7.15 Zaplacené daně při odpisu vozidla Ford Transit PHEV

Peugeot e-Expert					
rok	1	2	3	4	5
zisk [Kč]	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
odpisy [Kč]	196 700	314 720	236 040	157 360	78 680
zisk - odpisy [Kč]	1 803 300	1 685 280	1 763 960	1 842 640	1 921 320
daň 19 % [Kč]	342 627	320 203	335 152	350 102	365 051
celkem daně [Kč]					1 713 135
ušetřeno [Kč]					186 865

Tabulka 7.18 Zaplacené daně při odpisu vozidla Peugeot e-Expert

7.3 Vyhodnocení ekonomického porovnání

Hlavním faktorem, podle kterého je možné zhodnotit ekonomickou výhodnost dané varianty a porovnat ji s alternativami, je NPV.

Jak je patrné z tabulek uvedených v kapitole výpočet NPV, nejvýhodnější volbou z ekonomického pohledu by bylo pořízení automobilu Ford Transit PHEV. Hlavním důvodem ekonomické výhodnosti daného automobilu je vysoká budoucí hodnota v době prodeje, kdy za 5 let provozu ztratí odhadem pouze 34,7 % z původní ceny. To je znatelně menší pokles než v případě vozu Ford Transit 2.0 diesel (pokles 50,6 %) nebo Peugeot e-Expert (pokles 52,41 %). Dále má také hybridní varianta Fordu Transit nižší náklady na palivo a nižší servisní náklady než diesellová alternativa a je osvobozena od silniční daně.

Přestože má elektromobil nejnižší náklady na palivo, v porovnání se ukázal jako ekonomicky méně výhodný než hybridní automobil. To je dáno především vysokou pořizovací cenou a velkým poklesem budoucí hodnoty vozidla. Je ovšem třeba přihlédnout k tomu, že skutečná spotřeba elektromobilu použitá při výpočtu ekonomické výhodnosti byla změřena v zimě při teplotách pod bodem mrazu. Při provozu v letních měsících by skutečná spotřeba elektrické energie měla být nižší.

Nutno také dodat, že pro elektromobily a plug-in hybridy s emisemi CO₂ do 50 g na 100 km (tuto hranici ovšem Ford Transit PHEV se 70 g na 100 km nesplňuje) existují v současné době v ČR jistá zvýhodnění. Například nepotřebují dálniční známku a lze s nimi parkovat v Praze za 100 Kč na rok. Na druhou stranu v současnosti v ČR není možné získat dotace na koupi elektrifikovaného vozu a ve městech neexistují žádné nízkoemisní zóny, jako je tomu v některých jiných státech EU.

Jako nejméně výhodná volba se pak jeví Ford Transit 2.0 diesel. Přestože má srovnatelné náklady na palivo a pořizovací cena je nižší než v případě hybridní varianty, pokles jeho budoucí hodnoty je výrazně vyšší. To je ovšem problém především užitkových variant tohoto vozidla, automobily typu bus vybavené sedadly pro převoz pasažérů si dle bazarových cen drží hodnotu o poznání lépe. Ekonomickou nevýhodnost tohoto vozu dále prohlubuje oproti ostatním variantám dražší servis a nutnost platit silniční daň.

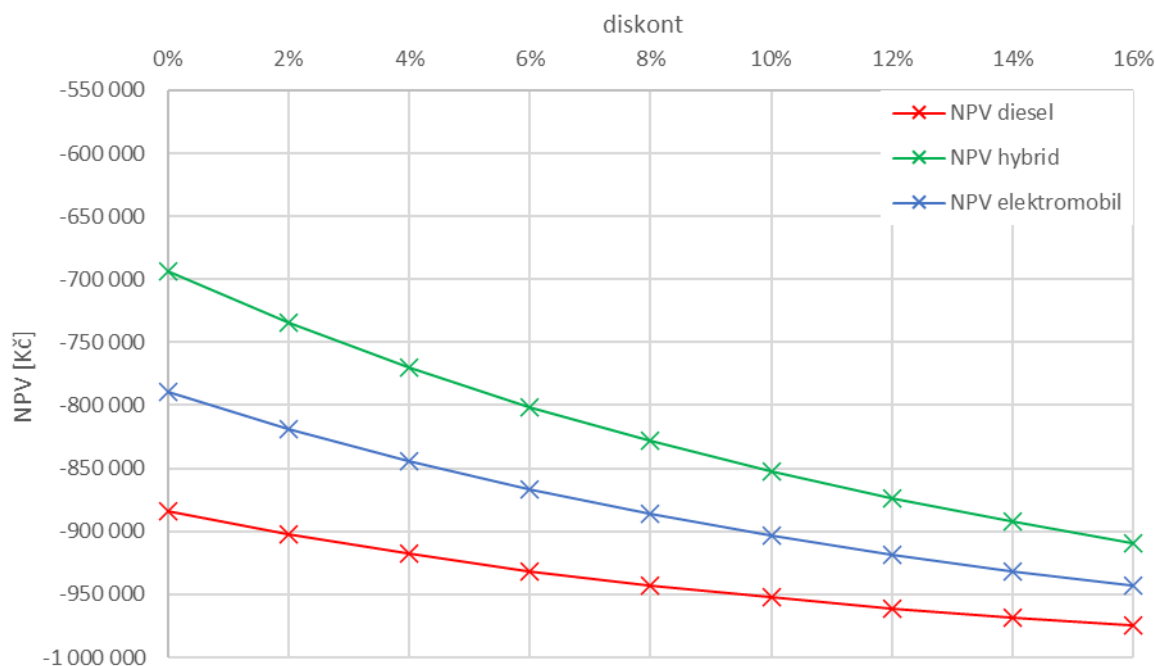
Pro ekonomické porovnání je vhodné brát v úvahu také snížení daňového základu díky daňovým odpisům vozidla. Z tabulek vypočtených hodnot v kapitole daňové odpisy je patrné, že čím vyšší bude počáteční investice do automobilu, tím více peněz bude ušetřeno při placení daní. V celkovém důsledku se ovšem nejedná o tak významnou částku, aby ovlivnila celkový pohled na ekonomickou výhodnost jednotlivých alternativ.

7.3.1 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza ukazuje, jak by se měnily hodnoty NPV, pokud by se měnily vnější hodnoty, které do výpočtu NPV vstupují jako zadané konstanty.

Diskont

Následující graf ukazuje, jak by se měnilo NPV jednotlivých variant, pokud by se změnila hodnota diskontu na hodnotu, která je odlišná od zadaných 8 %.

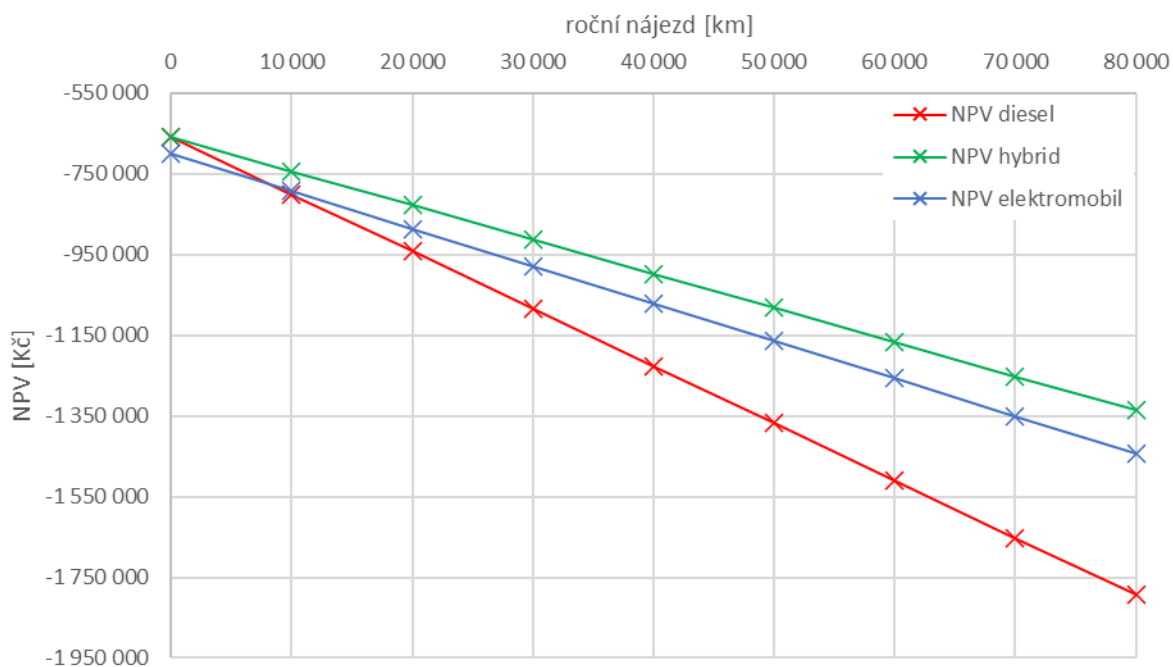


Obrázek 7.1 Graf závislosti NPV na diskontu

Z grafu je patrné, že změna hodnoty diskontu nemá vliv na konečné rozhodnutí o koupi automobilu. Přestože se hodnoty NPV mění, pořadí ekonomické výhodnosti vybraných vozidel zůstává stejné. Nejvýhodnější volbou je tedy hybridní automobil bez ohledu na zvolenou hodnotu diskontu. Nejméně výhodný je pak automobil se vznětovým motorem. Stojí za povšimnutí, že čím je zvolená hodnota diskontu vyšší, tím menší jsou rozdíly v NPV mezi jednotlivými variantami.

Roční nájezd

Graf níže zobrazuje, jak by se měnilo NPV jednotlivých variant, pokud by se změnila hodnota ročního nájezdu kilometrů na hodnotu, která je odlišná od zadaných 20 000 km.

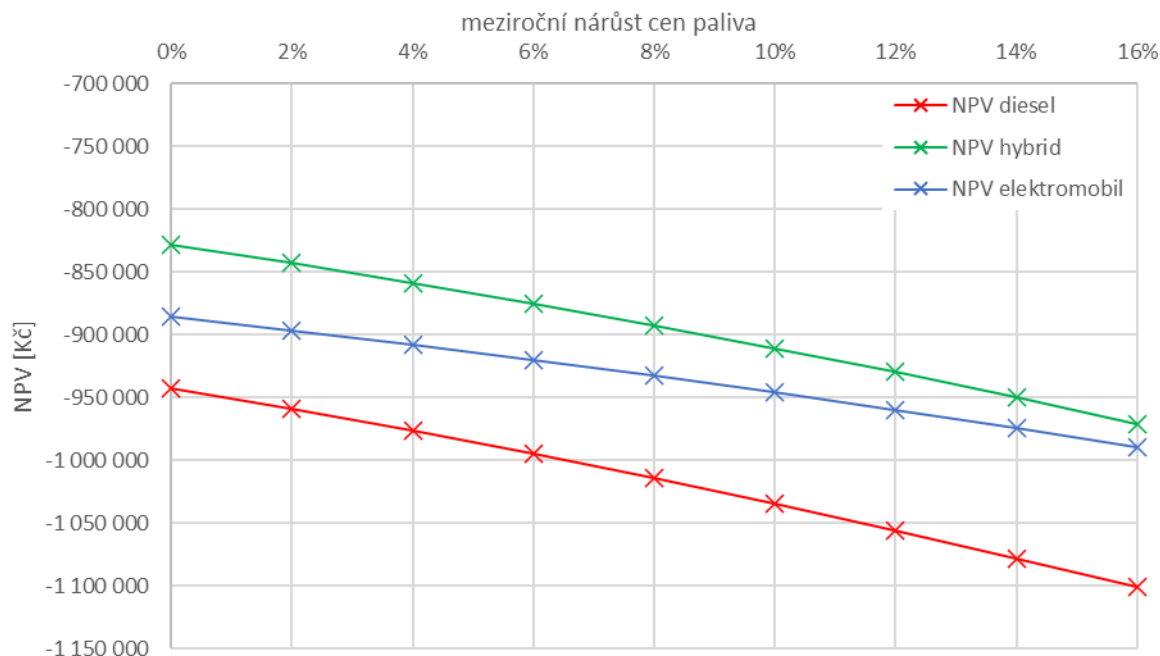


Obrázek 7.2 Graf závislosti NPV na ročním nájezdu kilometrů

Při nízkém nájezdu přibližně do 8 000 km ročně, by pořízení diesellového automobilu vycházelo z hlediska NPV ekonomicky výhodněji, než pořízení elektromobilu. To je dáno vyšší pořizovací cenou elektromobilu. Při vyšším nájezdu by se pak automobil se vznětovým motorem stal méně výhodným než elektromobil, což je dáno především vyššími náklady na palivo. Čím vyšší by roční nájezd naftového vozu byl, tím méně výhodná by byla jeho koupě. Jako nejvýhodnější z daných variant se jeví hybrid, a to bez ohledu na počet najetých kilometrů.

Mezoroční nárůst cen paliv

V grafu níže je znázorněno, jak by se měnilo NPV jednotlivých variant, pokud by mezoročně rostla cena paliv.



Obrázek 7.3 Graf závislosti NPV na mezoročním nárůstu cen paliv

Pokud by ceny paliv vybraných variant, tedy ceny benzínu, motorové nafty a elektřiny, mezoročně narůstaly stejným tempem, pořadí ekonomické výhodnosti vybraných variant by se nezměnilo. Nejvýhodnější variantu by představoval hybrid, nejméně výhodným by pak byl automobil se vznětovým motorem. Výrazně by se v ekonomické výhodnosti vybraných variant projevilo, pokud by se ceny jednotlivých paliv mezoročně měnily odlišnou rychlostí. Pokud by se například cena motorové nafty nezvyšovala, ale mezoroční nárůst ceny elektřiny by byl 10 %, NPV obou variant by bylo přibližně stejné a dané varianty by tak z ekonomického hlediska byly obdobně výhodné.

8 Ekologické porovnání vybraných vozidel

8.1 Emise automobilů

Při provozu automobilu s konvenčním spalovacím motorem jsou produkovány škodlivé látky, které vycházejí výfukovým potrubím a znečišťují okolní ovzduší. V případě elektromobilů nedochází k emisím škodlivých látek přímo z vozidla při jeho provozu, lokální emise elektromobilu jsou tedy nulové. Škodlivé látky jsou však produkovány při výrobě elektrické energie a ke znečištění ovzduší tak dochází v okolí elektráren.

Spektrum škodlivých látek produkováných při provozu automobilu se spalovacím motorem je široké. Především se jedná o oxid uhličitý (CO_2), oxid uhelnatý (CO), oxid dusný (N_2O), oxidy dusíku (NO_x), methan (CH_4), ostatní těkavé organické látky, oxid siřičitý (SO_2) a pevné částice. [53]

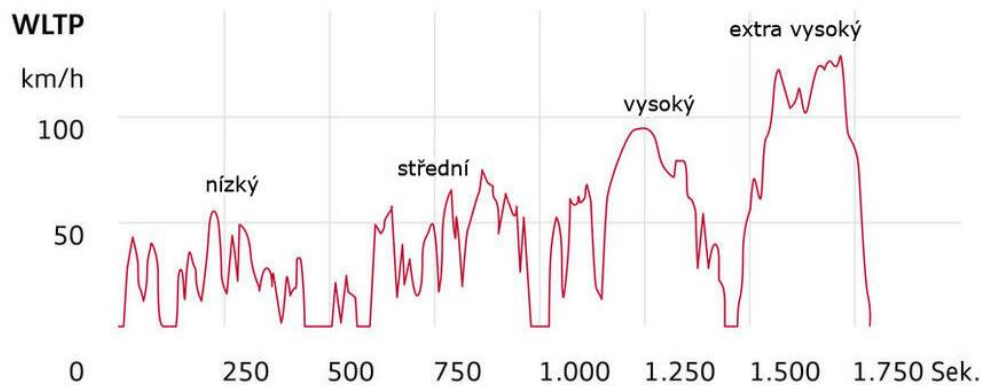
8.1.1 Měření emisí

8.1.1.1 WLTP

Měření emisí automobilů je složitá záležitost, problematické je především měření v reálném provozu, kdy není možné vytvořit jednotné podmínky pro všechna testovaná vozidla. V současné době probíhá měření emisí automobilů v laboratorních podmínkách podle metodiky WLTP, která nahradila zastaralou metodiku NEDC. Od 1. září 2018 se tak veškerá nová vozidla homologují dle normy WLTP, která by měla vykazovat přesnější hodnoty naměřených emisí a průměrné spotřeby automobilů a věrněji zobrazovat výsledky, kterých jsou vozidla schopná dosáhnout v reálných podmínkách. Výsledkem měření dle normy WLTP pro každé testované vozidlo jsou spotřeba paliva a emise CO_2 a výfukových plynů. Parametry jízdního cyklu WLTP jsou následující. [54]

- Teplota v testovací místnosti 23 °C
- Délka trasy cca 23 km
- Doba trvání cyklu cca 30 minut
- Skládá se ze čtyř fází (low, medium, high, extra-high)
- Průměrná rychlost cca 47 km/h
- Podíl stání 13 %
- Maximální rychlost přes 130 km/h
- Okamžiky řazení se pro každé vozidlo individuálně vypočítají předem
- Hmotnost vozidla a doplňková výbava se zahrnují do hodnocení

Obrázek 8.1 Parametry zkoušky dle metodiky WLTP [54]



Obrázek 8.2 Okamžitá rychlost vozidla v čase v průběhu zkoušky dle metodiky WLTP [54]

8.1.1.2 RDE

Vedle laboratorních testů WLTP jsou v současné době nové automobily podrobovány také testům RDE. Test RDE je prováděn v reálném provozu, během nějž je vozidlo používáno v širokém spektru různých podmínek. Ty zahrnují nadmořskou výšku, teplotu, další zatížení, jízdu do kopce a z kopce, městské silnice (nízké rychlosti), venkovské silnice (střední rychlosti) a dálnice (vysoké rychlosti). Samotný test pak trvá 90-120 minut. V testu RDE se kontrolují složky výfukových plynů, především pak NO_x (oxidy dusíku), a podíl pevných částic. Kvůli velkému rozptylu měření v silničním provozu se neměří průměrná spotřeba a emise CO_2 . [55], [56]

Aby bylo možné měřit emise znečišťujících látek při jízdě na pozemních komunikacích, jsou zkoušené vozy vybavené přenosným měřicím zařízením PEMS připojeným na výfukový systém vozidla, které poskytuje komplexní sledování hlavních znečišťujících látek generovaných vozidlem v reálném čase. PEMS je zařízení spojující pokročilé analyzátoři plynu, hmotnostní průtokoměry výfukových plynů, meteorologickou stanici, satelitní geolokaci a síťové připojení. Údaje naměřené zařízením PEMS v reálném čase jsou uchovány a následně analyzovány s cílem ověřit, zda nebyly překročeny mezní hodnoty emisí škodlivých látek dle emisní normy. Mezní hodnoty, které nesmí být překročeny, jsou definované jako limity stanovené laboratorními testy WLTP vynásobené koeficientem shody. Koeficienty shody zohledňují odchylky měřicích zařízení, které neměří se stejnou přesností a opakovatelností, jako v laboratorních podmínkách. [54], [55]

Od ledna 2021 je koeficient shody totožný jak pro oxidy dusíku, tak pro pevné částice, a to 1,5. [57]



Obrázek 8.3 Zařízení PEMS umístěné na vozidle [85]

8.1.2 Emise CO₂

Získat hodnoty všech škodlivin, které jsou při provozu konkrétního automobilu uvolňovány do ovzduší, je velmi složitá záležitost. Způsobů, jak potřebné hodnoty změřit, je velké množství, ne všechny způsoby jsou však porovnatelné. Vzhledem ke složitosti a časové náročnosti daných měření jsem se rozhodl, že v práci uvedu pouze porovnání produkce CO₂. Pro získání základní představy o tom, jaké množství škodlivin jednotlivé varianty vozidel uvolňují při jejich provozu, porovnání emisí CO₂ postačí.

U automobilů s konvenčním spalovacím motorem udávají množství CO₂ produkovaného při provozu vozidla výrobci. Pro Ford Transit se vznětovým motorem o objemu 2000 cm³ se jedná o 182 g CO₂ na km. [58] V případě hybridního Fordu Transit udává výrobce hodnotu 70 g na km. [59] Tato hodnota ovšem reflektuje pouze emise CO₂, které se při provozu uvolňují činností spalovacího motoru. Pro korektní určení celkového množství CO₂ spojeného s provozem hybridu je třeba uvažovat také emise, které jsou spojené s výrobou elektrické energie. Ty je možné spočítat pomocí emisního faktoru CO₂ výroby elektřiny v ČR. Ten je dán složením energetického mixu a odráží to, jakými způsoby je elektrická energie v dané zemi vyráběna. Konkrétně tento faktor ukazuje, kolik tun CO₂ se uvolní do ovzduší při výrobě jedné MWh elektrické energie v dané zemi. Pro ČR v roce 2020 byl tento emisní faktor 0,384 t CO₂/MWh. [60] S využitím průměrné spotřeby elektrické energie a emisního faktoru lze tedy určit množství CO₂, které se do ovzduší uvolní důsledkem spotřeby elektrické energie při provozu hybridu.

$$\text{průměrná spotřeba hybridu kWh na 1 km} \cdot \text{emisní faktor} = \text{množství CO}_2 \text{ na 1 km}$$

$$0,19 \cdot 0,384 = 0,073 \text{ kg/km} = 73 \text{ g/km}$$

Sečtením množství CO₂ udávaného výrobcem a množství CO₂ uvolněného při výrobě elektřiny pak lze získat celkový objem CO₂, který se uvolňuje do ovzduší při provozu hybridu, a to 143 g/km.

Obdobně jako u hybridu lze množství produkovaného CO₂ určit také v případě elektromobilu.

$$\text{průměrná spotřeba elektromobilu kWh na 1 km} \cdot \text{emisní faktor} = \text{množství CO}_2 \text{ na 1 km}$$

$$0,368 \cdot 0,384 = 0,141,3 \text{ kg/km} = 141,3 \text{ g/km}$$

V případě elektromobilu jsou emise CO₂ z výroby elektřiny přímo celkovými emisemi z provozu elektromobilu.

vozidlo	emise CO ₂ na 1 km [g]
Ford Transit diesel	182,0
Ford Transit PHEV	143,0
Peugeot e-Expert	141,3

Tabulka 8.1 Množství CO₂ uvolněného do ovzduší na 1 km provozu daných vozidel

Z tabulky výše je patrné, že emise CO₂ pro hybrid a elektromobil jsou přibližně stejné. Největší množství CO₂ se uvolňuje do ovzduší při provozu automobilu se vznětovým motorem. Pro nájezd 100 000 km by pak za 5 let provozu byl rozdíl vyprodukovaného množství CO₂ mezi dieselovým automobilem a elektromobilem 4,1 t.

vozidlo	emise CO ₂ na 100 000 km [t]
Ford Transit diesel	18,2
Ford Transit PHEV	14,3
Peugeot e-Expert	14,1

Tabulka 8.2 Množství CO₂ uvolněného do ovzduší na 100 000 km provozu daných vozidel

Jelikož jsou emise CO₂ z provozu elektrifikovaných vozidel pevně spjaté s energetickým mixem dané země, bude se také množství CO₂ uvolňovaného do ovzduší při provozu lišit podle země, ve které je vozidlo provozováno. V zemích, kde převládá výroba elektřiny ze zdrojů s nízkou produkcí CO₂, jako jsou například OZE nebo jaderné elektrárny, budou hodnoty CO₂ uvolňovaného při provozu elektrifikovaného vozidla nižší. Pro představu jsou v tabulce níže spočteny hodnoty emisí CO₂ na 1 km pro daná vozidla, pokud by byla provozována v Rakousku. Výroba elektrické energie v Rakousku je z velké části zajišťována OZE, především pak vodními elektrárnami.

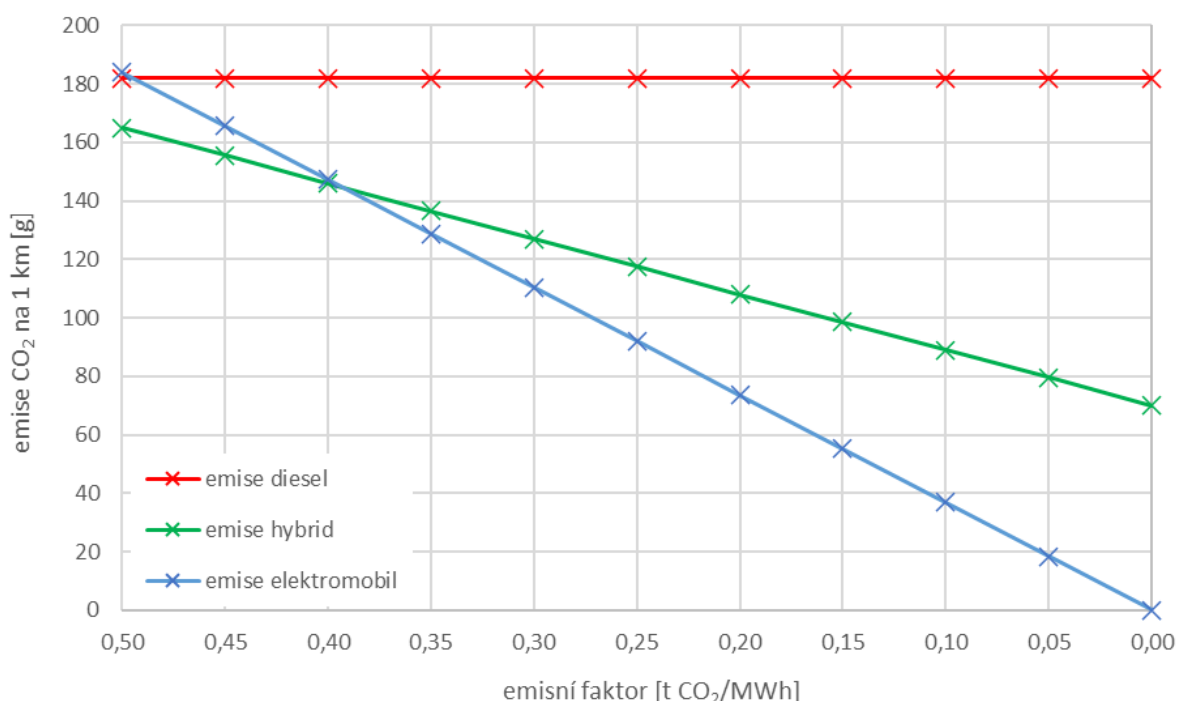
Emisní faktor rakouského energetického mixu pro rok 2020 byl 0,07735 t CO₂/MWh. [61]

	Česká republika	Rakousko
vozidlo	emise CO ₂ na 1 km [g]	emise CO ₂ na 1 km [g]
Ford Transit diesel	182,0	182,0
Ford Transit PHEV	143,0	84,7
Peugeot e-Expert	141,3	28,5

Tabulka 8.3 Emise CO₂ na 1 km při provozu v různých energetických mixech

Je patrné, že množství CO₂ uvolňovaného do ovzduší při provozu daných vozidel je nejvyšší u automobilu s konvenčním spalovacím motorem. Pro elektrifikovaná vozidla je množství produkovaného CO₂ nižší, záleží ovšem na energetickém mixu země, ve které je provozováno.

To, jak je množství emisí CO₂ uvolňovaných při provozu vozidla závislé na emisním faktoru dané země, je zobrazeno v následujícím grafu.



Obrázek 8.4 Graf závislosti emisí CO₂ na 1 km na emisním faktoru

Je logické, že emise CO₂ automobilu se vznětovým motorem na emisním faktoru nezávisí. Z grafu je patrné, že emise CO₂ elektromobilu jsou přímo úměrné emisnímu faktoru. Pro emisní faktor 0,5 budou emise CO₂ elektromobilu vyšší, než automobilu s konvenčním pohonem. Se snižujícím se emisním faktorem se pak snižují také emise CO₂ elektromobilu, pro emisní faktor menší než 0,4 jsou pak nižší, než emise CO₂ hybridu. Pokud by při výrobě elektrické energie nebyl produkován žádný CO₂, emisní faktor by byl nulový a provoz elektromobilu by byl CO₂ bezemisní.

8.2 Externí náklady

Provozem automobilů nevznikají pouze náklady majiteli, který dané vozidlo provozuje, ale vznikají také další, externí náklady. Tyto externí náklady se ovšem nepromítají do přímých nákladů provozovatele automobilu a z ekonomického hlediska na ně nemusí brát zřetel. Je pak pouze na jeho osobním uvážení, zda bude při rozhodování o koupi vozidla brát tyto náklady v úvahu.

Externality z provozu automobilů jsou obecně náklady, které nelze přímo a snadno vyčíslit a které jsou výsledkem dopadů provozu vozidla na okolí. Těchto dopadů může být celá řada, jedná se například o újmy na zdraví osob způsobené dopravními nehodami, znečištění ovzduší vlivem spalování paliv při provozu automobilu, ale například také snížení životního komfortu osob z důvodu hluku.

Stanovení váhy dílčích externalit, tedy jejich vyčíslení, je velice problematické. Neexistuje žádný jednotný postup, jak tyto externality určit. V různých studiích je tedy možné setkat se s odlišnými přístupy, přičemž nelze jednoznačně identifikovat ten správný. Přestože není problematické některé příčiny externalit určit, například lze změřit intenzitu hluku spojeného s pozemní dopravou, je složité peněžně ocenit dopad hluku na okolní prostředí a lidské zdraví. V případě externích nákladů spojených s nehodami v dopravě, kdy se mimo jiné v úvahu berou náklady na zdravotní péči zraněných lidí, je možné nepřímo se dostat až ke stanovování ceny lidského života. Pro stanovení a vyčíslení externalit je tedy zapotřebí hlubokých znalostí dané problematiky. V této práci proto využiji již stanovené dílčí externí náklady viz. [62]. Konkrétně se jedná o kompilační práci výsledků různých studií stanovujících externí náklady, dané hodnoty by tedy měly reprezentovat jistý kompromis mezi přístupy různých autorů k dané problematice. Dále jsem také při nejasnostech ohledně externalit nahlížel do příručky evropské komise [63].

8.2.1 Externí náklady z provozu konvenčního automobilu

Při vyčíslení celkových externalit z osobní dopravy za využití automobilu s konvenčním spalovacím motorem je nutné zahrnout dílčí externí náklady.

Znečištění ovzduší

Emise látek, které znečišťují ovzduší, mohou způsobovat různé druhy škod. Jedná se o dopady na lidské zdraví, degradaci budov, automobilů a dalších materiálů a jejich zvýšené nároky na údržbu, které jsou způsobeny korozí. Dále jsou zde zahrnuty také kyselé deště a negativní vlivy na okolní přírodu, například škody na úrodě obilí, škody způsobené lesům a zvířatům, která v nich žijí.

Změna klimatu

Zde jsou zahrnuty všechny vlivy spojené s globálním oteplováním. Je zde zahrnuto zvyšování teploty zemského povrchu, změny srážkového režimu, ústup horských ledovců a zvyšování mořské hladiny.

Nehody

Nehody se objevují ve všech formách dopravy a tvoří značnou část externích nákladů. Skládají se z materiálních škod, jako je například poškození vozidel, náklady na lékařskou péči nebo administrativní náklady v případě řešení nehody. Dále pak ze škod nehmotných, jako jsou bolestné, psychické újmy, ztráta lidského života apod.

Hluk

Emise hluku z dopravy představují stále rostoucí enviromentální problém díky kombinaci zvětšujícího se objemu dopravy a rostoucí urbanizaci. Zatímco větší objem dopravy má za následek vyšší úroveň hluku, s rostoucí urbanizací roste počet lidí, kteří jsou hlukem postihováni. Do externích nákladů jsou zahrnuty negativní vlivy hluku na člověka a jeho zdraví, ať už jde o ztěžování komunikace, poškození sluchového aparátu, poruchy spánku apod.

Estetičnost

Tato externalita zahrnuje narušení vzhledu krajiny, sníženou viditelnost a další estetické nedostatky spojené s automobilovou dopravou.

Škody na půdě

Zde jsou zahrnuty externí náklady spojené s odlesňováním, sesuvy půdy a usazování sedimentů. Dále je zde zahrnuto poškození vegetace, znečištění půdy těžkými kovy a škody spojené se zastavěním půdy dopravní infrastrukturou.

Znečištění vody

Při vyčíslení této externality byla zahrnuta jak spotřeba vody spojená s provozem a údržbou automobilů, tak možné znečištění vody, například kvůli úniku oleje.

Ztráta biodiverzity

Budování dopravní infrastruktury vede ke ztrátě přírodních ekosystémů, které jsou přirozenými prostředími pro různé druhy živočichů a rostlin. Může také dojít k rozdělení lokálních biotopů nebo k narušení migračních tras některých druhů živočichů. Jsou zde zahrnuty také úhyny živočichů v důsledku přecházení silnic.

Dopravní kongesce

Dopravní kongesce, běžně nazývaná jako dopravní zácpa, nastává, pokud je okamžitý provoz na dané pozemní komunikaci silnější, než je aktuální kapacita dané komunikace. Externí náklady za kongesce se zvyšují, pokud automobily musí snížit svoji cestovní rychlost pod průměr stanovený pro danou komunikaci. Je zde zahrnut jednak čas, který motoristé stráví na cestě vlivem kongesce, jednak hodnota ušlé příležitosti z důvodu zpoždění apod. Míra dopravní kongesce ovlivňuje jiné externality, například znečištění ovzduší nebo dopravní nehody.

Ostatní

Zde je zahrnuta například degradace kulturních památek a národních parků a omezené příležitosti pro rekreaci, jako je například plavání či rybaření. Dále pak změny místní a regionální ekonomické struktury prostřednictvím ztráty pracovních příležitostí.

Externality	# of obs.	min	median	mean	max	s.d.
Air Pollution	69	0.000	1.523	8.233	105.961	19.946
Climate Change	52	0.019	0.838	1.269	16.064	2.326
Chronic Accidents	68	0.000	2.048	6.535	107.785	15.827
Catastrophic Accidents	0					
Noise	70	0.000	0.600	2.825	71.666	9.446
Aesthetics	9	0.000	0.086	0.080	0.154	0.047
Land/Deforestation	3	0.016	0.157	2.439	7.144	4.076
Water	12	0.000	0.060	0.123	0.576	0.167
Species/Bio Diversity Loss	9	0.000	0.034	0.046	0.103	0.040
Occupational Health	0					
Congestion	46	0.000	4.438	13.482	81.379	21.156
Other	26	0.000	0.400	0.828	6.094	1.389

Tabulka 8.4 Vyčíslení dílčích externalit spojených s dopravou [62]

Jedná se o hodnoty převzaté a zkompilevané z velkého množství různých studií. Neexistuje jednotný postup, kterým lze vyčísřit dílčí externí náklady, je tedy možné, že výsledky některých studií výrazně vybočovaly. Z tohoto důvodu jsem pro výpočty využíval medián vyčíslených externích nákladů.

Sečtením všech těchto dílčích externalit je pak možné vyčíslit celkové externí náklady, které vznikají při provozu konvenčního automobilu se spalovacím motorem. Pro vybraný automobil Ford Transit s dieslovým motorem a nájezdy 80 km za den, tedy 20 000 km za rok, jsou pak externí náklady následující.

celkové externí náklady na 1 km [č]	10,2
celkové externí náklady na 1 km [Kč]	2,2
celkové externí náklady za den [Kč]	177
celkové externí náklady za rok [Kč]	44 270
celkové externí náklady za 5 let [Kč]	221 349

Tabulka 8.5 Externí náklady pro Ford Transit diesel

Tyto výsledky ovšem nelze zobecnit i na elektromobily, neboť některé dílčí externality se jich buď vůbec netýkají, nebo je třeba pro jejich vyčíslení zvolit jiný přístup.

8.2.2 Externí náklady z provozu elektromobilu

Provoz elektromobilu se vyznačuje nulovými lokálními emisemi. Do výpočtu celkových externích nákladů tedy nelze zahrnout dílčí položky znečištění ovzduší a změna klimatu stejným způsobem, jako v případě externalit konvenčního automobilu. Emise z provozu elektromobilů lze ovšem vyčíslit jako emise, které vznikají při výrobě elektrické energie spotřebované na provoz. Do výpočtu celkových externích nákladů elektromobilu tedy zahrnu externality výroby elektrické energie. Tyto externality se ovšem liší podle způsobu, jakým se elektrická energie vyrábí. Pro výpočet použiji energetický mix České republiky. Dalším externím nákladem, který je odlišný od automobilů se spalovacím motorem, je hluk. Jedná se především o hluk od motoru a hnacího ústrojí, který je u elektromobilů výrazně nižší. Na druhou stranu aerodynamický hluk a hluk pneumatik otáčejících se na asfaltu je přibližně stejný, jako v případě automobilu se spalovacím motorem. Při nízkých rychlostech je primárním zdrojem hluku automobilu motor a hnací ústrojí, s narůstající rychlostí pak převládá aerodynamický hluk a hluk od kol. Mezi hlukem automobilu a elektromobilu je tedy výraznější rozdíl pouze v nízkých rychlostech, při rychlostech vyšších než přibližně 15 km/h jsou hodnoty hluku srovnatelné a rozdíly se pohybují v jednotkách decibelů. [64] Záleží ovšem také na typu automobilu, jeho rozměrech, tvaru, druhu motoru apod. Z důvodu pouze malých rozdílů jsem se rozhodl do výpočtu celkových externích nákladů pro elektromobil zahrnout vliv hluku stejný, jako v případě automobilu se spalovacím motorem, neboť výsledná chyba bude menší, než kdybych vliv hluku zanedbal.

Zbylé externality by se daly považovat za přibližně stejné jak pro elektromobil, tak pro automobil se spalovacím motorem.

Source	# of obs.	min	median	mean	max	s.d.
Bio	34	-11.672	0.772	5.900	104.112	21.051
Coal	71	0.019	8.100	14.479	157.885	27.727
Fuel Cell	5	1.470	3.554	4.088	7.053	2.130
Gas	46	0.067	2.947	3.461	13.572	2.980
Geothermal	2	0.071	0.093	0.093	0.115	0.031
Hydro	26	-0.511	0.127	1.756	21.216	5.398
Nuclear	19	0.002	0.379	5.635	54.048	14.503
Oil	34	0.606	6.639	7.639	27.217	6.260
PV	16	0.085	0.666	5.338	74.496	18.449
Solar Thermal	6	0.088	0.232	1.502	7.964	3.166
Waste	5	7.819	10.034	14.615	31.764	9.976
Wind	24	0.007	0.199	2.976	42.099	9.486
Total	288	-11.672	2.328	7.152	157.885	17.578

Tabulka 8.6 Vyčíslení externalit pro výrobu elektrické energie různými způsoby [62]

V České republice zaujímá největší podíl na výrobě elektrické energie uhlí, a to 38 %. Následuje jaderné palivo 37 %, obnovitelné zdroje energie (OZE) 13 % a zemní plyn 8 %. [65]

zdroj	podíl na výrobě [%]	externalita [Kč/kWh]
uhlí	38	1,761
zemní plyn	8	0,641
jádro	37	0,082
OZE	13	0,096

Tabulka 8.7 Vyčíslení externalit pro energetický mix ČR

Z podílu různých zdrojů na výrobě energie v ČR a externalit pro jednotlivé zdroje lze spočítat, že externí náklady na výrobu 1 kWh v energetickém mixu ČR jsou 0,76 Kč. Podle průměrné spotřeby elektrické energie pak lze určit externí náklady na výrobu elektřiny spotřebované na provoz elektromobilu a hybridu.

vozidlo	spotřeba za rok [kWh]	spotřeba za 5 let [kWh]	ext. náklady za rok [Kč]	ext. náklady za 5 let [Kč]
Peugeot e-Expert	7 360	36 800	5 617	28 085
Ford Transit PHEV	3 400	17 000	2 595	12 974

Tabulka 8.8 Externí náklady na výrobu elektrické energie spotřebované při provozu daných vozidel

Tyto externí náklady, společně s ostatními relevantními externalitami pro provoz automobilu se spalovacím motorem, které jsou pro elektromobil shodné, tedy s vynecháním dílčích externalit znečištění ovzduší a změny klimatu, dohromady tvoří externí náklady provozu elektromobilu.

celkové externí náklady na 1 km [č]	9,1
celkové externí náklady na 1 km [Kč]	2,0
celkové externí náklady za den [Kč]	158
celkové externí náklady za rok [Kč]	39 624
celkové externí náklady za 5 let [Kč]	198 118

Tabulka 8.9 Externí náklady pro Peugeot e-Expert

Problém nastává u výpočtu externích nákladů hybridního vozidla. Vyčíslené externality pro provoz vozidla se spalovacím motorem jsou vztaženy k počtu ujetých kilometrů. Neprojeví se tedy rozdíl ve spotřebě paliva, přestože se například pro externalitu znečištění ovzduší jedná o relevantní údaj, který by měl její hodnotu ovlivnit. Jak moc by nižší spotřeba hybridu ovlivnila externality vyčíslené pro provoz vozidla se spalovacím motorem nejsem schopen určit. Ve výpočtech tedy budu považovat externality za shodné, přičemž se smírím s jistou nepřesností výsledků. V celkových externích nákladech pro hybridní vozidlo tak budou započítány stejné externality, jako pro vozidlo se spalovacím motorem a zároveň započtu i externí náklady na výrobu elektrické energie spotřebované na provoz hybridu.

celkové externí náklady na 1 km [č]	10,8
celkové externí náklady na 1 km [Kč]	2,3
celkové externí náklady za den [Kč]	187
celkové externí náklady za rok [Kč]	46 865
celkové externí náklady za 5 let [Kč]	234 323

Tabulka 8.10 Externí náklady pro Ford Transit PHEV

8.2.3 Porovnání externích nákladů

Celkové externí náklady pro zvolená vozidla jsou uvedeny v následující tabulce.

vozidlo	celkové externí náklady [Kč]			
	na 1 km	za den	za rok	za 5 let
Ford Transit diesel	2,2	177	44 270	221 349
Peugeot e-Expert	2,0	158	39 624	198 118
Ford Transit PHEV	2,3	187	46 865	234 323

Tabulka 8.11 Porovnání externích nákladů pro vybraná vozidla

Rozdíl externalit mezi vybranými vozidly je dán mírou jejich elektrifikace. Externí náklady automobilu se spalovacím motorem jsem spočítal součtem dílčích externalit pro provoz konvenčního vozidla. Při provozu elektromobilu nevznikají žádné lokální emise, externí náklady znečištění ovzduší a změny klimatu jsem tedy spočítal jako externality, které vznikají při výrobě elektrické energie. Při výpočtu externích nákladů hybridu jsem uvažoval jak dílčí externality z provozu vozidla se spalovacím motorem, tak externality z výroby elektrické energie.

Externí náklady vznikající při provozu vozidel na pozemních komunikacích se nepromítají přímo do nákladů, které platí majitel vozidel za jejich provoz a údržbu. Záleží tedy na osobním uvážení jednotlivce, zda při rozhodování o koupi nového vozidla bude brát na externí náklady zřetel. Z tabulky uvedené výše je však patrné, že hodnoty externalit vzniklých při provozu vozidel nejsou nijak zanedbatelné. Pokud by měl majitel vozidla za povinnost platit externí náklady vzniklé při provozu vozidla, jeho roční náklady by pak byly přibližně dvojnásobné.

Ford Transit diesel						
rok	1	2	3	4	5	celkem
skutečné náklady [Kč]	65 500	65 705	65 915	66 369	66 587	330 077
externí náklady [Kč]	44 270	44 409	44 551	44 858	45 005	223 092
náklady s externalitami [Kč]	109 769	110 114	110 466	111 227	111 593	553 169
Peugeot e-Expert						
rok	1	2	3	4	5	celkem
skutečné náklady [Kč]	39 873	40 109	40 349	40 594	40 844	201 768
externí náklady [Kč]	39 624	39 858	40 096	40 340	40 588	200 505
náklady s externalitami [Kč]	79 497	79 966	80 445	80 933	81 432	402 273
Ford Transit PHEV						
rok	1	2	3	4	5	celkem
skutečné náklady [Kč]	55 249	55 389	55 532	55 677	55 826	277 673
externí náklady [Kč]	46 865	46 984	47 105	47 228	47 355	235 536
náklady s externalitami [Kč]	102 113	102 372	102 636	102 906	103 181	513 209

Tabulka 8.12 Náklady na provoz vybraných vozidel při započítání externalit

9 Závěr

V této práci byly představeny alternativní pohony automobilů, které by do budoucna mohly snížit emise skleníkových plynů z automobilové dopravy. Přestože způsobů, jakými by bylo možné nahradit konvenční spalovací motory, je několik, v současné době se většina světových automobilek vydala cestou elektrifikace. Vozy využívající pro svůj pohon CNG nebo LPG se jako nové v ČR prakticky neprodávají, výjimku tvoří pouze značky Renault a Dacia. Automobil, který je poháněn vodíkem, je v současné době na českém trhu pouze jeden, a to Toyota Mirai. V práci jsem se tedy zaměřil na porovnání vozidla s konvenčním spalovacím motorem a vozidel elektrifikovaných.

Z ekonomického porovnání vybraných vozidel je patrné, že elektrifikované automobily mohou konkurovat těm konvenčním, pro zadaný případ je dokonce překonávají. V modelové situaci se jako ekonomicky nejvýhodnější varianta ukázalo hybridní vozidlo, jehož přednostmi jsou především malý pokles budoucí hodnoty vozidla a nízké náklady na palivo. Druhou nejvýhodnější variantou pro zadaný případ je elektromobil. Přestože jeho náklady na palivo jsou z vybraných variant nejnižší, ekonomickou výhodnost elektromobilu sráží především vysoká počáteční investice a velký pokles budoucí hodnoty vozidla. Jako ekonomicky nejméně výhodnou variantu pro zadanou situaci lze označit automobil se vznětovým motorem. Ačkoli je jeho pořizovací cena z vybraných alternativ nejnižší, vysoké náklady na palivo a velký pokles budoucí hodnoty zapříčinily, že se ukázal jako ekonomicky nejméně výhodný. Z pohledu ekonomické výhodnosti elektrifikovaných vozidel bude do budoucna záležet především na tom, jak budou výrobci schopni snižovat pořizovací cenu elektromobilů, jakým způsobem se bude vyvíjet cena elektřiny a jaký dopad bude mít hromadný provoz elektromobilů na elektrizační soustavu. Fakt, že elektrifikované automobily mohou konkurovat vozidlům s konvenčními spalovacími motory z ekonomického pohledu, ovšem neznamena, že jsou také stejně využitelné.

V současné době je největší nevýhodou elektromobilů omezený dojezd a doba nabíjení, která je výrazně delší, než doba potřebná pro natankování nádrže konvenčního vozu. Tyto nedostatky by v budoucnu mohla vyřešit některá z nových technologií výroby baterií a rychlejší nabíjení elektromobilů, kterému by mohla pomoci 800V architektura některých nových vozů. Negativem hybridních automobilů je především složitost pohonné soustavy. Vměstnat do vozidla spalovací motor, elektromotor, dostatečně velkou baterii a palivovou nádrž je složitým úkolem nejen kvůli prostorovému omezení, ale také kvůli snaze o udržení hmotnosti vozidla v přijatelných mezích. Často se tedy stává, že je hybrid vybaven buď baterií s nízkou kapacitou, nebo malou palivovou nádrží. Každá z těchto variant pak vede k omezenému dojezdu automobilu. Spalovací motory v hybridech pak bývají menší, než motory ve srovnatelně velkých konvenčních automobilech. To způsobuje horší dynamiku a vyšší spotřebu v případě, že majitel pravidelně nenabíjí baterie vozidla z elektrické sítě.

Z důvodu náročnosti opatření potřebných dat jsem porovnání emisí škodlivých látek produkovaných při provozu vybraných vozidel omezil pouze na porovnání emisí CO₂. I z tohoto porovnání je však patrné, že provoz elektrifikovaných vozidel je šetrný k životnímu prostředí pouze do té míry, do jaké je šetrná výroba elektrické energie použité pro pohon těchto vozidel. Pokud je energetický mix složen ze zdrojů produkujících velké množství CO₂, například z tepelných elektráren spalujících fosilní paliva, bude také provozem elektromobilu uvolňováno do ovzduší více CO₂.

Pro energetický mix České republiky se ukázalo, že provozem elektromobilu a hybridu se uvolní do ovzduší přibližně stejné množství CO₂, a to cca 140 g na jeden ujetý kilometr. Toto množství je pak přibližně o 40 g CO₂ na ujetý kilometr menší, než v případě automobilu se vznětovým motorem. Pro energetický mix Rakouska, jehož podstatnou část tvoří OZE, je rozdíl mezi konvenčním automobilem a elektrifikovanými vozidly výrazně větší. Vybraný elektromobil by v rakouském energetickém mixu zapříčinil na jeden ujetý kilometr 28,5 g CO₂ vypuštěného do ovzduší. To je přibližně 6,5krát méně, než v případě vozidla se spalovacím motorem a přibližně 5krát méně, než v případě stejného elektromobilu provozovaného v energetickém mixu ČR.

Od způsobu výroby elektrické energie se také odvíjí velikost rozdílů externích nákladů mezi jednotlivými variantami. Tyto náklady se nepromítají do přímých nákladů provozovatele vozidla, ale oceňují dopady provozu vozidla na jeho okolí. Nejmenší externí náklady z vybraných variant má elektromobil, u kterého by pro zadaný případ v energetickém mixu ČR činily 39 624 Kč za rok provozu.

10 Seznam literatury

- [1] “Kdy dojde ropa a co se stane? V optimistické verzi za 60 let. A v pesimistické.. - National Geographic.” <https://www.national-geographic.cz/clanky/kdy-dojde-ropa-v-optimisticke-verzi-za-60-let-a-v-pesimisticke.html> (accessed Apr. 25, 2022).
- [2] “Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Změna klimatu : Základní informace.” <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace#> (accessed Mar. 15, 2022).
- [3] “Fakta o klimatické změně – OSN Česká republika.” <https://www.osn.cz/sdg-13-prijmout-bezodkladna-opatreni-na-boj-se-zmenou-klimatu-a-zvladani-jejich-dopadu/fakta-o-klimaticke-zmene/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [4] *Global Climate Change*. Elsevier, 2021. doi: 10.1016/C2019-0-05200-4.
- [5] “Overview of Greenhouse Gases | US EPA.” <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (accessed Mar. 25, 2022).
- [6] “Emise skleníkových plynů ČR.” <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr> (accessed Mar. 29, 2022).
- [7] “Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu - Ministerstvo životního prostředí.” https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol (accessed Jan. 03, 2022).
- [8] “Pařížská dohoda - Ministerstvo životního prostředí.” https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda (accessed Jan. 03, 2022).
- [9] “Kompromis i zklamání. Státy světa odhlasovaly v Glasgow znění klimatické dohody - Deník.cz.” https://www.denik.cz/ze_sveta/dohoda-klima-glasgow.html (accessed Jan. 03, 2022).
- [10] J. Kameš, *Alternativní pohon automobilů*. Praha: BEN - technická literatura, 2004.
- [11] J. Hromádko, *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012.
- [12] J. Novosád, *Alternativní paliva a možnosti řešení pohonných jednotek v budoucnosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007.
- [13] J. Novosád, “Alternativní pohon automobilů.” https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16518 (accessed Dec. 20, 2021).
- [14] “Nové Sandero | Dacia Česká republika.” https://www.dacia.cz/vozy/nove-sandero.html?ds_rl%5B%5D=1291048 (accessed Dec. 20, 2021).
- [15] “Evidence čerpacích stanic pohonných hmot.” <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/tuha-paliva/2021/4/Zprava-o-aktualizaci-a-stavu-Evidence-cerpacich-panic-pohonných-hmot-v-CR-k-9-4-2021.pdf> (accessed Dec. 20, 2021).

- [16] F. Vlk, *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004.
- [17] “Statistiky | CNG4You.” <http://www.cng4you.cz/cng-info/statistiky.html> (accessed Dec. 20, 2021).
- [18] J. Horčík, “plug-in hybrid,” 2009. <https://www.hybrid.cz/plug-in-hybrid/> (accessed Dec. 20, 2021).
- [19] “What Are ‘Supercapacitors’ And What Are They Doing In Lamborghini’s New Sián Supercar?” <https://www.forbes.com/sites/billroberston/2019/09/06/what-are-supercapacitors-and-what-are-they-doing-in-lamborghinis-new-sin-supercar/?sh=61c85ad33bb9> (accessed May 04, 2022).
- [20] J. G. Hayes and G. A. Goodarzi, *Electric Powertrain : Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles*. Newark, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2018. [Online]. Available: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=5148928>
- [21] P. Koblík and J. Pavelka, *Elektrické pohony a jejich řízení. 3. přepracované vydání*. Praha: České vysoké učení technické, 2016.
- [22] W. D. Richards, L. J. Miara, Y. Wang, J. C. Kim, and G. Ceder, “Interface Stability in Solid-State Batteries,” *Chemistry of Materials*, vol. 28, no. 1, pp. 266–273, Jan. 2016, doi: 10.1021/ACS.CHEMMATER.5B04082.
- [23] “3 Types of Hybrid Batteries | Hybrid Geek.” <https://www.thehybridgeek.com/3-types-of-hybrid-batteries/> (accessed Dec. 22, 2021).
- [24] “Lithno-sírné baterie z VUT na dlouhé cestě do praxe | Technický týdeník.” https://www.technickytydenik.cz/rubriky/energetika-teplo/lithno-sirne-baterie-z-vut-na-dlouhe-cesto-do-praxe_53200.html (accessed Dec. 22, 2021).
- [25] “Šach-mat: Nová grafenová baterie může ohrozit prvenství Tesly na poli elektromobility — Solární Novinky.” <https://www.solarninovinky.cz/sach-mat-nova-grafenova-baterie-muze-ohrozit-prvenstvi-tesly-na-poli-elektromobility/> (accessed Dec. 22, 2021).
- [26] “CATL představil funkční sodíkové iontové baterie | fDrive.cz.” <https://fdrive.cz/clanky/catl-predstavil-funkcni-sodikove-iontove-baterie-7517> (accessed Dec. 22, 2021).
- [27] “ČR patří co do počtu dobíjecích stanic do průměru EU, tvoří ale jen 0,5 % | auto.cz.” <https://www.auto.cz/cr-patri-co-do-poctu-dobijecich-stanic-do-prumeru-eu-tvori-ale-jen-0-5-140317> (accessed Dec. 25, 2021).
- [28] F. Ráček, “ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Přehled nabíjecích stanic pro elektrická vozidla,” 2016.

- [29] “Wallbox nebo zásuvka? Co se vyplatí a proč? | E.ON Energy Globe.”
<https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/po-elektrokolech-a-elektromobilech-prichazi-elektrosurf> (accessed Dec. 23, 2021).
- [30] “Elektromobily a jejich nabíjení: Typy nabíječek a konektorů | auto.cz.”
<https://www.auto.cz/elektromobily-a-jejich-nabijeni-znate-nejcastejsi-typy-nabijecek-a-konektoru-130851> (accessed Dec. 23, 2021).
- [31] “Průvodce možnostmi nabíjení elektromobilu | E.ON Energy Globe.”
<https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/po-elektrokolech-a-elektromobilech-prichazi-elektrosurf> (accessed Dec. 23, 2021).
- [32] “Zkusili jsme nejlepší nabíječku v ČR: doplní 1200 km/h, energii bere z vody - iDNES.cz.”
https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/tesla-ionity-nabijecka-lovosice-lovos-renoenergie-vodni-elektarna-pistany.A210709_165049_software_nyv (accessed Dec. 23, 2021).
- [33] “Škoda Enyaq iV: dojezd až 500 km s baterií 82 kWh, rychlonabíjení 125 kW.”
<https://www.hybrid.cz/skoda-nyaq-iv-dojezd-az-500-km-s-baterii-82-kwh-rychlona-bijeni-125-kw/> (accessed Dec. 23, 2021).
- [34] “TEST: Audi e-tron – luxusní svezení, ale velký žrout energie.” <https://www.hybrid.cz/test-audi-e-tron-luxusni-svezeni-ale-velky-zrout-energie/> (accessed Dec. 23, 2021).
- [35] “Elektromobily a jejich nabíjení: Typy nabíječek a konektorů | auto.cz.”
<https://www.auto.cz/elektromobily-a-jejich-nabijeni-znate-nejcastejsi-typy-nabijecek-a-konektoru-130851> (accessed Dec. 25, 2021).
- [36] “Tesla už kvůli evropskému Modelu 3 osazuje české Superchargery konektorem CCS | fDrive.cz.” <https://fdrive.cz/clanky/tesla-uz-kvuli-evropskemu-modelu-3-osazuje-ceske-superchargery-konektorem-ccs-3517> (accessed Dec. 25, 2021).
- [37] “Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě.” <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete> (accessed Dec. 25, 2021).
- [38] J. Kameš, *Alternativní palivo - vodík*. Praha: CVUT Praha, 2008.
- [39] K. Bouzek, M. Paidar, and A. Doucek, “Stav a perspektivy vodíkových technologií - Česká vodíková technologická platforma.” <https://www.hytep.cz/cs/clanky/kategorie-clanku/clanky/627-stav-a-perspektivy-vodikovych-technologii> (accessed Dec. 20, 2021).
- [40] “Kam dospěl vývoj palivových článků? | Technický týdeník.”
https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/kam-dospel-vyvoj-palivovych-clanku_16930.html (accessed Dec. 20, 2021).
- [41] “Hybridní elektrické dodávky | Trucker.” https://www.trucker.cz/rubriky/van/hybridni-elektricke-dodavky_47090.html (accessed Dec. 29, 2021).

- [42] “C27d + D27d – vaše sazby pro život s elektromobilem | Skupina ČEZ - O Společnosti.”
<https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/c27d-d27d-vase-sazby-pro-zivot-s-elektromobilem-47776> (accessed Jan. 05, 2022).
- [43] “Ford Transit Custom MPG - Actual MPG from 4 Ford Transit Custom owners.”
https://www.fuelly.com/car/ford/transit_custom?engineconfig_id=103&bodytype_id=&submodel_id= (accessed Dec. 31, 2021).
- [44] “TEST: Ford Transit Custom PHEV (plug-in hybrid) – skutečná spotřeba | USPORNE.info.”
<https://www.usporne.info/10932-test-ford-transit-custom-phev-plug-in-hybrid-skutecná-spotřeba/> (accessed Dec. 31, 2021).
- [45] “Peugeot e-Expert im Test: So praktisch ist Frankreichs neuer Elektro-Transporter - EFAHRER.com.” https://efahrer.chip.de/tests/peugeot-e-expert-im-test-so-praktisch-ist-frankreichs-neuer-elektro-transporter_103649 (accessed Dec. 31, 2021).
- [46] “Průměrné ceny pohonných hmot v ČR.” <https://www.mbenzin.cz/Prumerne-ceny-benzinu> (accessed Apr. 15, 2022).
- [47] “Ceník ČEZ 2022.” https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2022/mop/cez_cenik_elektrina_bez-zavazku_mop_2022_cezdi_web.pdf (accessed Apr. 15, 2022).
- [48] “Ford Service Plan.” https://www.ford.cz/content/dam/guxeu/cz/cs_cz/documents/prednakupem/navic/Zaruky/ford-protect/Ford_Service_Plan_cenik.pdf (accessed Jan. 02, 2022).
- [49] “Peugeot servisní poplatky.” <https://media.ndp.awsmpsa.com/file/60/8/1194-2020-pg-plakat-pausaly-2021-03-05-hr-2-.789608.pdf> (accessed Jan. 02, 2022).
- [50] “Kalkulačka silniční daň 2021 | MONETA Money Bank.”
<https://www.moneta.cz/kalkulacky/kalkulacka-silnicni-dane#kalkulacka> (accessed Jan. 03, 2022).
- [51] “Auto ESA - Prodej a výkup ojetých vozů.” <https://www.autoesa.cz/> (accessed Jan. 02, 2022).
- [52] “Autobazar AAA AUTO – největší výběr ojetých vozů.” <https://www.aaaauto.cz/> (accessed Jan. 02, 2022).
- [53] “Nebezpečné látky a odpady v dopravě.” <https://www.czrso.cz/clanek/nebezpecne-latky-a-odpady-v-doprave/?id=1423> (accessed May 03, 2022).
- [54] “WLTP | Audi Česká republika.” <https://www.audi.cz/wltp> (accessed May 06, 2022).
- [55] “WLTP.” <https://www.fiatprofessional.com/cz/WLTP> (accessed May 09, 2022).
- [56] “WLTP - Značka a technologie | Volkswagen Česká republika.”
<https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/wltp> (accessed May 09, 2022).
- [57] “BVRILA What is an RDE2 vehicle?” <https://www.bvrla.co.uk/resource/what-is-an-rde2-vehicle.html> (accessed May 09, 2022).

- [58] “Ford Transit Custom 2019 2.0L Van | AIR Index.”
<https://www.airindex.com/search/van/Ford/Transit%20Custom/10236251> (accessed May 02, 2022).
- [59] “Ford Transit Custom hybrid range, MPG, CO2 & charging | DrivingElectric.”
<https://www.drivingelectric.com/ford/transit-custom/range> (accessed May 02, 2022).
- [60] “Emisní faktor CO2 z výroby elektřiny za léta 2010–2021 | MPO.”
https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/hodnota-emisniho-faktoru-co2-z-vyroby-elekriny-za-leta-2010_2020--260559/ (accessed May 06, 2022).
- [61] “Stromkennzeichnungsbericht - www.e-control.at.” <https://www.e-control.at/publikationen/oeko-energie-und-energie-effizienz/berichte/stromkennzeichnungsbericht> (accessed May 09, 2022).
- [62] B. K. Sovacool, J. Kim, and M. Yang, “The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities,” *Energy Research & Social Science*, vol. 72, p. 101885, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.ERSS.2020.101885.
- [63] E. Commission *et al.*, *Handbook on the external costs of transport : version 2019 – 1.1.* Publications Office, 2020. doi: doi/10.2832/51388.
- [64] I. Salleh, M. Z. Md zain, and R. Raja, “Evaluation of Annoyance and Suitability of a Back-Up Warning Sound for Electric Vehicles,” *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 8, pp. 1267–1277, Apr. 2013, doi: 10.15282/ijame.8.2013.16.0104.
- [65] “Roční zpráva o provozu ES 2020.”
https://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Rocni_zprava_provoz_ES_2020.pdf (accessed Apr. 09, 2022).
- [66] “Scientific Consensus | Facts – Climate Change: Vital Signs of the Planet.”
<https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [67] “Sea Level | Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet.”
<https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [68] “Klima - CO2 vs. CO2e: What’s the difference?” <https://klima.com/blog/CO2-vs-CO2e-what-is-the-difference/> (accessed Mar. 29, 2022).
- [69] “Montáž LPG - AutoKantor CZ.” <http://www.autokantor.cz/suzuki/servis-vozu-suzuki/montaz-lpg/> (accessed Dec. 20, 2021).
- [70] “Mapa CNG stanic | CNG.” <https://www.cngplus.cz/mapa-cng-stanic.html> (accessed Dec. 20, 2021).
- [71] “Hybridní systémy pro pohon automobilů.” <https://oenergetice.cz/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu> (accessed Dec. 20, 2021).

- [72] “Princip stejnosměrných motorů — ElektriKa.cz, reportážní portál instalační elektrotechniky, vyhlášky, schémata zapojení .” <https://elektriKa.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru> (accessed Dec. 21, 2021).
- [73] Bc. František Kroupa, “Návrh a konstrukce soft startéru pro asynchronní motory do 5kW.” <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/67339/F3-DP-2016-Kroupa-Frantisek-Navrh%20a%20konstrukce%20soft%20starteru%20pro%20asynchronni%20motory%20do%205KW.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed Dec. 21, 2021).
- [74] D. Práce and B. V. Krajánek, “ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY Návrh synchronního motoru s permanentními magnety pro pohon elektromobilu”.
- [75] “Mapa nabíjecích stanic | fDrive.cz.” <https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/> (accessed Dec. 25, 2021).
- [76] “Jak a kde dobít elektromobil a kolik lze ušetřit? | Alza.cz.” <https://www.alza.cz/vse-o-nabijeni-elektromobilu> (accessed Dec. 25, 2021).
- [77] “Co je to palivový článek | 3 pól - Magazín plný pozitivní energie.” <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1084-co-je-to-palivovy-clanek> (accessed Dec. 21, 2021).
- [78] “Ford Transit Custom van dimensions, capacity, payload, volume, towing | Parkers.” <https://www.parkers.co.uk/vans-pickups/ford/transit-custom/2012-dimensions/> (accessed Dec. 29, 2021).
- [79] “Ford Transit Custom Plug-In Hybrid electric van dimensions (2019-on), capacity, payload, volume, towing | Parkers.” <https://www.parkers.co.uk/vans-pickups/ford/transit-custom/2019-plug-in-hybrid-dimensions/> (accessed Dec. 29, 2021).
- [80] “Peugeot e-Expert electric van dimensions (2020-on), capacity, payload, volume, towing | Parkers.” <https://www.parkers.co.uk/vans-pickups/peugeot/expert/2020-e-expert-dimensions/> (accessed Dec. 29, 2021).
- [81] “EXPERT Furgon.” <https://konfiguratorpro.peugeot.cz/expert/expert/furgon/> (accessed Mar. 20, 2022).
- [82] “Konfigurátor | Ford CZ.” https://www.ford.cz/pred-nakupem/dalsi-kroky/konfigurator-cv-gf3#/catalogID/WSEAT-TTF-2018-TransitCustomCZE202175/summary/?code=DGADU_DR--A_EN-BK_TR-CG:CA%23VA (accessed Mar. 20, 2022).

- [83] “Konfigurátor | Ford CZ.” https://www.ford.cz/pred-nakupem/dalsi-kroky/konfigurator-cv-gf3#/catalogID/WSEAT-TTF-2018-TransitCustomCZE202175/summary/?code=DGADU_DR--A_EN-M1_TR-WA:CA%23VA (accessed Mar. 20, 2022).
- [84] “Nejlevnější povinné ručení - pojištění vozidel online | Cestovní pojištění | ePojisteni.cz.” <https://www.epojisteni.cz/> (accessed Mar. 21, 2022).
- [85] “PEMS Passenger Cars - Passenger Cars and Motorbikes | TÜV NORD.” <https://www.tuev-nord.de/en/company/traffic/manufacturers/drive-train-and-emissions/passenger-cars-and-motorbikes/pems-passenger-cars/> (accessed May 09, 2022).

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Průměrná teplota povrchu planety Země za posledních 140 let [66].....	14
Obrázek 2.2 Graf změny výšky mořské hladiny za posledních 120 let [67].....	15
Obrázek 2.3 Globální emise skleníkových plynů podle typu plynu [68]	16
Obrázek 2.4 Současné a historické hodnoty koncentrací skleníkových plynů v atmosféře [2]	17
Obrázek 2.5 Celkové emise skleníkových plynů v ČR za rok 2018 [6].....	18
Obrázek 3.1 Schéma automobilu s LPG zástavbou [69].....	21
Obrázek 3.2 Mapa CNG stanic v ČR k 20.12.2021 [70].....	23
Obrázek 4.1 Sériové uspořádání hybridního pohonu [71].....	25
Obrázek 4.2 Paralelní uspořádání hybridního pohonu [71].....	26
Obrázek 5.1 Příčný řez stejnosměrným kartáčovým motorem [72].....	28
Obrázek 5.2 Příčný řez asynchronního motoru s kotvou nakrátko [73].....	30
Obrázek 5.3 Příčný řez synchronního motoru s PM s vnitřním rotorem [74].....	31
Obrázek 5.4 Schematický příčný řez spínaným reluktančním motorem [21]	31
Obrázek 5.5 Mapa nabíjecích stanic v ČR [75].....	36
Obrázek 5.6 Schematický náčrt AC nabíjení [28]	37
Obrázek 5.7 Schematický náčrt DC nabíjení [28]	38
Obrázek 5.8 Přehled konektorů pro nabíjení elektromobilů [76].....	39
Obrázek 6.1 Principiální schéma palivového článku [77].....	41
Obrázek 7.1 Graf závislosti NPV na diskontu	55
Obrázek 7.2 Graf závislosti NPV na ročním nájezdu kilometrů	56
Obrázek 7.3 Graf závislosti NPV na meziročním nárůstu cen paliv	57
Obrázek 8.1 Parametry zkoušky dle metodiky WLTP [54]	58
Obrázek 8.2 Okamžitá rychlost vozidla v čase v průběhu zkoušky dle metodiky WLTP [54].....	59
Obrázek 8.3 Zařízení PEMS umístěné na vozidle [85].....	60
Obrázek 8.4 Graf závislosti emisí CO ₂ na 1 km na emisním faktoru.....	62

Seznam tabulek

Tabulka 5.1 Porovnání parametrů jednotlivých typů elektromotorů [20]	32
Tabulka 5.2 Porovnání parametrů jednotlivých typů akumulátorů [4].....	35
Tabulka 7.1 Porovnání základních parametrů vybraných vozidel [78]–[80]	43
Tabulka 7.2 Počáteční investice při koupi vybraných vozidel [81]–[83]	44
Tabulka 7.3 Náklady na palivo při provozu vybraných vozidel.....	47
Tabulka 7.4 Náklady na servis za 5 let pro vybrané vozy	48
Tabulka 7.5 Průměrná roční cena povinného ručení pro vybrané automobily [84]	48
Tabulka 7.6 Cena povinného ručení pojišťovny Direct pro vybraná vozidla [84]	49
Tabulka 7.7 Silniční daň pro jednotlivé roky provozu Fordu Transit 2.0 diesel [50]	49
Tabulka 7.8 Výpočet odhadovaného poklesu budoucí hodnoty pro Ford Transit 2.0 diesel.....	50
Tabulka 7.9 Odhadované budoucí hodnoty vybraných automobilů	51
Tabulka 7.10 Výpočet odhadovaného poklesu budoucí hodnoty pro hybridní automobily	51
Tabulka 7.11 Výpočet odhadovaného poklesu budoucí hodnoty pro elektromobily	51
Tabulka 7.12 Výpočet NPV pro Ford Transit 2.0 diesel	51
Tabulka 7.13 Výpočet NPV pro Ford Transit PHEV	52
Tabulka 7.14 Výpočet NPV pro Peugeot e-Expert.....	52
Tabulka 7.15 Zaplacené daně při odpisu vozidla Ford Transit PHEV	53
Tabulka 7.16 Zaplacené daně při odpisu vozidla Ford Transit 2.0 diesel	53
Tabulka 7.17 Zaplacené daně celkem bez snížení daňového základu	53
Tabulka 7.18 Zaplacené daně při odpisu vozidla Peugeot e-Expert.....	53
Tabulka 8.1 Množství CO ₂ uvolněného do ovzduší na 1 km provozu daných vozidel	61
Tabulka 8.2 Množství CO ₂ uvolněného do ovzduší na 100 000 km provozu daných vozidel	61
Tabulka 8.3 Emise CO ₂ na 1 km při provozu v různých energetických mixech	62
Tabulka 8.5 Vyčíslení dílčích externalit spojených s dopravou [62]	65
Tabulka 8.6 Externí náklady pro Ford Transit diesel	66
Tabulka 8.7 Vyčíslení externalit pro výrobu elektrické energie různými způsoby [62]	67
Tabulka 8.8 Vyčíslení externalit pro energetický mix ČR	67
Tabulka 8.9 Externí náklady na výrobu elektrické energie spotřebované při provozu daných vozidel	68
Tabulka 8.10 Externí náklady pro Peugeot e-Expert.....	68
Tabulka 8.11 Externí náklady pro Ford Transit PHEV	68
Tabulka 8.12 Porovnání externích nákladů pro vybraná vozidla	69
Tabulka 8.13 Náklady na provoz vybraných vozidel při započítání externalit	69