

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Alternativní pohony spalovacích motorů

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Autor práce: Lukáš Malár

© 2019 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Malár

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Alternativní pohony spalovacích motorů

Název anglicky

Alternative drive for combustion engines

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat alternativní pohony vozidel a to především z pohledu produkce oxidu uhličitého (Well to Wheel). Analýza bude zaměřena především na současné pohony a pohony budoucnosti.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Pohony vozidel
4. Well to Wheel analýza
5. Závěr

Doporučený rozsah práce

30-40

Klíčová slova

spalovací motor, biopaliva, elektromotor, hybridním pohon

Doporučené zdroje informací

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
KAMEŠ, J. *Alternativní pohony automobilů*. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
KAMEŠ, J. *Fosilní paliva : uhlí, ropa a zemní plyn*. Praha: [s.n.], 2012. ISBN 978-80-260-3499-5.
LINDER, J. – HALDERMAN, J D. *Automotive fuel and emissions control systems James D. Halderman, Jim Linder*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 013110442.
Normy, periodika a firemní literatura

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 21. 12. 2016

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 03. 02. 2019

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Alternativní pohony spalovacích motorů** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 28.3.2019

Podpis: _____
Malár Lukáš

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Marinu Pexovi, Ph.D. za nesmírnou pomoc, vstřícný přístup, cenné rady a připomínky, které mi psaní bakalářské práce velmi usnadnilo. Dále velice děkuji svým rodičům, sourozencům a kamarádům za jejich podporu a trpělivost během psaní práce i během celého studia.

Abstrakt

Bakalářská práce popisuje alternativní paliva a pohony v dopravě a jejich důsledky na životní prostředí převážně v produkci oxidu uhličitého. V první části práce jsou popsána alternativní paliva spalovacích motorů a alternativní pohony v silniční dopravě. Alternativní pohony jsou porovnány s běžnými spalovacími motory. Dále je popsáno zařazení alternativ do nákladní a městské hromadné logistiky. Na konci popisu alternativních pohonů je zmíněna jejich dosavadní situace v České republice.

Druhá část práce je zaměřena na porovnání dnešních spalovacích motorů a pohonu budoucnosti, tedy elektropohonu. Porovnání těchto dvou pohonů je uskutečněno za pomoci analýzy Well to Wheel, která je zaměřena na sledování produkce oxidu uhličitého. Závěrem této části je vyhodnocení produkce oxidu uhličitého ve vybraných zemích Evropy v šesti různých jízdních cyklech, jako je NEDC, WLTC atd. a určení, ve kterých zemích má nyní průběh přeměny z konvenčního pohonu na elektropohon smysl.

Klíčová slova

spalovací motor, biopaliva, elektromotor, hybridní pohon

Summary

The bachelor thesis describes alternative fuels and drives in transport and their consequences on the environment especially in the production of carbon dioxide. In the first part of thesis there are described alternative fuels of combustion engines and description of alternative drives in road transport. Alternative drives are compared to conventional combustion engines. The following describes the inclusion of alternatives to freight and urban mass logistics. In the final phase of the description of alternative drives is mentioned current situation in the Czech Republic.

The second part is focused on the comparison of today's combustion engines and propulsion future - electric drive. The comparison of these two drives is made by the Well to Wheel analysis, which is focused on monitoring carbon dioxide production. The conclusion of this section is the evaluation of carbon dioxide production in selected European countries in six different driving cycles, such as NEDC, WLTC etc. and determine in which countries is meaningful conversion process from conventional to electric drive.

Key words

combustion engine, biofuels, electromotor, hybrid drive

Obsah

1. ÚVOD	1
2. CÍL PRÁCE A METODIKA	3
2.1 Cíl práce	3
2.2 Metodika.....	3
3. POHONY VOZIDEL	4
3.1 Alternativní paliva spalovacích motorů	5
3.1.1 LPG	6
3.1.2 CNG.....	7
3.1.3 Vodík.....	8
3.1.4 Biopaliva	8
3.1.4.1 Biopaliva I. generace	9
3.1.4.2 Biopaliva II. generace.....	9
3.1.4.3 Biopaliva III. generace	10
3.2 Elektropohony	10
3.2.1 Historie	11
3.2.2 Pohon elektromobilu	11
3.2.3 Elektrické vozy v městské nákladní logistice.....	12
3.2.4 Elektromobilita v ČR.....	14
3.2.5 Proč je elektromobil lepší?	16
3.3 Hybridní pohony.....	17
3.3.1 Historie	17
3.3.2 Rozdělení hybridních pohonů	18
3.3.2.1 Podle uspořádání	19
3.3.2.2 Podle funkce	22
3.3.3 Porovnání hybridního a konvenčního pohonu.....	25
3.3.4 Vliv na životní prostředí.....	25
3.3.5 Hybridní pohony v ČR	27
4. WELL TO WHEEL ANALÝZA	30
4.1 Analýza WTW elektropohonu v porovnání s konvenčním pohonem	30
4.1.1 Výroba a distribuce energie (WTT)	31
4.1.2 Využití energie (TTW).....	32
4.1.3 Jízdní cykly (TTW)	35

4.1.4 Výpočet a porovnání produkce skleníkových plynů	36
4.1.5 Shrnutí analýzy WTW	38
4.1.6 Závěr analýzy WTW	43
5. ZÁVĚR.....	45
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
7. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	54
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek.....	54
Seznam grafů.....	54

1. ÚVOD

Bakalářská práce popisuje alternativní pohony používané v současnosti a v blízké budoucnosti. Práce je převážně zaměřena na sledování a porovnávání produkce oxidu uhličitého a na způsoby jeho snížení. Mezi největší představitele produkce škodlivých emisí patří tzv. konvenční pohony. Představiteli těchto pohonů jsou vozidla se spalovacím motorem, které k pohonu hnacího ústrojí automobilu využívají fosilní paliva. Již několik desítek let je hlavním tématem v sekci životního prostředí právě nalezení alternativy, která by byla šetrnější k naší planetě a lidskému zdraví.

Dalším hlavním důvodem, proč se hledají alternativní pohony, je všeobecně známá situace dnešní spotřeby fosilních paliv pro výrobu energie. S tímto narůstajícím tempem spotřeby hrozí v brzké době jejich vyčerpání. Jelikož je dnešní lidstvo na energii naprosto závislé, je nezbytně nutné nalézt bezpečnou alternativu.

Snahu o snížení škodlivých emisí vypouštěných do ovzduší vynakládá i Evropská unie, která se o tom zmiňuje v Bílé knize (Plán jednotného evropského dopravního prostoru). Pomocí nových vyhlášek a legislativ posouvá hranici produkce škodlivých emisí rapidně dolů. Těmito předpisy se musí řídit i automobilky, které si do budoucna nemohou vystačit pouze s automobily na benzín a naftu.

V první části kapitoly Pohony vozidel jsou popsána alternativní paliva a jejich vliv na životní prostředí. Jsou zde představena paliva s odlišnou charakteristikou, jak kapalná (biopaliva), tak i plynná (LPG, CNG a vodík).

V druhé části kapitoly jsou podrobněji probrány elektropohony a hybridní pohony. Nejdříve je popsán elektropohon. Hybridní pohon je pak kombinací právě spalovacího motoru a elektromotoru. V podkapitole Elektropohony a Hybridní pohony se lze dočíst zajímavá fakta o původu těchto pohonů a zjistit, že tyto pohony nejsou výmyslem 21. století. První funkční prototypy těchto pohonů byly vynalezeny už na konci 19. století. Kdyby se na začátku 20. století lidstvo nerozhodlo více podporovat vozidla se spalovacími motory, mohla být v dnešní době celosvětová elektromobilita na dost jiné úrovni.

Elektropohony a stejně tak i hybridní pohony jsou v České republice čím dál více populární. Velká města potřebují ulehčit od produkce škodlivých emisí a tyto pohony to umožňují. Města vyvíjejí snahu snížit škodlivé emise v hromadné dopravě, a tak se průběžně na autobusových linkách testují alternativní modely s hybridním pohonem nebo elektropohonem. Věřím, že s větší podporou státu by se občané měst sami chovali

odpovědněji. Ovšem před větším nárůstem elektromobility je nutné, aby si každý stát tzv. připravil půdu (infrastruktura nabíjecích stanic, výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů apod.).

Závěrem bakalářské práce je analýza Well to Wheel. Ke vzniku této kapitoly vypomohl evropský výzkum, který provedl analýzu pro evropské státy s nejvyšším prodejem elektromobilů. Analýza se skládá ze dvou částí. První část se zabývá produkcí oxidu uhličitého při výrobě energie, než se dostane do vozidla k využití, tzv. Well to Tank (WTT). Druhá část analýzy se pak zabývá produkcí oxidu uhličitého do ovzduší po načerpání energie do vozidla, tzv. Tank to Wheel (TTW). Po provedení všech výpočtů a následné tvorbě analýzy, se pro některé státy Evropy okamžitá elektrifikace dopravy prozatím nejeví jako dlouhodobé řešení pro snížení produkce škodlivých emisí CO₂.

Ačkoliv prosazování elektromobilů snižuje přímou produkci oxidu uhličitého do ovzduší, je potřeba před jejich masivnějším rozšířením uskutečnit patřičná opatření. Tato opatření pak zajistí, že nástupem elektromobility se produkce skleníkových plynů opravdu sníží.

2. CÍL PRÁCE A METODIKA

2.1 Cíl práce

Obečným cílem práce je popsat alternativní paliva a pohony spalovacích motorů a jejich vliv na životní prostředí, dále porovnat produkci oxidu uhličitého z elektromobilů a z automobilů s konvenčními pohony pro vybrané státy Evropy.

Cíle práce bude dosaženo prostřednictvím dílčích cílů:

- obecný popis alternativních paliv a pohonů spalovacích motorů
- popis vlivu alternativních paliv a pohonů na životní prostředí
- porovnání produkce oxidu uhličitého z vozidel se spalovacím motorem a z vozidel s elektromotorem pro vybrané státy Evropy.

2.2 Metodika

V oblasti metodiky jsou použity metody, kterými se splní dílčí cíle bakalářské práce. S využitím základní literatury v oblasti alternativních paliv a pohonů vozidel jsou popsány alternativy spalovacích motorů. Porovnáním zjištěných hodnot produkce oxidu uhličitého uvedených v literatuře a ve vědeckých výzkumech se stanoví vliv těchto alternativ na životní prostředí. Shrnutím získaných dat se za pomoci analýzy Well to Wheel porovnájí automobily se spalovacím motorem a automobily s elektromotorem z hlediska produkce oxidu uhličitého ve vybraných státech Evropy.

3. POHONY VOZIDEL

Pohony vozidel se nejčastěji rozdělují na pohony konvenční a alternativní [1, 2].

Mezi konvenční pohony se zahrnují spalovací motory na ropné produkty, mezi alternativní pak pohony více šetrné k životnímu prostředí [1, 2].

Konvenční pohony jsou na světě více než 100 let. Nejrozšířenější a v dnešní době nejpoužívanější jsou zážehové a vznětové motory. Tyto typy motorů dosahují 30procentní až 50procentní účinnosti. Motory vznětové se uvádí s o něco lepšími hodnotami než motory zážehové [1].

Spalovací motory používají pro svůj běh paliva, která škodí životnímu prostředí. Problém vzniká při spalování paliva. Tato paliva jsou ropného původu, přesněji benzín a nafta. Motorová nafta se v dnešní době stala nejpoužívanějším palivem, převážně také díky nákladní silniční dopravě, kde je většina vozů poháněna právě vznětovými motory. Nafta oproti benzínu obsahuje více uhlíku. U vznětových motorů a zážehových motorů s přímým vstřikováním nastává problém se vznikem pevných částic, a tudíž je nutné u těchto motorů, podle evropských emisních norem, mít filtr pevných částic [2–4].

Celkově spalováním těchto paliv ve spalovacím motoru vzniká mnoho škodlivých látek, které automobil vypouští do ovzduší a tím znečišťuje životní prostředí. Proto vznikl vědní obor, který se zabývá alternativními pohony, které budou šetrnější k životnímu prostředí [3, 4].

Alternativní pohony jsou ve světě známé již mnoho let, ale donedávna se jim nepřikládala velká váha. Až teprve před několika lety si lidstvo začalo uvědomovat, že s přírodou není něco v pořádku a dospělo se k rozhodnutí, že musí být snížena produkce škodlivých emisí [3, 4].

Politici v EU postupně snižují limity produkce emisí a automobilky musely vynaložit velké úsilí k vyhovění těmto nařízením.

Došlo k prosazení alternativních paliv a pohonů, jako jsou:

- LPG
- CNG
- Vodík
- Biopaliva
- Elektropohony
- Hybridní pohony [5]

Ovšem ne všechny možnosti se jeví jako správná a dlouhodobá alternativa. Cílem EU je snížení produkce škodlivých emisí na co nejnižší hodnoty, nejlépe téměř k nule, což nelze u všech těchto variant docílit [5].

Nejrozšířenějším palivem je v dnešní době LPG. Jedná se však o produkt z ropy, jehož využití v automobilovém průmyslu přechází do ústraní [5].

Dalším velkým favoritem je CNG, kde jsou hodnoty slibnější. Oproti jiným fosilním palivům má CNG nejnižší produkci CO₂. Pokud ale Evropa chce splnit plány EU, jsou nejslibnějšími alternativami hybridní pohon a elektropohon. Hybridní pohon má oproti konvenčním pohonům mnohem nižší produkci škodlivých emisí a elektropohony mají přímou produkci emisí nulovou. S touto alternativou by lidstvo časem velice odlehčilo životnímu prostředí a zbavilo se závislosti na dovozu ropy, protože elektrickou energii je možné vyrobit i na území České republiky [5].

3.1 Alternativní paliva spalovacích motorů

Pod pojmem alternativní paliva se rozumí produkty, které buďto mohou nahradit stávající fosilní paliva (benzín, nafta) nebo přicházejí s jiným způsobem řešení či odlišnou technologií pohonu vozidel [5, 6].

Jedním z celosvětově největších znečišťovatelů životního prostředí je automobilový průmysl. Proto probíhají již několik let výzkumy a hledají se alternativy benzínu a nafty, které by byly k přírodě šetrnější. Postupem času vzniklo několik způsobů, jak lze benzín a naftu nahradit. Některá ze vzniklých alternativ vykazala potenciál v budoucím využití, některá se neosvědčila. Dále jsou zmíněné pouze ty alternativy, které mají budoucí využití a jsou již zavedeny do provozu [5, 6].

Je zde několik důvodů, proč uplatňovat alternativní paliva. Jedním z těchto důvodů je omezení množství skleníkových plynů uvolňovaných do ovzduší. Dalším důvodem je, že ropa je neobnovitelný zdroj a celosvětové zásoby ropy se odhadují s momentálně navyšující se spotřebou na několik desetiletí. Díky těmto aspektům se cena ropných paliv postupem času zvyšuje a hrozí vyčerpání zásob ropy. Mnoho států vyvíjí snahu o odpoutání své závislosti na dovozu ropných produktů. Alternativní paliva a pohony by mohly vyřešit ne jeden problém. V současné době se hovoří převážně o alternativních palivech, kterými jsou zemní plyn nebo vodík [5, 6].

3.1.1 LPG

LPG neboli Liquefied Petroleum Gas vzniká smísením zkapalněných plynů. Primárními složkami této směsi jsou propan a butan. Palivo LPG nemá mezinárodní standardy. Různé státy si toto palivo upravují podle svých norem a zvyklostí. Proto se může stát, že majitel do svého vozu natankuje v různých státech rozdílné LPG palivo. Prakticky všechny státy se téměř shodují v základním rozdělení, a to na směs letní LPG a zimní LPG. Tyto směsi se od sebe liší podílem obou hlavních složek, propanu a butanu [5, 7].

LPG má oproti benzínu lepší detonační vlastnosti, ale vlastnosti objemové výhřevnosti jsou nižší. Díky těmto vlastnostem může vzniknout nárůst spotřeby o 20–30 %, pokud se nezmění kompresní poměr [8].

Výhody LPG:

- Kvůli své ceně, cca poloviční, jsou provozní náklady LPG výhodnější než u benzínu
- LPG produkuje značně menší množství emisí
- Svým chemickým složením zaručí, že se nevytvářejí karbonové usazeniny v motoru, a tím se zvyšuje jeho životnost
- Zůstává zde i po přestavbě motoru přepínání režimu LPG a klasický benzín. Tlačítko na přepínání režimu je umístěno na palubní desce, obsluha je snadná
- LPG pohon má tišší chod než klasický motor
- V dnešní době je na území ČR velké množství čerpacích stanic, které nabízejí LPG

Nevýhody LPG:

- Přestavba motoru je finančně náročná a musí být schválena technikem
- Výkon motoru může poklesnout cca o 10–15 %
- Každý rok nebo po ujetí 10 000 km s vozidlem musí na revizi plynového systému
- Nelze vjet a parkovat v některých podzemních garážích, značka zákazu vjezdu LPG na obr. 1
- Životnost nádrže je pouze 10 let a umístění nádrže obvykle zmenší prostoru v kufru [5, 7, 8].

Obrázek 1 Zákaz vjezdu s LPG pohonem B50-LPG



Zdroj: [autor práce]

3.1.2 CNG

Zemní plyn u zážehového motoru představuje podstatné snížení škodlivin ve výfukových plynech. Velké uplatnění našel motor na zemní plyn v oblasti městských autobusů, vozidel taxislužby a policie. Při porovnání LPG a zemního plynu je velkou nevýhodou u zemního plynu velký objem a velká hmotnost palivových zásobníků [2, 7].

Výhody zemního plynu jsou především v jeho složení. Zemní plyn je tvořen z cca 98 procent metanem (CH_4) s poměrem 1:4 uhlík:vodík. Automobily uzpůsobené na zemní plyn produkují méně škodlivin nežli automobily s pohonem klasickým. Tyto škodlivé látky se dnes běžně kontrolují, patří mezi ně oxidy dusíku, oxid uhelnatý, pevné částice a karcinogenní látky (polyaromatické uhlovodíky, aldehydy, aromáty včetně benzenu). Zemní plyn na rozdíl od benzínu vykazuje snížení emisí CO_2 o 20–25 % [5, 9].

Vozidla s pohonem na zemní plyn při běžném používání dokázaly, že oproti provozu automobilů se vznětovými motory vykazují z hlediska životního prostředí tyto výhody:

- Velmi značné snížení jedné z nejhorsších složek škodlivých emisí – pevných částic
- U plynových pohonů je kouřivost oproti vznětovým motorům nižší
- Oxid siřičitý se nevyskytuje ve spalínách u plynových pohonů
- U plynových pohonů je výhodou tišší chod motoru, oproti klasickým vznětovým motorům je hluk nižší až o 50-70 % [5].

3.1.3 Vodík

Zpočátku se vodík jevil jako jediná dlouhodobá alternativa uhlovodíkových paliv. Časem se začaly projevovat problémy s tímto alternativním pohonem, a to ve výrobě vodíku a jejím skladováním ve vozidle. Jelikož se vodík nenachází samostatně v ovzduší či na zemi, musí se vyrábět. K výrobě vodíku jsou ve většině případů použita fosilní paliva, tudíž hlavní idea využívání obnovitelných zdrojů energie v tomto případě není zcela splněna [5].

Při spalování směsi nafty a vodíku s nízkým obsahem uhlíku se docílí vysoké tepelné účinnosti a produkce uhlíkových emisí je minimální [10].

Na testovacím motoru se s tímto palivem udělaly testy při různých zátěžích. Když se motor testoval při nízké zátěži, tato směs paliva vykazovala při spálení vysokou tepelnou energii, až 98 %, bez výrazných známek na provozu motoru. Ve srovnání se spalováním nafty se emise CO₂ a NO_x snížily o více než 90 % a došlo i ke snížení produkce sazí o 85 % [10].

Při střední zátěži tohoto motoru s danou směsí paliva se prokázala vyšší produkce NO_x [10].

V oblasti vodíkových paliv jde o velkou výzvu. Tato varianta dvojího paliva vykazuje velmi slibnou účinnost [10].

3.1.4 Biopaliva

V oboru biopaliv je jednou z hlavních otázek, v jakém měřítku dokážou biopaliva snižovat produkci oxidu uhličitého. Během pěstování rostlin určených pro výrobu biopaliv, vzniká díky fotosyntéze rostlin tzv. koloběh produkce CO₂. Během fotosyntézy rostliny pohlcují CO₂ z ovzduší. Naopak během spalování biopaliva v motoru se CO₂ uvolňuje do ovzduší. V tomto případě by produkce oxidu uhličitého u biopaliv byla nulová. Ovšem vezme-li se v úvahu pěstování a úprava surovin, které je energeticky velice náročné a zcela nepochybně spojené s produkcí CO₂, je produkce CO₂ z tohoto důvodu zvýšena. Biopaliva, která jsou známá pod pojmem I. generace biopaliv, dosahují až k 50 procentům snížení produkce CO₂, u biopaliv II. generace je pokles až o 90 % [5].

S rychlým rozvojem techniky a nárůstem lidské populace vzniká větší požadavek na přísun energie, která by měla být do roku 2030 vyšší o nejméně 50 %. V dnešní době je úbytek ropy 105krát rychlejší než se stačí v přírodě obnovit. Je proto důležité, aby se spotřeba ropy omezila a využila se k výrobě energie jiná alternativa. Hlavními důvody

omezení spotřeby ropy jsou brzké vyčerpání zásob a vznik škodlivých emisí, které mají za následek globální oteplování a možné zdravotní problémy. Z těchto důvodů se začaly více rozvíjet výzkumy a vědní obory pro nalezení tzv. čistého paliva. Využitím biopaliva z živých organismů se odlehčí životnímu prostředí, protože klesne hodnota produkce emisí CO₂, uhlovodíků a SO_x s následným snížením skleníkových efektů [11].

V dnešním vývoji biopaliv jsou i nevhodná odvětví, která využívají suroviny z potravinářství a suroviny vhodné pro zemědělství. Přejít na biopaliva třetí generace je jednou z možností, jak tento problém překonat. Místo surovin využitelných v potravinářství využívá biopalivo třetí generace k přeměně mikrořasy, které se zdají být slibným zdrojem pro výrobu obnovitelných zdrojů energie [11, 12].

3.1.4.1 Biopaliva I. generace

Vstupní suroviny pro výrobu biopaliv I. generace jsou plodiny určené hlavně k výrobě potravin. Tento postup výroby biopaliv má proto za následek zvyšování cen potravin.

Mezi biopaliva I. generace patří:

- MEŘO – metylester řepkového oleje (může být použit i odpadní živočišný tuk),
- bioetanol – vyráběný ze surovin obsahujících cukr nebo škrob,
- bioETBE (bioethyltercbutyléter) - vyráběn adiční reakcí bioetanolu s isobutanem,
- rostlinný olej – v ČR se jedná hlavně o řepkový olej [5].

3.1.4.2 Biopaliva II. generace

Celkový rozvoj lidstva s sebou nese i vyšší nároky na energii. Důležité je najít energetické zdroje, které budou efektivní i udržitelné. Biopaliva první generace se ovšem jeví jako neudržitelná kvůli výrobě ze surovin pro potravinářství. Výroba biopaliva druhé generace je z „nepotravinářské“ lignocelulózové biomasy (dřevo, seno, sláma, rostlinné odpady atd.). Výroba biopaliva z těchto surovin je poměrně náročná technologicky i finančně. Tudíž přeměna lignocelulózy na biopaliva má před sebou ještě dlouhou cestu, než se stane komerční realitou. Je zapotřebí podpory vlády k umožnění dalších výzkumů biopaliv, aby byla tato alternativa uskutečnitelná. Biopaliva různých generací by v budoucnu mohla velmi přispět k vyhovění poptávce po energiích [5, 13, 14].

Mezi biopaliva II. generace patří:

- bioetanol – vyráběný z lignocelulózové biomasy,
- syntetická motorová nafta – produkt Fisher-Tropschovy syntézy,

- biometanol – produkt katalytické konverze syntézního plynu,
- biometyléter – produkt katalytické konverze syntézního plynu,
- biovodík – produkt katalytické konverze syntézního plynu [5, 13, 14].

3.1.4.3 Biopaliva III. generace

U třetí generace se využívá ropné frakce v rostlinných surovinách nebo biomase, ty pak lze využít k výrobě pokročilých biopaliv. Kromě velké ropné frakce sdílí také schopnost přeměnit téměř veškerou energii vstupní suroviny na různé druhy užitečných produktů (benzín, nafta, letecké palivo apod.). Při výzkumu alternativní náhrady za fosilní paliva se objevila vhodná surovina z řas, která má nejen obnovitelné a udržitelné vlastnosti, ale i z pohledu globální ekonomické věrohodnosti se projevuje jako skvělý kandidát na utišení poptávky po dopravních palivech. K výrobě biopaliva je možno použít téměř všechny druhy mikrořas. Některé řasy mají lepší předpoklad pro potřebnou výrobu biopaliva. Hlavními aspekty jsou rychlý růst, vysoký obsah oleje a snadná sklizeň. Tyto hlavní znaky mají např. řasa *Microcystis aeruginosa* a řasa *Scenedesmus obliquus* [11, 12].

Tato surovina z řas se snadno vypěstuje a během celého procesu pěstování má minimální nároky. K vypěstování dochází v prostředí odpadní vody, která je k lidské potřebě nevhodná. Dalším pozitivem je, že vstřebává CO₂ z atmosféry [11].

Využití řas má velký potenciál v oblasti alternativních paliv. Pro celosvětovou ekonomiku a komerční využití se jeví velmi slibně, protože se řasy na této planetě vyskytují ve velkém množství oproti suchozemským rostlinám. Na rozdíl od biopaliv vyrobených ze zemědělských plodin nemají novodobá biopaliva z řas negativní vliv na životní prostředí a zásobování potravinami [11].

3.2 Elektropohony

Elektromobilitu politici rádi uvádějí jako přínos zdravého životního stylu, protože nahradí vozidla se spalovacími motory a jejich škodlivými emisemi. Reálný výhled do budoucna je ovšem jiný. Místo nahrazení spalovacích motorů se elektropohony jeví jako třetí varianta pohonu společně s vozidly na benzín a naftu. Varianta elektropohonu nebude pro každého, ale spíše jednou z možností výběru a rozhodnutí bude záviset na mnoha faktorech, např. způsobu života, místě bydliště, finanční situaci, na podmínkách daných státem atd. [5, 15].

Elektromobily mají mnoho výhod, jimiž jsou snadná obsluha, nízká hlučnost a příjemný bezprostřední zátah již od nulových otáček. Mají i své nevýhody. Menší nevýhody se týkají výše spotřeby podle stylu jízdy nebo omezené dynamiky ve vysokých rychlostech. V současnosti se ale u elektromobilů točí problematika nejčastěji okolo akumulátorů. Ani ne tak kolem jejich kapacity a dojezdu, jako spíše kolem měrné kapacity vztážené na jednotku objemu, hmotnosti a ceny [16, 17].

Je jasné, že téma elektromobility se v následujících letech bude značně rozvíjet. Do této oblasti vstoupilo již mnoho velkých automobilek. Je zcela jasné, že automobilky nebudou chtít za světem otálet, nicméně volí různě nákladné přístupy. Zatímco Audi a Mercedes-Benz volí důkladně propracované vozy konvekční konstrukce, BMW, Jaguar, koncern Volkswagen a podle všeho i Porsche se rozhodly pro radikálnější řešení, kdy vyvinuly specifické platformy pro své modely elektromobilů [15].

3.2.1 Historie

Elektrická vozidla nejsou nová, naopak jsou dokonce starší než vozidla poháněná spalovacími motory s naftou, která byla představena na konci 19. století. První elektrická vozidla se vyvíjela v polovině 18. století, kdy kapalná paliva byla příliš vzácná [18].

Elektrická vozidla se liší od vozidel na fosilní i na obnovitelná kapalná paliva, protože získávaná elektrická energie může pocházet z různých zdrojů, včetně solární a jaderné [18].

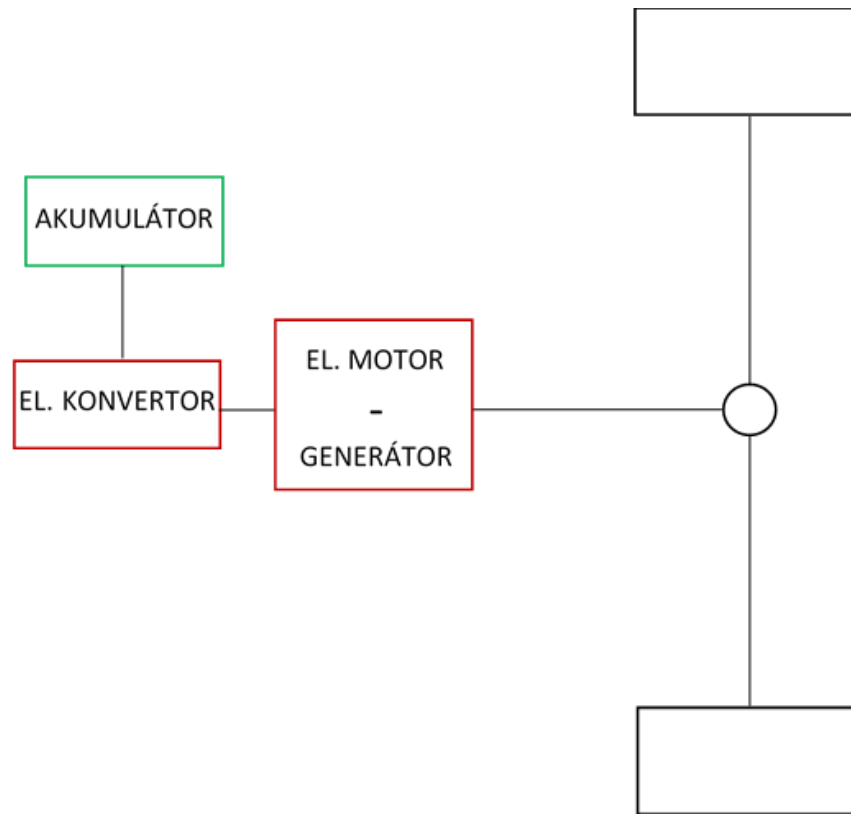
Elektrický pohon se zdá být jako novinka na trhu, ale není tomu úplně tak. Jako zdroj energie je v dopravě užíván už desítky let v železničních lokomotivách [18].

3.2.2 Pohon elektromobilu

Hlavní jednotkou pohonu je motor, který převádí elektrický výkon na mechanický. Na obr. 2 je pro ilustraci schéma elektropohonu [19].

Mechanický výkon od motoru je přenášěn na kola přes mechanickou soustavu (převodovka s pevným převodovým poměrem, diferenciál, hřídel). Pro pohon vozidla je potřebná energie, která je uchovávána v akumulátoru. Ovládání motoru zajišťuje měnič, který přetváří napětí na motoru podle svého řídicího systému. Napětí pohonu elektromobilu závisí na napětí baterie, které se v současné době pohybuje v rozmezí 150 V až 450 V. Často se lze setkat s označením jako je např. 400 V systém [19].

Obrázek 2 Pohon elektromobilu



Zdroj: [autor práce]

3.2.3 Elektrické vozy v městské nákladní logistice

Výraznou energetickou úsporou je využití elektrických vozů v provozu s častými zastávkami. Může se tak zamezit problémům, které nákladní doprava obnáší, např. emise a hluk. Velkou efektivitu má využití elektrických vozidel v nákladní dopravě při přepravě zboží v poslední etapě přepravy v centru měst. Druhy těchto vozidel se uvádí v tab. 1. a příklady těchto vozidel lze vidět na obr. 3 [20].

Tabulka 1 Označení a popis pohonů vozidel

Označení	Popis
EV nebo BEV	Čistě elektricky poháněná nebo elektrická vozidla s akumulátory, jsou poháněna jedním nebo více elektromotory. Elektrickou energii vozidlo získává připojením do elektrické sítě a tu poté ukládá do baterií. Vozidla při jízdě nepoužívají palivo na bázi ropy, a proto také neprodukují emise z výfuku.
PHEVS	Plug-in hybridní elektrická vozidla používají baterie k napájení elektromotoru. Tyto baterie se nabíjejí z elektrické sítě. Vozidlo má i motor ICE na ropné či alternativní palivo nebo jiný pohonný zdroj.
HEVS	Hybridní vozidla s kombinací elektrického pohonu a ICE. Spoléhají na ropné nebo alternativní palivo pro napájení a nejsou připojeny k nabíjení. HEV baterie jsou nabíjeny ICE nebo jiným zdrojem pohonu a během brždění (regenerační brždění).
ICE	Motory s vnitřním spalováním vytvářejí mechanickou energii za pomoci kapalného paliva (benzín, nafta nebo biopaliva) nebo plynného paliva (LPG, CNG). Je to dominantní zdroj energie používaný u dnešních automobilů.
EVSE	Elektrické vozidlo se zařízením, které dodává elektrickou energii pro nabíjení baterií EV nebo PHEV. Komunikuje s EV/PHEV, aby zjistil odpovídající a bezpečný dodávaný elektrický proud.

Zdroj: [20]

Elektrické vozy, ať už čistě elektrické, plug-in nebo hybridní (viz. tab. 1), jsou na trhu doprovázeny mnoha překážkami. Tyto překážky se týkají:

- Dostatečný rozsah ujetých kilometrů (aspoň 100-150 km)
- Příliš dlouhá doba nabíjení (cca 6-8 hodin do plného nabití)
- Nedostatečná infrastruktura dobíjecích stanic
- Vysoké náklady na pořízení a opravy (v porovnání s konvenčními vozidly)
- Nedostačující poptávka
- Nedostatečná informovanost [20]

Obrázek 3 Příklady nákladních elektrických vozidel



Zdroj: [20]

3.2.4 Elektromobilita v ČR

V České republice se pozvolna zvyšuje poptávka a prodej vozidel na elektrický pohon. Prodej vozidel na čistě elektrický pohon se z roku 2017 na rok 2018 zvýšil o pětinu, a to na počet 107 vozů [21].

V EU jsou nejvyšší špičkou v oblasti elektromobility podle registrací vozidel na počátku roku 2018 Německo, Norsko a Velké Británie, která má v úmyslu do roku 2040 zakázat prodej aut s benzínovým nebo naftovým motorem [22].

Největšími překážkami k rozšíření elektromobility na území České republiky jsou především vysoké pořizovací náklady. Elektrická vozidla jsou až o stovky tisíc dražší ve srovnání s modely se spalovacím motorem. Další hlavní překážkou je krátký dojezd a s tím související zatím slabá infrastruktura dobíjecích stanic na českém území [21, 23].

Česká vláda má v plánu několik opatření, kterými chce elektromobilitu rychleji přiblížit občanům. Prozatím jsou některá z těchto opatření uvedena do praxe pouze pro státní instituce. Velkým bojovníkem za silnější podporu alternativní dopravy s nízkými nebo nulovými emisemi je především Ministerstvo životního prostředí [23].

V následujících letech se plánují speciální registrační značky pro elektromobily, které jim umožní vjezd do centra velkého města, také parkování v zóně, využívání jízdních pruhů pro MHD nebo uvolnění od správního a dálničního poplatku. Nedílnou

součástí těchto plánů do budoucna je také rozšíření sítě dobíjecích stanic, bez kterých by rozvoj a udržení elektromobility nebyl na území České republiky možný [21–23].

K výstavbě dobíjecích stanic se převážně hlásí distributoři elektrické energie, kteří k tomu mají samozřejmě nejbližší. Na obr. 4 je zobrazena mapa s nynějšími lokacemi těchto dobíjecích stanic. Do nynějška byla výstavba dobíjecích stanic pomalá, ale nyní lze očekávat vyšší tempo i díky tomu, že Škoda a další výrobci automobilů uvedou v blízké době mnoho zajímavých modelů vozidel s elektrickým pohonem. Základním kamenem v oblasti elektromobility je rozhodně vysoká a spolehlivá výstavba rychlonabíjecích stanic [24, 25].

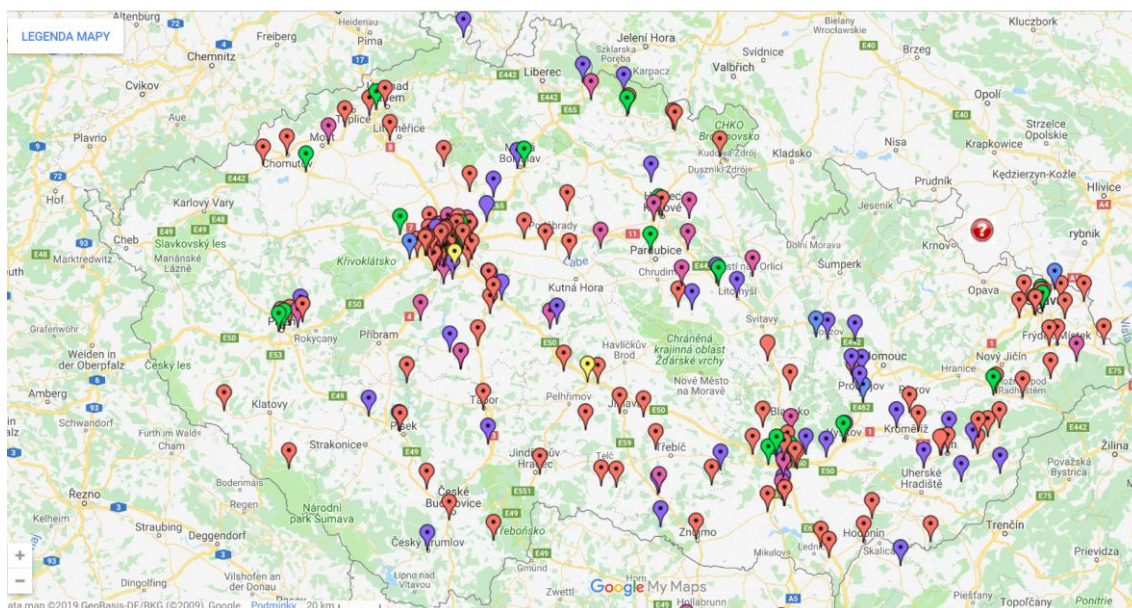
Rychlonabíjecí stanice v České republice nestaví jenom ČEZ nebo E.ON, ale také i maloobchodní řetězec Lidl. To posune celkový vývoj elektromobility na našem území. S pomocí dalších firem, které se podílejí na celkovém rozvoji elektromobility na území České republiky (např. Siemens, ABB, PRE atd.), je zcela evidentní, že zde bude do roku 2025 velký počet vlastníků vozů na elektrický pohon [24, 25].

V České republice se síť s rychlodobíjecími stanicemi začíná rychle rozrůstat. Firma ABB přišla na trh s novou rychlonabíjecí stanicí, která má příkon 350 kW. Taková nabíječka nabije vůz na 200 km jízdy za 8 minut, což je nejrychlejší možnost nabití na světě. S výstavbou těchto nabíjecích stanic se komfort o něco zvýší a zcela jistě se zvýší i počet prodaných vozů [24].

Česko se v budoucnu může těšit až na 800 rychlodobíjecích stanic. Výstavba této infrastruktury bude nějaký čas trvat, odvíjí se to hlavně od vyřízení stavebních povolení pro jednotlivé lokality a plánování páteřní sítě. Ovšem 800 nabíjecích stanic je na našem území v blízké budoucnosti zcela reálných [24, 26–28].

Nejlepším řešením pro centra velkých měst je zřízení elektrobusů. Osobní automobil s elektropohonem řeší stránku pouze ekologickou, nikoliv však problém s velkým počtem automobilů ve městech. Proto by mělo být velkou prioritou pro stát zřízení právě elektrobusů a celková podpora a vybízení občanů k používání hromadné dopravy v centrech měst [24–28].

Obrázek 4 Lokace dobíjecích stanic na území ČR k 10.02.2019



[zdroj:<https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?msa=0&mid=1KYfZCqxw3Yei4TUz7gKFKowAlsc&ll=49.811469994012185%2C15.740404908152527&z=8>]

3.2.5 Proč je elektromobil lepší?

Elektromobil neprodukuje žádné přímé škodlivé emise, „nekouří“ v garáži či ve městě do ovzduší. Nejedná se jen o NO_x , rakovinotvorné pevné částice nebo CO_2 [29].

Ovšem je tu i argument, že při výrobě elektrické energie vznikají tzv. nepřímé emise, ale je nutné podotknout, že ty vznikají i při výrobě a dopravě benzínu, nafty i plynu [29].

Se „stárnutím“ elektromobilu se díky stálému vývoji vedlejší emisní produkce z elektráren snižují. Navíc demontáž filtrů u elektrárny je absolutně nepřipustná na rozdíl od běžné praxe s demontáží filtru pevných částic u starších vozidel se spalovacím motorem. K uhelným elektrárnám se postupně přidává výroba elektrické energie za pomoci solárních panelů, větrné energie či vodních elektráren. Nyní je možnost vyrobit i tzv. „zelenou“ elektrickou energii ve své domácnosti, a tím napomáhat ke snížení vedlejší produkce emisí. Pokud by výroba elektrické energie závisela pouze na uhelných elektrárnách, neměla by tato cesta ke snížení produkce škodlivých emisí do ovzduší význam [23, 29].

Jedním z velkých faktorů, které ovlivní zákazníka, jsou také peníze. Elektromobil má možnost čerpat energii u dobíjecích stanic za 0,40 Kč/km nebo zdarma např. u dobíjecího stojanu na parkovišti obchodu Lidl. Při koupi nového automobilu se spalovacím motorem se nevědomky majitel zavazuje ke koupi paliva v průměrné hodnotě 960 000 Kč a za veškerý

servis motoru, čerpadel, převodovky, výfuku, výměny oleje a další nezbytné úkony k udržení stroje v provozu se v průměru zaplatí 360 000 Kč [29].

Při průzkumech ovladatelnosti a pohodlí během řízení elektromobilu ve srovnání s běžným vozidlem se spalovacím pohonem jasně vyhrál elektromobil. Při řízení elektromobilu se uživatel nemusí soustředit na řazení. I když jsou automatické převodovky, stále uživatel přemítá, zda automatická převodovka zařadí ve správný okamžik. Odpadá i problém se špatnými zimními starty nebo problém s rozjezdem do kopce [24, 29].

Ke všem těmto výhodám se navíc přidává i stát, který plánuje speciální registrační značky pro vozidla s elektropohonem, které řidiče zbaví poplatků za parkování na zónách v centru města nebo poplatků za užívání zpoplatněných úseků dálnic [24, 29].

3.3 Hybridní pohony

Jedna z nejvýznamnějších možností, jak snížit CO₂ u vozidel, jsou vozidla s hybridním pohonem. Hybridním pohonem se rozumí to, že jedno vozidlo pohání více pohonů. Z pravidla to bývá kombinace spalovacího motoru a elektromotoru. V nákladní a městské hromadné dopravě pak hybridní pohon tvoří pohony uvedené v předchozích podkapitolách, tedy spalovací motor na alternativní palivo a elektromotor. Podle rozdělení pak vykonávají různou funkci s různými účinnostmi. Hybridní vozidla mají oproti vozidlům s čistě spalovacími pohony výhody při užívání v městském prostředí. Vozidlo ve městě jezdí v průměru spíše s nižší rychlostí a častěji vyvolává zrychlení, což u vozidel se spalovacím motorem způsobuje, že běží v nižších výkonových bodech a tím vzroste spotřeba a produkce CO₂ [30–32].

3.3.1 Historie

Psal se rok 1898 a Ferdinand Porsche ve společnosti Lohner vyrábějící povozy a kočáry přichází s nevídaným pohonem kočáru. Majitel společnosti Jakob Lohner se rozhodl, že chce také vyrábět kočáry bez koňského pohonu. Najal si proto nadaného mladého konstruktéra Ferdinanda Porsche. Ten přišel s neobvyklým nápadem, že zážehový agregát bude pohánět dynamo, které bude nabíjet několik akumulátorů a energie z těchto akumulátorů přejde přímo do elektromotorů umístěných v předních kolech (v dnešní době tzv. sériový hybrid). Tento vůz ke své jízdě nevyžadoval převodovku a podle studií dosahoval takto navržený pohon F. Porsche pozoruhodné účinnosti 83 % [18, 33].

O několik let později se na trhu objevil tzv. Dual Power od společnosti Woods Motor Vehicle, obdoba dnešního paralelního hybridu. Princip byl takový, že při malé zátěži a rychlosti vůz využíval elektromotory, jakmile byla potřeba vyvinout vyšší rychlost, spustil se zážehový agregát [33, 34].

Je zřejmé, že na počátku 20. let převažovaly převážně elektrické pohony vozidel a hybridy. Nakonec ale dalšímu rozvoji zabránila levná nafta, vývoj spalovacích motorů a také Henry Ford se svým vozem Model T, který byl finančně dostupný i pro nižší třídy [34].

Lidé si ale nakonec všimli, především v Kalifornii, že vozidla se spalovacím pohonem narušují čistotu ovzduší, a tak se ve druhé polovině 60. let začala vydávat nařízení ke snížení emisí. S těmito legislativou se automobilky opět vrací k vývoji elektropohonů a k pohonům hybridním. Postupem času se tato nařízení o produkci škodlivých emisí a čistotě ovzduší začala zpřísnovat, a proto dnešní automobilky dávají čím dál větší důraz na rozvoj těchto pohonů [34].

V dnešní době se lze zcela běžně setkat v provozu s hybridními vozy, jako je např. Toyota Prius, Lexus CT nebo Porsche Panamera [35].

3.3.2 Rozdělení hybridních pohonů

Hybridním pohonem vozidla se rozumí, že vozidlo pohání více než jeden poháněcí zdroj. Je zde i více zásobníků na různé energie. Nejběžnějším řešením je kombinace dvou rozdílných pohonů, které se navzájem doplňují svými přednostmi v odlišných provozních stavech. Nejvhodnější kombinací je spalovací motor a elektromotor, který umožňuje provoz ve městě bez emisí [16].

Hlavní rozdělení je:

- 1) Podle uspořádání
 - a) Sériové
 - b) Paralelní
 - c) Kombinované
- 2) Podle funkce
 - a) Micro hybrid
 - b) Mild hybrid
 - c) Full hybrid
 - d) Plug-in hybrid [5]

3.3.2.1 Podle uspořádání

U vozidel s hybridním pohonem jsou dvě základní rozdělení podle uspořádání. Rozdělují se na uspořádání sériové, paralelní a následně jejich kombinace [16].

a) Sériové

Princip tohoto uspořádání je v tom, že spalovací motor je čistě pohonem pro generátor střídavého proudu. Tento generátor střídavého proudu předává svou vytvořenou energii přes invertor do akumulátorů. Spalovací motor u tohoto řešení slouží převážně k tvorbě elektrické energie, která se ukládá do akumulátorů. Popis konstrukce je zobrazen na obr. 5. S tímto řešením lze výrazně prodloužit dojezd vozidla. Z nabitých akumulátorů si odebírá elektrickou energii na pohon vozidla elektromotor, ten pohání kola vozidla pomocí redukčního převodu [16, 36].

Hybridní pohon podle sériového uspořádání se u osobních automobilů téměř nepoužívá. Tato varianta je ale velmi používaná v železničním odvětví. Několik desítek let je používán u lokomotiv jako diesel-elektrický pohon [36, 37].

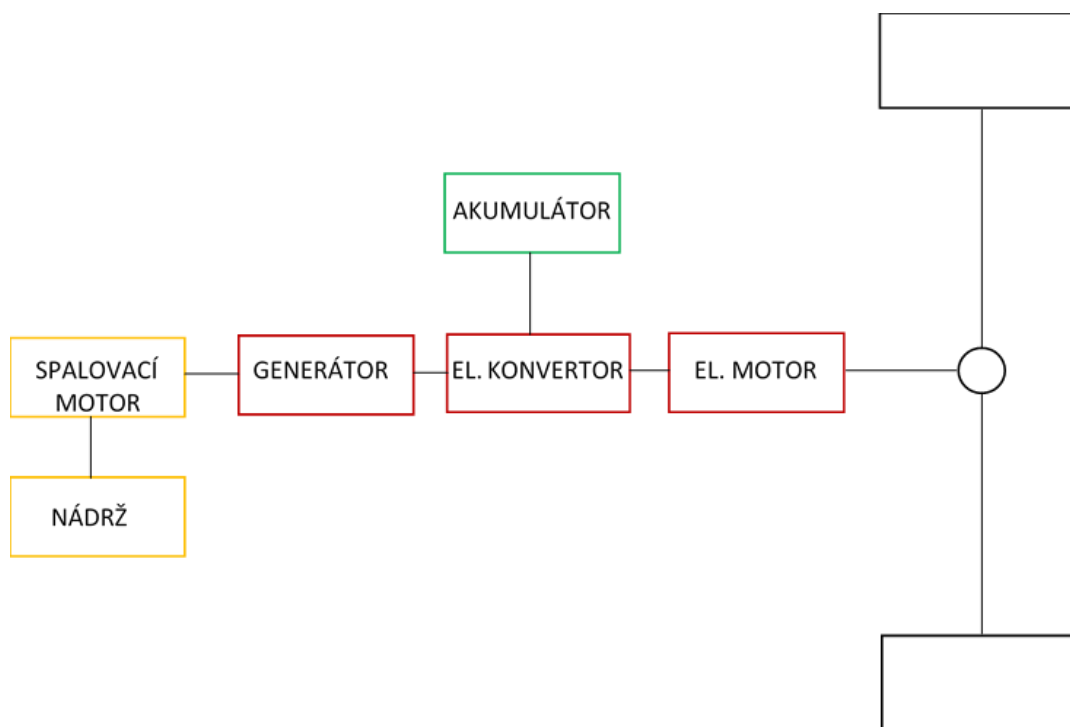
Výhody:

- Není zde mechanické spojení mezi spalovacím motorem a koly vozidla
- Vůz je bez klasické převodovky, tedy jednodušší konstrukce
- Spalovací motor vykazuje vysokou efektivitu
- Vysoká účinnost hnacího ústrojí při nízkých rychlostech (ve městě)

Nevýhody:

- Vysoká cena vozidla
- Vysoká hmotnost vozidla
- Nízká účinnost při vysokých rychlostech (na dálnici) [38].

Obrázek 5 Schéma sériového hybridního pohonu



Zdroj: [autor práce]

b) Paralelní

Paralelní uspořádání je nejběžnějším uspořádáním hybridního pohonu. Spalovací motor a elektromotor je propojen klasickou převodovkou. Jsou zapojeny paralelně, a tudíž může spalovací motor pohánět automobil. Na obr. 6 lze vidět popis konstrukce. Ovšem elektromotor může pohánět kola vozidla pouze přes redukční převodovku. Elektromotor a spalovací motor u tohoto uspořádání tvoří jeden celek, naopak od sériového uspořádání [36, 37].

Automobil s paralelním řazením hybridního pohonu má možnost čtyř jízdních režimů. Může být poháněn čistě elektromotorem, dále pak kombinací spalovacího motoru s elektromotorem. Dalšími režimy pak jsou nabíjení akumulátorů a rekuperace kinematické energie [38, 39].

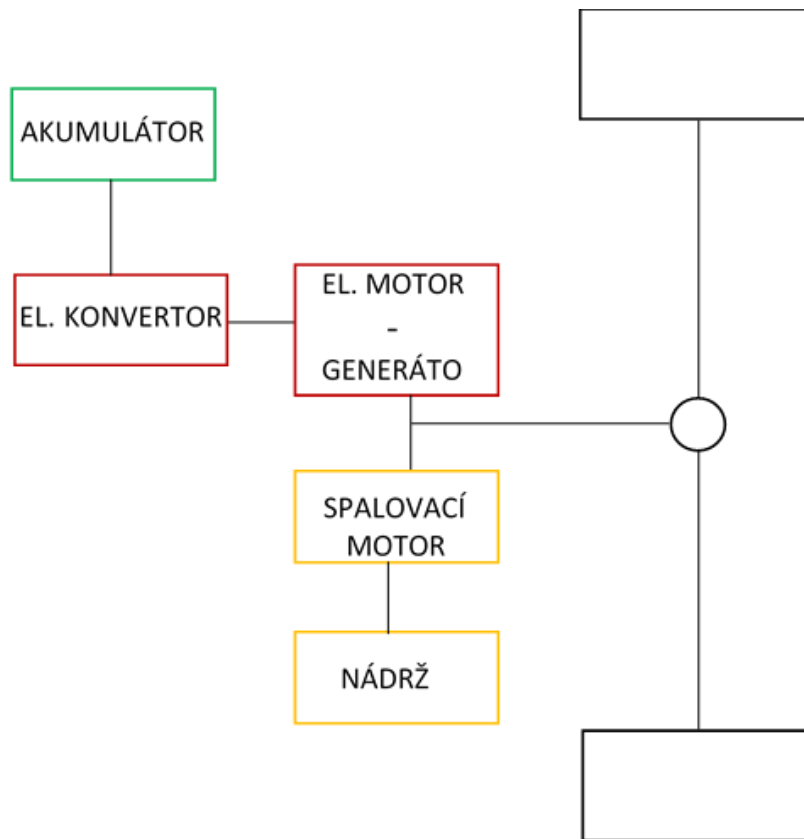
Výhody:

- Jednoduchý systém
- Nenáročný na servis
- Vykazuje výbornou účinnost i na větší vzdálenost (na dálnici)

Nevýhody:

- Hlavním pohonem je spalovací motor (spotřeba a škodlivé emise) [38, 40].

Obrázek 6 Schéma paralelního hybridního pohonu



Zdroj: [autor práce]

c) Kombinované

Kombinovaný hybrid vznikl logicky spojením sériového a paralelního uspořádání pohonu, a tím pádem je to nejsložitější a nejdražší varianta hybridního pohonu. Na obr. 7 je zobrazeno schéma kombinovaného řazení. V tomto uspořádání lze hnací kola vozidla pohánět jak spalovacím motorem, tak elektromotorem či kombinací obou. Kombinovaný hybrid má hybridní převodovku, kde se schází v jednom celku spalovací motor, elektromotor a motor-generátor. Tato hybridní převodovka je vlastně planetová převodovka se třemi nebo čtyřmi satelity. Ke kolům se přes převodovku může dostat buď výkon od spalovacího motoru (paralelní hybrid) nebo výkon od elektromotoru (sériový hybrid). Do řídicí jednotky jsou vyslány informace o jízdním režimu, a ta propočítává poměr mezi výkonem od spalovacího motoru a elektromotoru [41, 42].

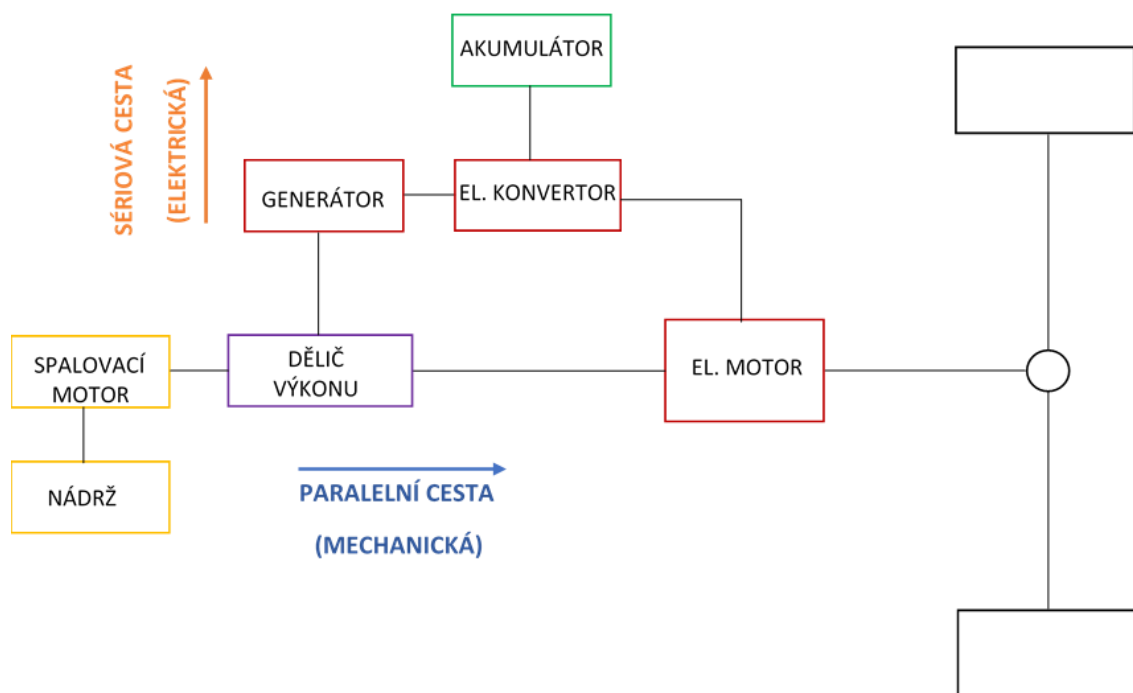
Výhody:

- Jasně rozdělení na pohon elektrický a mechanický
- Efektivní ve více jízdních režimech (město/dálnice)
- Nevyžaduje vysoký výkon spalovacího motoru
- Skvělý předpoklad čistě pro elektropohon

Nevýhody:

- Vysoká pořizovací cena automobilu
- Specifická převodovka
- Složitá konstrukce pohonu [38].

Obrázek 7 Schéma kombinovaného hybridního pohonu



Zdroj: [autor práce]

3.3.2.2 Podle funkce

V dnešní době jezdí po silnicích už mnoho hybridních vozidel. Na první pohled nijak zvlášť viditelné změny, až na estetičnost různých výrobců. Samotná kostra se už ale liší. Podle funkce, kterou hybridní pohon tvoří, se pak dělí na micro hybrid, mild hybrid, full hybrid a plug-in hybrid [17].

a) Micro hybrid

U tohoto typu se prakticky ani nejedná o hybridní pohon. V kostce se jedná o systém start-stop. Vozidlo je vybaveno výkonnějším startérem, který umožňuje na světelném signalizačním zařízení nebo v koloně vypnout a zapnout motor. Důvodem je dosažení nižší spotřeby ve městě. Automobil tedy nedokáže jet pouze na elektrickou energii, pro jízdu využívá čistě spalovací motor [43].

Micro hybrid druhé generace přichází s rekuperací brzděné energie. Startér se tedy při brzdění vozidla chová jako alternátor a dodává energii do akumulátorů. Ovšem konečná efektivnost je velmi nízká. Odborníci Micro hybrid neuznávají za právoplatný hybridní pohon [44].

b) Mild hybrid

U této varianty řešení je elektromotor pouze tzv. asistentem. Není možný režim na čistě elektrický pohon. Elektromotor vypomáhá např. při rozjezdech nebo při velké akceleraci. Využívá i start-stop, kdy při dojezdu ke křižovatce spalovací motor zhasne, ale po následné akceleraci ho startér-generátor opět hladce spustí. Mild hybrid je většinou vybaven 48 V Li-on akumulátorem, který je dobíjen rekuperací kinetické energie [45, 46].

V počátcích tato varianta nevykazovala o mnoho nižší hodnoty spotřeby paliva než běžný vůz se spalovacím motorem, ale jevila se jako vhodná varianta pro další rozvoj a následnou alternativu. V dnešní době je to nejlevnější varianta hybridního vozidla a vykazuje 10 % pokles spotřeby paliva a produkce CO₂ oproti konvenčním motorům [44, 47].

c) Full hybrid

Zde už je hybridní pohon na skvělé úrovni. Je možné jet jak na samotný elektropohon, tak zde funguje i vzájemné doplnění elektromotoru a spalovacího motoru v různých režimech (město/dálnice). Díky rekuperaci kinetické energie a využívání elektromotoru převážně ve městě klesne celková spotřeba paliva a s ní i produkce oxidu uhličitého [30].

Full hybrid je vybaven jak spalovacím motorem, tak elektromotorem, ale i akumulátorem s větší kapacitou pro samostatný pohon vozidla pomocí elektromotoru. Ačkoliv se zdá být úžasné, že tento typ vozidla může jet i na samostatný elektropohon, baterie zde nemá příliš velkou kapacitu, a tak nemá velkou výdrž. Elektromotor je omezen jen do určité rychlosti vozidla, poté se přidá spalovací motor. Po vybití baterie se přepne elektropohon na pohon od spalovacího motoru a baterie se nabíjí z generátoru a pomocí

rekuperace kinetické energie. Ovšem v porovnání s mild hybridem je v tomto případě elektromotor výkonnější a dosahuje překonání větší vzdálenosti [44, 48, 49].

Provedení Full hybrid je velice komplikované a složité, proto se jedná o nejdražší verzi hybridního pohonu. Možnou komplikací, je zde i planetová převodovka, která přenáší pohon od elektromotoru a spalovacího motoru. Při poruše převodovky je finančně náročný její servis. Jelikož i celkové provedení hybridního pohonu je komplikované a složité, tak i zde je velice finančně náročný servis a oprava [41].

Hybridní vozidla typu Full hybrid, jak již bylo zmíněno, vykazují velice dobré hodnoty spotřeby paliva, které samozřejmě doprovází i nižší produkce škodlivého oxidu uhličitého. Full hybrid vykazuje i velmi dobrou životnost. V USA jsou oblíbené jako vozidla taxi a vlastníci těchto vozidel nemají problém dosáhnout i 1 milionu najetých kilometrů [18].

c) Plug-in hybrid

Nezákladnějším poznatkem k Plug-in hybridu je, že součástí konstrukce jsou vysokokapacitní akumulátory, které lze dobíjet ze zásuvky (220 V) nebo u dobíjecí stanice. Díky těmto vylepšením lze ujet čistě na elektrický pohon mnohem delší vzdálenost, uvádí se většinou pár desítek kilometrů. Plug-in hybrid se ovšem od ostatních hybridních typů tolik neliší, stále je zde spalovací motor. Spalovací motor je u některých typů poháněn biopalivem, to napomáhá ke snížení produkce škodlivých emisí. Vozidlo s tímto hybridním pohonem má opět na výběr více režimů: elektropohon, spalovací motor nebo jejich kombinaci. I zde funguje systém rekuperace kinetické energie a např. Toyota Prius Plug-in má na střeše solární panel, který přispívá k dobíjení baterie a prodlužuje dojezdovou vzdálenost o 5 km [50, 51].

S automobilem plug-in je možné v režimu město jet pouze na elektropohon, bez žádných obav ohledně dojezdové vzdálenosti, protože je v záloze ještě spalovací motor. Protože jsou v Plug-in hybridu akumulátory s vyšší kapacitou, a tím pádem je elektropohon víc využitý, dosahuje značného poklesu spotřeby paliva a s ní i poklesu produkce CO₂ [52].

Ohledně nařízení EU o poklesu produkce CO₂, se tento typ hybridu jasně jeví jako vhodná varianta. U vozidla Toyota Prius Plug-in se uvádí, že produkuje 28 g/km emisního CO₂, což je v přepočtu na spotřebu paliva 1,2 l/100 km. K takovýmto hodnotám se nelze přiblížit u běžných vozidel se spalovacím motorem [50, 53].

Plug-in hybrid uživatelům nabízí pozitivní výhody elektropohonu, ale zároveň i klady hybridu, kdy se řidič nemusí obávat malého dojezdu. Plug-in hybrid je ideálním

prostředníkem mezi konvenčními pohony a postupným přechodem na vozidla s elektropohonem [51, 54].

3.3.3 Porovnání hybridního a konvenčního pohonu

Hlavními výhodami hybridních pohonů je nižší spotřeba paliva a s ní i nižší produkce CO₂ do ovzduší. Při nízkém zatížení, jako třeba ve městě, lze využívat pouze elektropohonu a v danou chvíli neprodukovat žádné přímé exhalace. Navíc hybridní vozidla Plug-in jsou vybavena i elektro-přípojkou a je možné svůj vůz dobít doma z běžné zásuvky nebo na veřejných dobíjecích stanicích zcela zdarma, např. nabíjecí stojan na parkovišti u obchodu Lidl [46, 55].

U hybridních automobilů je v porovnání s klasickými vozy se spalovacím motorem méně mechanických komponentů, které se mohou porouchat. Jako první zdroj se spustí elektromotor, takže odpadá potřeba startéru, který uvádí do pohybu spalovací motor [5, 17].

Kombinace elektromotoru a spalovacího motoru umožňuje fungovat v různých režimech, ve městě nebo na dálnici, při nejvíce efektivních podmínkách. Navíc má funkci rekuperace kinetické energie nebo i solární panel na střeše, takže během jízdy kapacita akumulátorů neklesá tak rapidně [16, 17].

Hybridní vůz má díky objemným akumulátorům větší hmotnost a menší úložný prostor a je finančně náročnější, i když se uvádí, že při pořízení hybridního vozidla se daný rozdíl s konvenčním vozidlem navrátí. Určitá zásluha se přikládá menší spotřebě vozidla, možnosti dobít akumulátor na veřejných dobíjecích stanicích, dále pak státní podpoře k pořízení hybridního vozidla, jako je parkování zdarma v centru města, finanční dotace apod. Hybridní automobil navíc pracuje efektivněji a nevypouští do ovzduší takové množství škodlivých látek oproti běžným automobilům se spalovacím motorem [17, 56].

3.3.4 Vliv na životní prostředí

Automobily s hybridním pohonem mají pozitivní vliv na životní prostředí. Hybridní pohon je ve většině případů složen z elektromotoru a motoru spalovacího, takže do ovzduší produkuje přímé škodlivé emise CO₂. Ty jsou ale natolik malé, že vyhovují i evropským předpisům, které jsou plánovány do budoucna [57].

Mezi největší znečišťovatele ovzduší patří právě vozidla silniční dopravy. Znečištění ovzduší z automobilů se postupem času zhoršuje a je to velmi vážné téma. Podle odhadu WHO (World Health Organisation) znečištěné ovzduší představuje celosvětově 4,2 milionu

předčasných úmrtí za rok. I když je pravda, že k této hodnotě přispělo i mnoho dalších aspektů, které se podílejí na znečišťování ovzduší. Silniční vozidla jsou ale hlavní příčinou znečištění ovzduší ve městech. Z těchto důvodů se řeší produkce škodlivých látek z automobilů. Vozidla s hybridním pohonem jsou jedním z řešení [58, 59].

Hybridní pohon je spolupráce konvenčního pohonu a elektromotoru, kde se tyto dva pohony vzájemně doplňují, aby pracovaly v co nejefektivnějších hodnotách. Proto je u tohoto pohonu docíleno značného poklesu spotřeby a s ní i produkce CO₂ [16].

Jak již bylo zmíněno, jeden z největších znečišťovatelů životního prostředí ve městech jsou vozidla silniční dopravy. Z těchto důvodů se začala řešit přednostně přímá produkce oxidu uhličitého. Pravdou je, že jak u elektromobilů, tak u hybridních vozidel vzniká i tzv. nepřímá produkce škodlivých látek do ovzduší. Ta vzniká jak při výrobě akumulátorů, tak při výrobě elektrické energie, která se čerpá do těchto vozidel u dobíjecích stanic. Samozřejmě je snaha i o výrobu tzv. zelené energie, která se vyrábí s pomocí přírodních zdrojů jako je slunce, vítr a proud vody v řekách. Z převážné většiny je ale elektrická energie vyrobená v elektrárnách uhelných. Díky výzkumům a modernizaci výrobních procesů se exhalace z elektráren a továren na výrobu akumulátorů daří snižovat [30, 57, 58].

Hlavním úkolem budoucího plánu na snížení produkce oxidu uhličitého, bude navrhnout a poté vyvinout plán, který eliminuje i tyto nepřímé produkce škodlivých látek. S velkou pravděpodobností se tímto směrem bude ubírat průmysl, dokud nebude vynalezena čistší technologie k získávání energie. Do té doby je hlavní trend urgovat automobilky ke snížení produkce škodlivých emisí, a tím snížit znečištění ovzduší ve velkých obydlených územích [56].

Jelikož po silnici nejezdí pouze osobní automobily, ale i nákladní vozidla, bylo zapotřebí přijít s nějakým řešením pro nákladní vozidla. V mnoha zemích jsou přísné předpisy pro vjezd nákladních automobilů do centra měst. Tyto předpisy obsahují např. časová omezení vjezdu nákladních vozidel, omezení rychlosti kvůli hluku apod. Ve městech jsou pochopitelně obchody s různým druhem zboží a tyto obchody potřebují být zásobovány, a to převážně za pomoci nákladních vozidel. Tato vozidla jsou zpravidla vybavena silnými motory s velkým zdvihovým objemem, a proto nákladní automobily produkují mnohem více škodlivých látek do ovzduší. Aby se všem těmto omezením vyhovělo a mohlo probíhat zásobování obchodů, přišla např. automobilka Scania s hybridním nákladním vozidlem Scania G 320 hybrid. Scania uzavřela dohodu s logistickou firmou HAVI a restaurací Mc'Donalds, které HAVI poskytuje dopravní zásobovací služby.

Dohoda se vztahuje na studii za účelem testování tichých dodávek od dodavatele HAVI pro 6 restaurací Mc'Donalds ve Stockholmu v nočních hodinách [60, 61].

Scania G 320 hybrid je vybavena devítilitrovým motorem Euro 6, který využívá pro pohon bionaftu (FAME nebo HVO). Motor ve spolupráci s elektromotorem dosahuje až 92procentní snížení produkce oxidu uhličitého. Pokud se spustí ve vozidle režim město, vyvine úsporu paliva o 18 %. Hybridní nákladní vozidlo je taktéž vybaveno chytrou technologií, která rozpoznává zóny ve městě. Tento systém konektivity se spoluprací technologie pro nastavení virtuálních dopravních zón automaticky uzpůsobuje jízdní režim v předem dané oblasti. Na základě vyhodnocení virtuálních dopravních zón vozidlo reguluje svou rychlost a určuje, který motor bude vozidlo používat. Díky těmto chytrým systémům lze vozidlo využívat ve správném režimu, a tím snížit produkci škodlivých emisí, hluku a veškerých negativních aspektů, které narušující omezení v centru měst [60, 62].

3.3.5 Hybridní pohony v ČR

V České republice se vozidla s hybridním pohonem postupem času velmi rozmáhají. Celková poptávka každým rokem roste, a tudíž se dá počítat s velkým nárůstem prodeje těchto vozidel. V naší zemi se vyskytuje 16 automobilek, které nabízejí vozidla s hybridním pohonem. S variantou hybridního pohonu se lze nyní setkat i u luxusních a sportovních vozů, jako je např. Porsche nebo Bentley. Ovšem největší lídr, nejen v České republice, ale i v ostatních státech Evropy, je japonská značka Toyota [35, 63].

Toyotě připadá 72 % hybridních vozidel v Česku. Její prémiová sesterská značka Lexus prodává dalších 10 % hybridních automobilů v České republice. Značka Lexus má v Česku z celkového prodeje automobilů 90 % prodaných vozidel s hybridním pohonem [64].

Česká republika je stejně tak jako ostatní země v EU zavázána snížením produkce skleníkových plynů. Toto nařízení říká, že produkce emisí musí klesnout o dvě třetiny ve srovnání s úrovní roku 1990, aby byl splněn dlouhodobý plán o snížení produkce oxidu uhličitého o 60 % [65].

Největší produkci oxidu uhličitého má ve městech na svědomí silniční doprava. Jelikož je Česká republika součástí Evropské unie, musí splňovat její požadavky na snížení produkce skleníkových plynů. Co se týče přímé produkce emisí do ovzduší, v České republice se začíná rozmáhat prodej elektromobilů a hybridních automobilů, a s tím i klesá přímá produkce skleníkových plynů. Aby se ale hodnoty vyprodukovaného oxidu uhličitého opravdu snížily po celém území republiky, je potřeba se zaměřit i na tzv. nepřímou produkci

oxidu uhličitého. Nepřímá produkce oxidu uhličitého vzniká při výrobě elektrické energie v uhelných elektrárnách. Nejefektivnější z pohledu produkce emisí do ovzduší by byla tzv. zelená výroba elektrické energie, tedy za pomoci energie solární, větrné či energie z toku řek. Ta by momentálně nedokázala pokrýt síť pro dobíjení automobilů. Je ale jisté, že výroba tzv. zelené energie je nezbytnou součástí celkového poklesu produkce CO₂ a v budoucnu by se měla posílit [66, 67].

V Praze na ulici Prosecká se v říjnu 2017 spustil nový projekt elektrifikace na trase autobusové linky č. 140. První fáze zkušebního provozu byla zaměřena na životaschopnost dynamického nabíjení. Během tohoto zkoušení vyplynuly některé připomínky a požadavky, to vedlo k dalším etapám a novým požadavkům jako např. zvýšení nabíjecích proudů, lepší efektivnost autobusu do svahu bez připojení k troleji či možnost nočního nabíjení. Vedle všech těchto technických a mechanických testů probíhal i kurz k zaškolení řidičů. Během testů systém obstál i v průběhu mrazivých dnů koncem zimy roku 2018 [68, 69].

Projekt byl představenstvem DPP schválen a celá linka č. 140 by měla být do roku 2021 plně elektrifikována [68, 69].

Projekt tedy spočívá v tom, že úsek autobusové linky č. 140 bude plně elektrifikován a kloubové autobusy budou využívat především tzv. dynamického dobíjení. To znamená, že se autobus dobíjí za jízdy pomocí trolejového vedení [68, 69].

Do budoucna lze s touto variantou nahrazení autobusů se spalovacím motorem počítat. Tím se výrazně sníží negativní dopady autobusové dopavy na životní prostředí a obyvatele města [68, 69].

Doprava je v Praze primární příčinou znečištění ovzduší, a proto se musí hledat cesty, jak tuto produkci emisí do ovzduší snížit. Nejefektivnější by bylo využívat čistě kolejovou hromadnou dopravu. Problém je, že se tramvají, metrem nebo vlakem lidé nedoprováží na všechna potřebná místa. Proto je snaha o elektrifikaci autobusů logické řešení [68, 69].

DPP má v plánu pokračovat s elektrifikací autobusových linek. Další na řadě by měla být autobusová linka č. 207 mezi Ohradou a Staroměstskou, kde by měly být v provozu autobusy se statickým dobíjením [68, 69].

Dalším projektem v Praze se spustil 6. 2. 2019 čtyřměsíční test hybridních autobusů vypůjčených od Švédského výrobce VOLVO BUS CORPORATION GÖTEBORG. Zapůjčení proběhlo z důvodu snížení produkce CO₂ a ověření od výrobce přislíbeného poklesu pohonných hmot až o 30 % [70, 71].

Autobus je poháněn naftovým motorem EURO VI o objemu 5,1 cm³ a o výkonu 130 kW a elektromotorem o výkonu 130 kW. Autobus se na první pohled od běžného autobusu

se spalovacím motorem příliš neliší, až na ukrytý hybridní pohon a akumulátory uložené na střeše autobusu. Princip paralelního hybridního pohonu spočívá v rekuperaci brzděné energie a funguje tak, že za spalovací motor je zařazen elektromotor, který funguje jako elektromotor-generátor. Získaná trakční energie se pak ukládá do akumulátorů, které jsou na střeše autobusu a vypomáhají převážně při rozjezdu nebo akceleraci. U tohoto hybridního autobusu Volvo 7900 LAH je výhodou, že se akumulátory dobíjejí během jízdy a není tak potřeba žádná nabíjecí infrastruktura [70, 71].

Hybridní autobus je 18,135 m dlouhý, dokáže vyvinout rychlost 100 km/hod a má celkovou kapacitu 139 cestujících (k sezení 47, k stání 92) [70, 71].

Česká republika jde lepším životnímu prostředí naproti, a proto velká města, jako i Praha, zkouší nové prostředky, aby ulehčili ovzduší a snížili spotřebu fosilních paliv [70, 71].

4. WELL TO WHEEL ANALÝZA

Analýza Well to Wheel je v dnešní době nejpoužívanější analýzou k porovnání jednotlivých alternativních pohonů a paliv. Analýza stanovuje dvě základní složky, a to spotřebu fosilních paliv a produkci CO₂ na jeden ujetý kilometr. Celkovou analýzu pak tvoří dvě části. První z nich popisuje Well to Tank (WTT), tedy proces, který probíhá od zdroje až po nádrž. Tato část analýzy popisuje produkci oxidu uhličitého od procesu výroby paliva až po dodávku paliva na čerpací stanice. Druhá složka popisuje Tank to Wheel (TTW), tedy produkce CO₂ po dodání paliva do vozidla. Škodlivé emise vznikají při využití dodané energie k pohonu vozidla. Tank to Wheel spočívá v tom, že se měří produkované emise narušující naše životní prostředí. Konvenční motory mají největší dopad na životní prostředí v oblasti TTW [5, 72].

4.1 Analýza WTW elektropohonu v porovnání s konvenčním pohonem

U elektromobilů se produkce CO₂ vyhodnocuje stejně jako u spalovacích motorů, ovšem s tím rozdílem, že emise z vozidla jsou nulové. Proto je pro výsledek v této analýze nejpodstatnější fáze výroby elektrické energie [72].

Při hodnocení TTW se hodnoty uvedené v literatuře liší až o 14 setin kWh/km při spotřebě energie. U elektromobilu, stejně jako u vozidel s konvenčním pohonem, má jistý vliv na spotřebu energie také lidský faktor. Spotřeba vozidla kolísá, když je např. zapnutá klimatizace a topení, při používání motorové brzdy, při vyhřívání sedaček apod., nebo okolními vlivy, jako např. povětrnostními podmínkami. Významnějším aspektem z pohledu produkce skleníkových plynů je pak způsob výroby a distribuce elektrické energie pro nabíjení elektromobilů [72, 73].

Celková analýza WTW, která se skládá ze dvou kroků, ukazuje v závěru dopad na životní prostředí pro jediné vozidlo. Dokazuje, že na rozdíl od vozidel se spalovacím motorem, lze podstatně změnit dopad na životní prostředí s použitím různých druhů výroby elektrické energie a jejího použití v elektromobilech [72].

4.1.1 Výroba a distribuce energie (WTT)

U analýzy WTT je důležité, že se zohledňují veškeré aspekty předcházející čerpání energie do automobilu, od těžby zdrojů pro výrobu elektrické energie, až po její distribuci. Aby byly výpočty možné a přesné, jsou použity informace o výrobě elektrické energie ve vybraných zemích v Evropě. Tyto informace jsou k nalezení od roku 2013 v databázi Eurostatu. Tato databáze uchovává data o produkci skleníkových plynů ve všech zemích EU [72, 74].

V analýze byla rozpracována produkce oxidu uhličitého při těžbě surovin a dodávky surovin do elektrárny, tedy emise vzniklé před výrobou. Následně pak produkce oxidu uhličitého při výrobě elektrické energie, distribuce a dodávky do domácích zásuvek či dobíjecích stanic [72].

Pro výpočet vzniklých skleníkových plynů během těžby surovin, které jsou potřebné k výrobě elektrické energie, je hlavním aspektem, o jaké suroviny se jedná. Z databáze Ecoinvent se získaly informace o stavu životního cyklu a vzniklé emise během těžby surovin pro tepelné, kombinované a jaderné elektrárny. Do hodnot z databáze Ecoinvent není zahrnuta analýza nejistoty, proto se využila data z předchozích studií. Při výpočtech je tedy zohledněna analýza nejistoty, která přihlíží k rozdílné technologii jaderné elektrárny, uhelné elektrárny a elektrárny na zemní plyn, pro každou evropskou zemi [72, 75].

Výpočet vzniklých emisí po výrobě elektrické energie, tedy výpočet založený převážně na efektivitě dodávky a distribuční infrastruktury, je převzat z jiných studií, které vznikly na základě statistik IEA 2014 a zprávy Ergeg [72].

Aby byla analýza WTT kompletní, je třeba zahrnout i koncové ztráty při čerpání elektrické energie z dobíjecí stanice a účinnost dobíjení baterie. Zpravidla se uvádí celková efektivita kolem 80-95 %. Efektivita nabíjení elektromotoru se skládá ze tří důležitých částí. Za první, účinnost dané nabíječky v daný čas. Účinnost dané nabíječky je určena intenzitou proudu, která je většinou nad 95 %. Za druhé, účinnost baterie. Účinnost baterie také závisí na intenzitě proudu. Tato účinnost baterie dosahuje za normálních podmínek nad 95 %, ale při rychlém nabíjení se účinnost snižuje. Za třetí, v pohotovostním režimu nabíječky nastává zbytková, ale ne zanedbatelná ztráta energie, která může nastat např. u domácích nabíječek, když se bude často vytěžovat. Domácí nabíječky jsou totiž navrženy pro použití jeden krát denně nebo méně [72].

4.1.2 Využití energie (TTW)

Pro výpočet emisí při výrobě energie je také důležité zjistit účinnost elektromobilu. Vyrobena elektrická energie se uvádí v kWh, pro další výpočty v této fázi je potřeba zjistit účinnost elektromobilu v kWh/km. Významný vliv na konečné emise WTW má i část TTW. Při nabití vozidla elektrickou energií je důležitá přeměna této energie na pohyb vozidla [72].

Pro celkovou analýzu WTW v globálnějším měřítku je důležité zhodnotit efektivitu TTW podle různých scénářů. V každé zemi jsou odlišné jízdní podmínky, proto se účinnost TTW spočítá podle 6 jízdních cyklů, konkrétně NEDC, WLTC, US06, HWFET, UDDS a NYCC. V rovnicích (1) a (2) je zahrnuta spotřeba energie podle určitého jízdního cyklu. Pokud se zaručí zpomalení vozidla, které překoná valivý odpor i odpor vzduchu, tak se získává příčinný výkon, a ten se ukládá zpět do akumulátorů, tj. regenerativní brždění, rovnice (1) [72, 76].

Rovnice (2) naopak popisuje spotřebu energie, když nevzniká tzv. regenerační brždění a do akumulátorů není přiváděná žádná energie:

$$P = \left[\left(m \cdot a + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_d A + C_{rr} \cdot m \cdot g \right) \cdot \zeta \right] \cdot \eta_{Pt} \cdot v + P_{aux} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

$$P = \frac{(m \cdot a + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_d A + C_{rr} \cdot m \cdot g) \cdot v}{\eta_{Pt}} + P_{aux} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde a [m/s^2] a v [m/s] jsou zrychlení a rychlost vozidla; $C_d A$ [m^2] představuje čelní plochu vozidla; m [kg] je hmotnost vozidla; C_{rr} [-] je valivý odpor; g [m/s^2] je gravitační zrychlení a ρ [kg/m^3] je hustota vzduchu [72, 76].

Ke všemu se předpokládá, že záporným zrychlením, tj. regenerační brždění, se akumuluje energie, která se během jízdního cyklu vrací zpět do akumulátorů. Obecně vzato, množství akumulované energie je závislé na okamžité rychlosti vozidla, zpomalení vozidla a stavu nabití baterie. Z tohoto důvodu vznikají různé strategie na využití regeneračního brždění. Podle těchto strategií se utváří brzdná síla, která musí působit na hydraulický a mechanický brzdový systém. Koeficient ζ [-] uvedený v rovnici (1) reprezentuje průměrný zlomek regenerační brzdné energie získané pro dobití akumulátoru během jedné jízdy [72, 76].

Celková účinnost hnacího ústrojí η_{Pt} [-], která se uvádí v rovnici (1) a (2), je vypočtena pomocí účinností různých částí hnacího ústrojí elektromobilu od akumulátorů po kola. Výpočet výše popsané celkové účinnosti hnacího ústrojí je popsán v rovnici (3):

$$\eta_{Pt} = \eta_{Batt} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_m \cdot \eta_{tr} \quad [-] \quad (3)$$

kde η_{Batt} , η_{inv} , η_m a η_{tr} jsou účinnosti akumulátoru, měniče, elektromotoru a převodové soustavy (převodový hřídel, převodový stupeň, diferenciál atd.) [72, 73].

Pomocná zařízení, která lze využívat v elektromobilu, jako je klimatizace, topení, rádio, světla apod. jsou vyjádřena v rovnicích (1) a (2) pomocí proměnné P_{aux} [W] [72].

Ve fázi užívání vozidla je možná určitá variabilita spotřebované energie v závislosti na užívání automobilu a okolních vlivech, působících na vozidlo během jízdy. Z těchto důvodů se provádí analýza Monte Carlo, která zajišťuje přesnější výsledky. Do rovnice (1) a (2) pak byly přiděleny hodnoty z tab. 2. [72].

Tabulka 2 Přiřazená distribuce ke každé z proměnných obsažených v analýze Monte Carlo

Proměnná	Jednotky	Typ rozdělení	Parametry
Hmotnost vozidla (m)	[kg]	Trojúhelníkové	Dolní hodnota $m = 450,00$ Střední hodnota $m = 1518,97$ Horní hodnota $m = 3070,00$
Čelní plocha vozidla ($C_d A$)	[m ²]	Logaritmické	$\mu = -0,446$ $\sigma = 0,105$
Účinnost hnacího ústrojí (η_{Pt})	[-]	Normální	$\mu = 0,800$ $\sigma = 0,035$
Průměrná frakce regeneračního brzdě energie (ζ)	[-]	Normální	$\mu = 0,75$ $\sigma = 0,10$
Pomocné zatížení (P_{aux})	[W]	Logaritmické	$\mu = 6,6120$ $\sigma = 0,3810$

Zdroj: [72]

Tabulka 3 Parametry považované v analýze Monte Carlo za konstantní

Parametry	Jednotky	Hodnota konstanty
Valivý odpor (C_{rr})	[-]	0,01
Hustota vzduchu (ρ)	[kg/m ³]	1,225
Gravitační zrychlení (g)	[m/s ²]	9,81

Zdroj: [72]

Při tvorbě údajů bylo pro hmotnost vozidla bráno v úvahu přes 40 elektromobilů, totéž i pro jeho tvar. Bylo přiděleno trojúhelníkové rozdělení kvůli odlišným vlastnostem větších vozidel, např. Tesla model S, a menších vozidel, např. Renault Twizy. Podobným způsobem se určil parametr čelní plochy vozidla, kde k vytvoření parametru posloužilo přes 240 vozidel. Tady se ale použilo logaritmické rozdělení, protože vznikaly rozdílné výsledné hodnoty u totožných vozidel v odlišných aerodynamických tunelech, ve kterých se určuje odpor vzduchu [72].

Během určení hodnoty účinnosti hnacího ústrojí elektromobilu η_{pt} [-] je třeba brát v úvahu typický rozsah účinnosti prvků, znázorněných v rovnicích (1) a (2). S ohledem na zařízení v elektromobilu (baterie, elektromotor apod.), které činí 90procentní až 98procentní účinnost, a také vzhledem k účinnosti cca 97procentní až 98procentní pro přenosovou soustavu, bylo definováno normální rozdělení [72, 73].

Jak už bylo vysvětleno, podíl získané energie při rekuperaci energie je závislý na mnoha aspektech (jízdni vlastnosti, přírodní podmínky apod.). V závislosti na těchto vlivech se tvoří strategie, ta se ale liší podle modelu elektromobilu. Zpětná vazba energie při jízdě je ve výpočtech vyjádřena faktorem ζ [-]. Frakce regenerační brzdné síly se podle Gaussova rozdělení pohybuje od cca 0,4 až do 0,95 [72].

Pomocná zařízení, která se berou v potaz při každé jízdě, byla modelována logaritmickým rozdělením, které popisuje spotřebu pomocného zařízení P_{aux} [W] [72].

Pro dokončení výpočtů v rovnicích (1) a (2) jsou přiřazeny konstantní hodnoty v tab. 3 [72].

4.1.3 Jízdní cykly (TTW)

Pro přesnější hodnoty při vyhodnocování účinnosti TTW se použilo několik jízdních cyklů. Celkově byly provedeny testy v 6 jízdních cyklech [72].

Základní cykly pro vyhodnocení jízdních vlastností elektromobilu jsou evropský jízdní cyklus NEDC (New European Driving Cycle) a celosvětově daný cyklus WLTC (World Harmonized Light Vehicle Duty Test Cycle). Jízdní cyklus NEDC je v Evropě nahrazen novým jízdním cyklem WLTC, který přesněji popisuje zatížení vozidla při jízdě. Jízdní cyklus NEDC byl omezen pouze na jízdní styl ve městě a mimo město. WLTC je podrobnější, uvažuje hmotnost vozidla, nejvyšší rychlost vozidla, 4 fáze zatížení vozidla apod. [72, 77].

Zástupci jízdního cyklu na dálnici jsou v analýze dle americké normy US06 a testovací cyklus HWFET (Highway Fuel Economy Test Cycle) [72].

Posledními jízdními cykly jsou v analýze UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) a NYCC (New York City Cycle), které reprezentovaly spotřebu energie elektromobilu během častého brždění a popojíždění [72].

Hlavní charakteristiky každého z jízdních cyklů jsou uvedeny v tab. 4[72].

Tabulka 4 Hlavní charakteristiky každého jízdního cyklu

Parametry	Jednotky	NEDC	WLTC	US06	HWFET	UDDS	NYCC
Celková vzdálenost	[km]	10,93	23,26	12,89	16,51	11,99	1,9
Celkový čas	[s]	1185	1801	593	766	1370	599
Doba stání	[%]	24	13	6	1	19	35
Průměrná rychlost	[km/h]	33,24	46,5	78,24	77,58	31,51	11,41
Maximální rychlost	[km/h]	120	132	130	97	92	45
Průměrné zrychlení	[m/s ²]	0,54	0,42	0,49	0,31	0,46	0,48
Průměrné zpomalení	[m/s ²]	-0,79	-0,44	-0,53	-0,34	-0,53	-0,54

Zdroj: [72]

4.1.4 Výpočet a porovnání produkce skleníkových plynů

Celková analýza produkce skleníkových plynů je tvořena analýzou výroby energie a využití energie. V této analýze se jedná o produkci skleníkových plynů z elektromobilů [kgCO_{2e}.] pro různé země Evropy [72].

Pro každou zemi se vypočítá produkce skleníkových plynů elektromobilu z rovnice (4). Zohledňují se emise elektrické energie MIX (konečná spotřeba primárních zdrojů energie v daném regionu), které jsou určeny v podkapitole výroby energie (MIX_i) [kgCO_{2e}./kWh]. Tato hodnota se vynásobí ujetou vzdáleností elektromobilu (D) [km], která činí průměrně 12 000 km a spotřebou energie (E) [kWh/km]. Tím se vypočte produkce skleníkových plynů k celé životnosti elektromobilu. K tomu všemu je přičtena očekávaná produkce skleníkových plynů během výroby elektromobilu (GWP_{fabEV}) [kgCO_{2e}.]. Výroba elektromobilu má horší dopad na životní prostředí než výroba běžného automobilu a podle EVREST činí cca 11 000 kgCO_{2e}. [72, 78].

$$GWP_i = MIX_i \cdot E \cdot D + GWP_{fabEV} \quad [\text{kgCO}_{2e}.] \quad (4)$$

Výsledek z rovnice (4) je výsledek produkce skleníkových plynů pro každou zemi (GWP_i z rovnice (4), kde i identifikuje zemi). Výsledky z rovnice (4) umožňují porovnání mezi evropskými zeměmi [72].

Obdobný přístup se dělá při výpočtu produkce skleníkových plynů u spalovacích motorů, a to je vyjádřeno v rovnici (5) [72].

$$GWP_{ICE} = D \cdot GWP_{km} + GWP_{fabICE} \quad [\text{kgCO}_{2e}.] \quad (5)$$

U tohoto případu je produkce skleníkových plynů během výroby (GWP_{fabICE}) 6500 kgCO_{2e}., což je téměř polovina hodnoty při výrobě elektromobilu. Škodlivé emise uvedené v tabulce 5. jsou závislé na jízdním cyklu [72].

Elektromobil se uvádí s nulovou přímou produkcí oxidu uhličitého, proto se analýza u elektromobilu zaměřila na vznik škodlivých emisí převážně v oblasti WTT. K porovnání těchto výsledků je zapotřebí u konvenčních pohonů provést také analýzu TTW. U vozidel se spalovacím motorem je hlavní problém s přímou produkcí škodlivých emisí do ovzduší během provozu. Pro lepší porovnání elektropohonu a konvenčního pohonu v produkci oxidu

uhličitého, tedy celkovou analýzu WTW, jsou k dispozici hodnoty konvenčních pohonů v 6 jízdních cyklech v tab. 5 [72].

Tabulka 5 Emise WTW spalovacího motoru (gCO_{2e}/km) při různých jízdních cyklech

Cyklus	Emise (gCO_{2e}/km)
NEDC	132
WLTC	144,15
US06	146,02
HWFET	82,41
UDDS	128,53
NYCC	265,33

Zdroj: [72]

Rovnice (5) je nezávislá na konkrétní charakteristice země. Používá se k porovnání produkce CO₂ při uvedení elektromobilu na trh. Pokud je výpočet produkce škodlivých emisí elektromobilu nižší než v rovnici (5), znamená to, že celkovou produkci skleníkových plynů do ovzduší má elektromobil nižší a je šetrnější k životnímu prostředí. Pokud ovšem výsledná hodnota produkce skleníkových plynů bude u elektromobilu vyšší nebo rovna produkci spalovacích motorů, celková produkce skleníkových plynů elektromobilu není lepší než při použití běžného automobilu se spalovacím motorem [72].

Podobný přístup se používá při výpočtu produkce škodlivých emisí z elektrického MIX, který je vlastně roven emisím elektromobilu. Po upravení rovnice (4) a (5) se získá rovnice (6), kterou lze tyto emise vypočítat. Výsledné hodnoty pak slouží k porovnání produkce emisí při výrobě elektrické energie a produkce emisí automobilu se spalovacím motorem. Pokud je hodnota emisí MIX vyšší než tento limit, znamenalo by to, že při výrobě energie se vytvoří více skleníkových plynů než během provozu automobilu se spalovacím motorem. Jestliže bude výsledná hodnota nižší, pak i emise při výrobě elektrické energie jsou nižší než při provozu automobilu se spalovacím motorem [72].

$$MIX = \frac{D \cdot GWP_{km} + GWP_{fabICE} - GWP_{fabEV}}{E \cdot D} \quad [\text{kgCO}_2\text{e./kWh}] \quad (6)$$

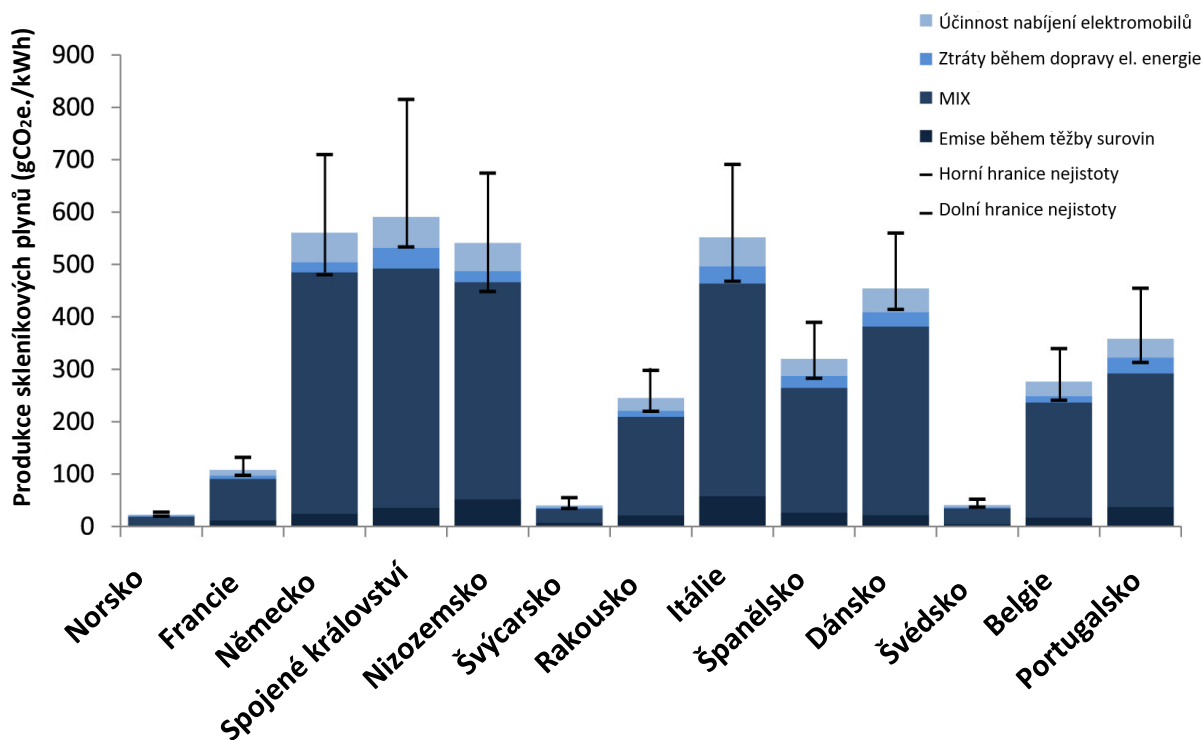
Výslednou hodnotu lze porovnat se současnou generací energie MIX v každé zemi. Po porovnání této hodnoty se zjistí, jestli má ze strany životního prostředí elektromobil výhodu či nikoliv [72].

4.1.5 Shrnutí analýzy WTW

Na závěr jsou v grafu 2-7 prezentovány výsledky analýzy spolu s výsledky porovnání elektromobilu a automobilu s konvenčním pohonem [72].

Pro evropské země, které mají nejvyšší prodej elektromobilů, je v grafu 1 znázorněna produkce skleníkových plynů na kWh. Výsledky analýzy jsou závislé na produkci skleníkových plynů během výroby elektřiny MIX, během těžby surovin pro výrobu elektrické energie, během dopravy a transformace energie a během účinnosti systému dobíjení elektromobilů. Výsledky analýzy zahrnují i procentní nejistotu, která je v grafu 1 zobrazena chybovým pruhem na okraji akumulovaného emisního pruhu pro danou zemi [72].

Graf 1 Produkce skleníkových plynů/kWh odvozené z nabíjení elektromobilu (WTT) s ohledem na elektrickou energii MIX, emise, které vnikají před výrobou elektrické energie, během výroby a následně po výrobě a vliv účinnosti systému dobíjení elektromobilu



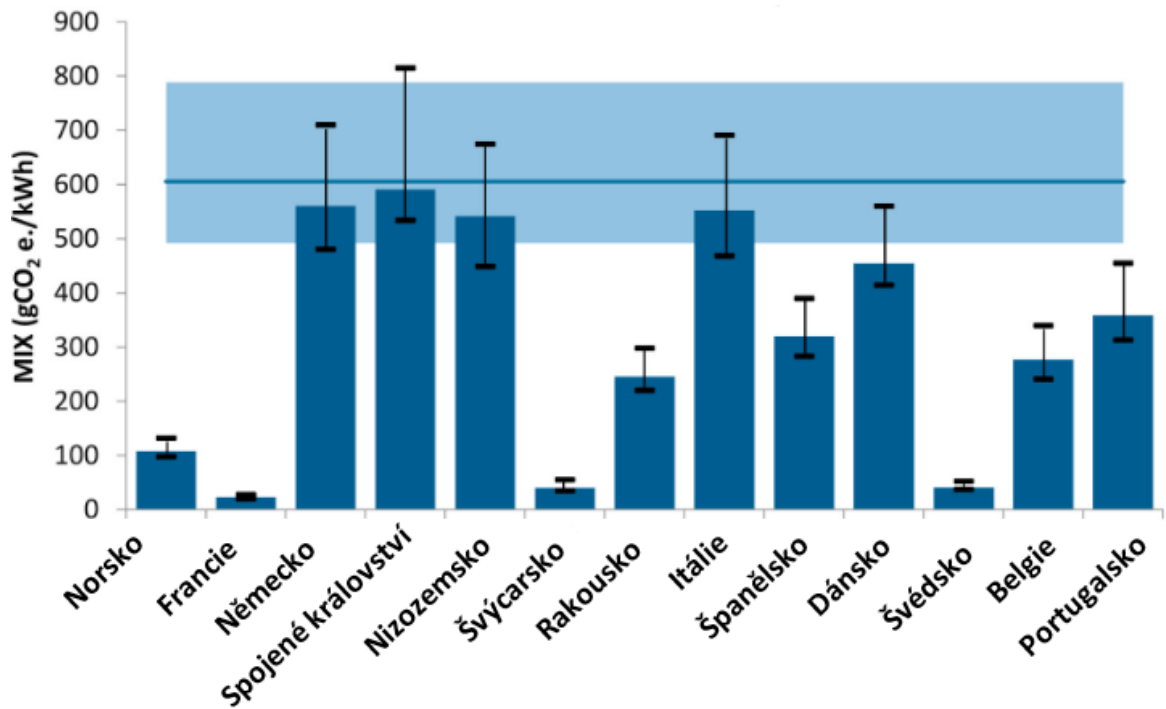
Zdroj: [72]

V grafu 1 jsou země seřazeny podle počtu prodaných elektromobilů, zleva doprava. Je zde znázorněn význam emisí vzniklých před výrobou elektrické energie až po vznik skleníkových plynů kvůli špatné účinnosti dobíjecí stanice. Celek pak zobrazuje konečnou produkci skleníkových plynů na kWh v dané zemi [72].

Obdobně jako u běžných automobilů se spalovacím motorem se nachází u elektromobilů optimální rozsah účinnosti v rychlostech od 20 km/h do 80 km/h. Není také vždy výhodný scénář jízdy tzv. start-stop, protože u mnoha elektromobilů se při nízkých rychlostech nerecuperuje energie do akumulátorů [72, 79].

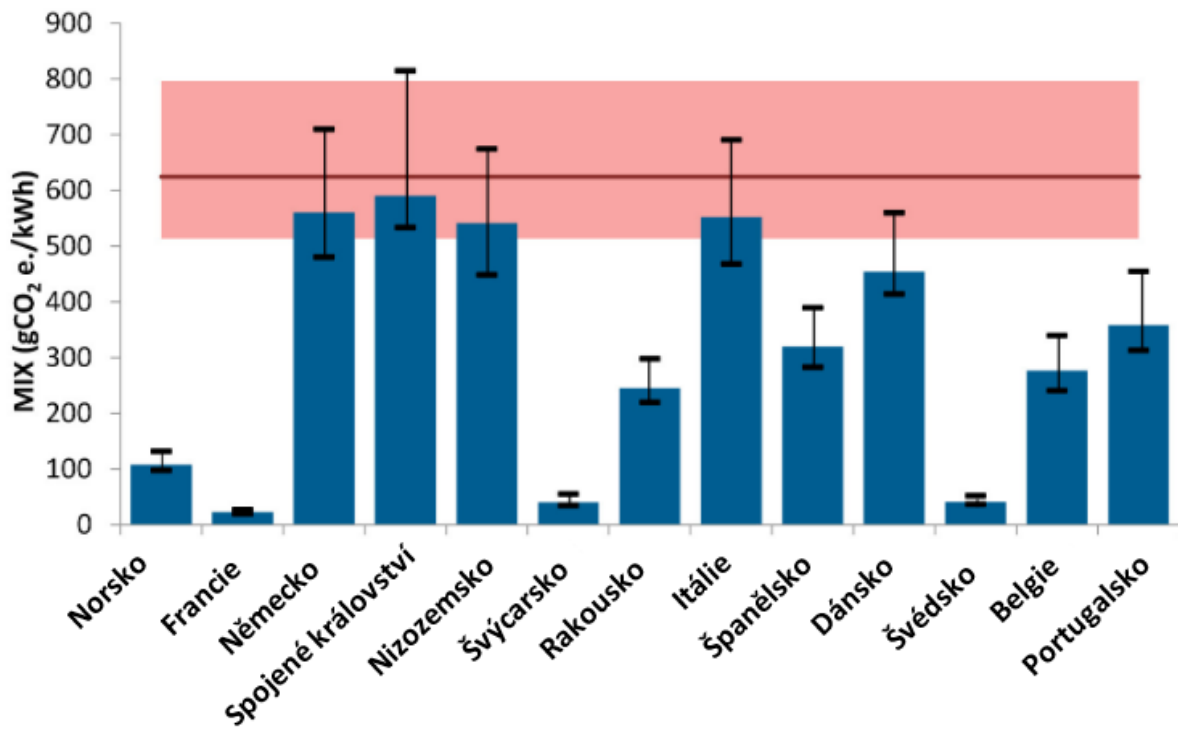
Z rovnice (6) se vypočetly hodnoty produkce CO₂ na kWh, které vznikají při výrobě elektrické energie MIX. Tyto hodnoty se pak porovnají se současnou produkcí skleníkových plynů ve vybraných evropských zemích, jak je znázorněno v grafu 2-7. Barevný pruh v pozadí představuje rozsah spotřeby energie elektromobilu a jeho odstín reprezentuje jízdní cyklus. Horní limit barevného spektra představuje nejnižší výkon elektromobilu, tedy nejvyšší produkce skleníkových plynů (TTW) v porovnání s produkcí skleníkových plynů ze spalovacích motorů (WTW). Spodní limit představuje nejvýkonnější elektromobil, tedy nejnižší produkce skleníkových plynů (TTW) v porovnání s produkcí skleníkových plynů ze spalovacího motoru (WTW). Barevná čára uvnitř plochy v pozadí znázorňuje průměrnou spotřebu elektrické energie elektromobilu v porovnání se spotřebou konvenčního pohonu během jízdního cyklu. Tato čára je přípustná hodnota v produkci skleníkových plynů ve fázi WTT, aby byl elektromobil ekologicky výhodnější než běžný automobil. Pokud je produkce skleníkových plynů během výroby elektrické energie nižší než tato hodnota, je zcela pravděpodobně, že v daném státu přinese elektromobilita snížení produkce skleníkových plynů [72].

Graf 2 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při NEDC cyklu



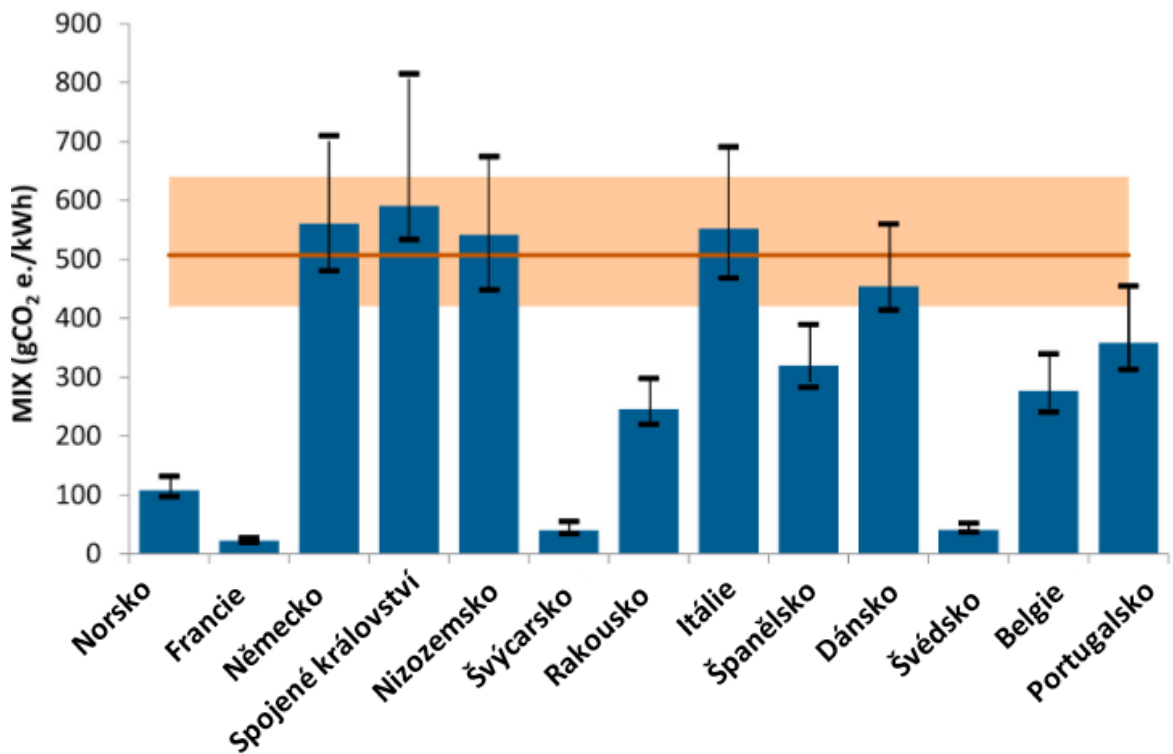
Zdroj: [72]

Graf 3 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při WLTC cyklu



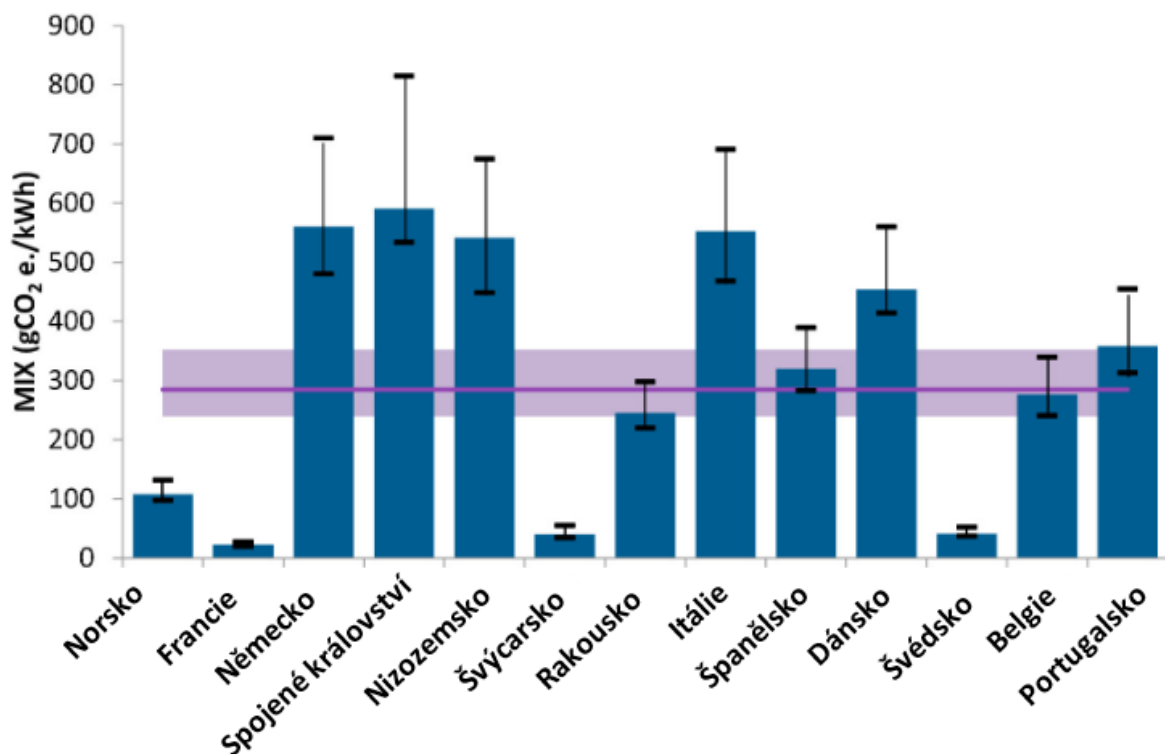
Zdroj: [72]

Graf 4 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při US06 cyklu



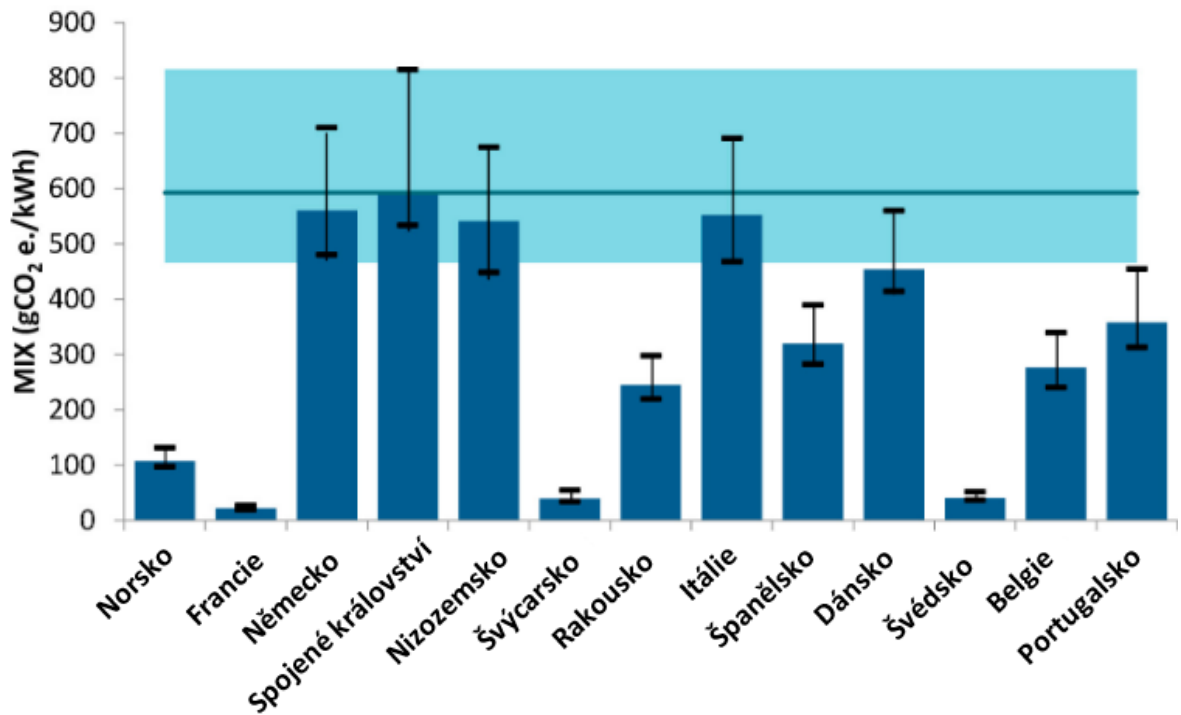
Zdroj: [72]

Graf 5 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při HWFET cyklu



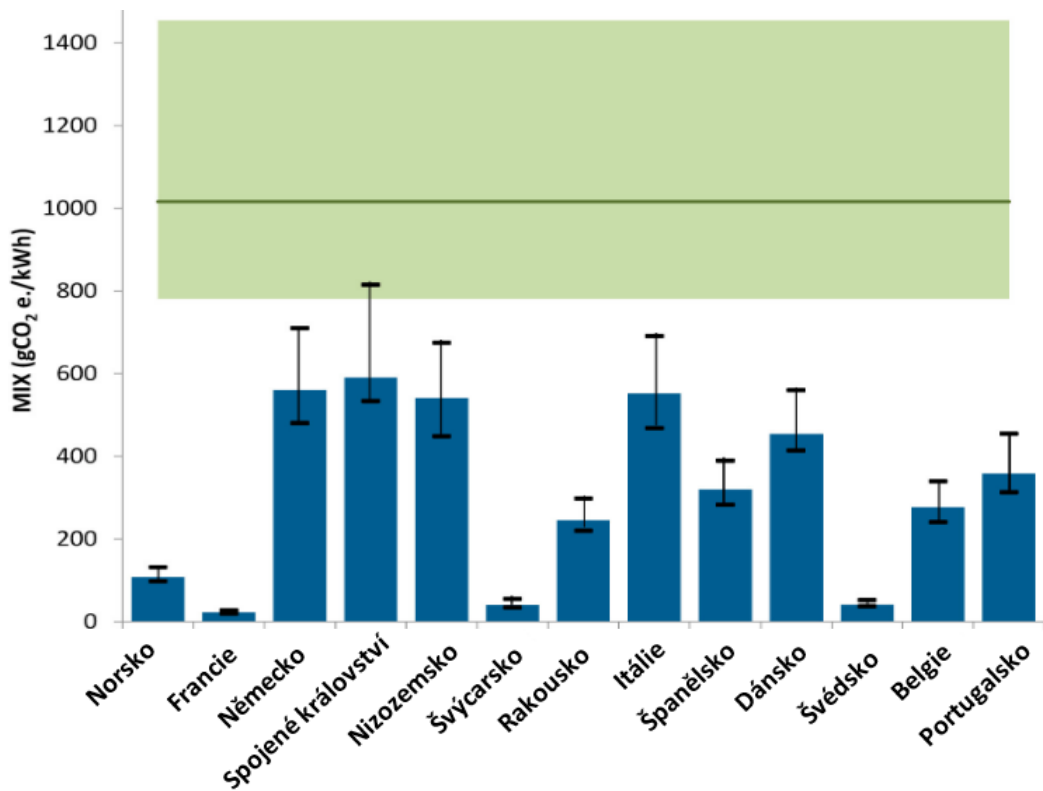
Zdroj: [72]

Graf 6 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při UDDS cyklu



Zdroj: [72]

Graf 7 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při NYCC cyklu



Zdroj: [72]

V grafech 2–7 reprezentují vzniklé emise během výroby MIX elektrické energie tmavě modré sloupce a černé čáry vystupující ze sloupců jsou uvážené chyby z analýzy nejistoty. Pokud se tedy modrý sloupec výroby MIX a tato černá čára nejistoty překrývá s barevným pozadím, je možné, že používáním elektromobilu se produkuje vyšší emise oxidu uhličitého ve fázi TTW (např. infrastruktura nabíjecích stanic). Jestliže se hodnota nejistoty dostane nad barevné rozlišení, tedy celé rozpětí znázorněné černou čarou je nad barevným pruhem, je zcela jisté, že používáním elektromobilu se produkuje více skleníkových plynů než použitím běžného automobilu. Naopak, když se černá čára nedostane do barevného rozpětí, má využívání elektromobilu oproti běžným spalovacím automobilům vliv na snížení produkci oxidu uhličitého [72].

4.1.6 Závěr analýzy WTW

V analýze jsou zahrnuty země Evropy, které mají největší prodej elektromobilů. Pro tyto země bylo vyhodnoceno porovnání produkce skleníkových plynů z elektromobilů a z automobilu se spalovacím motorem. Důvodem bylo zjištění, zda dochází k okamžitému snížení produkce skleníkových plynů do ovzduší při přechodu z běžných automobilů na elektromobily [72].

Většina zemí zahrnutých v analýze má se současnou výrobou elektrické energie dobrý předpoklad k prosazení elektromobilů ve větším měřítku. Používáním elektromobilů se dosahuje menší produkce oxidu uhličitého v dopravě, a to převážně ve velkých městech. Větší část evropských zemí dbá na snížení produkce CO₂, ale Spojené království, Německo a Nizozemsko, tedy země s velkým prodejem elektromobilů, stále používají elektrárny na výrobu elektrické energie s vysokou produkcí emisí do ovzduší. V těchto státech je potřeba zdokonalit infrastrukturu a zvýšit podíl využívání obnovitelných zdrojů pro výrobu elektrické energie ještě před tím, než se prosadí elektromobilita ve větším měřítku. Pokud tyto země nepřizpůsobí zdroje elektrické energie a jejich produkci škodlivých emisí před masivnějším nárůstem využití elektromobilů, je velmi pravděpodobné, že ke snížení produkce skleníkových plynů nedojde. Proto je potřeba dodat, že podle daných výsledků analýzy se v těchto zemích se současným stavem výroby a dodávky elektrické energie nevyřeší problém s produkcí skleníkových plynů při zavedení vyšší elektromobility [72].

Přestože některé země nejsou na okamžitou elektromobilitu dosud připraveny, je důležité nadále pokračovat v elektrifikaci dopravy. V globálnějším měřítku sice nemusí prozatím ulehčit životnímu prostředí, ale lokální znečištění ve větších městech rozhodně klesne. To je velmi důležité z důvodu nynějších vážných důsledků na lidské zdraví.

Další důvodem je snížení závislosti na fosilních palivech a snížení hlučnosti v nákladní dopravě [72].

Závěrem této analýzy je, že je nutné zvýšit výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů a ulehčit životnímu prostředí od skleníkových plynů. Je nezbytné upřednostnit rozvoj odvětví výroby energie před podporou propagace elektromobilů [72].

5. ZÁVĚR

Bakalářská práce popisuje alternativní pohony spalovacích motorů a jejich dopad na životní prostředí. Práce je zaměřena převážně na porovnání alternativních a konvenčních pohonů z hlediska produkce oxidu uhličitého.

V první kapitole jsou popsána alternativní paliva jako je LPG, CNG, biopaliva I., II. a III. generace a vodík.

LPG je vedlejší produkt při těžbě ropy. Jelikož jsou zásoby ropy omezené, nejeví se LPG jako dlouhodobá alternativa, i když vozidla s LPG vykazují pokles produkce CO₂ o cca 15 %.

Zemní plyn neboli CNG má v dnešní době velké využití v individuální i v hromadné dopravě. Je považován za jedno z nejlepších alternativních paliv. Vozidla s CNG dosahují poklesu produkce CO₂ cca o 25 %.

Biopaliva I., II. a III. generace jsou paliva vyrobená z biomasy. Hlavní myšlenkou biopaliv je, že během pěstování surovin potřebných na výrobu biopaliva je odebíráno CO₂ z ovzduší. To by znamenalo, že vyprodukované CO₂ z vozidel je při pěstování zpětně pohlceno rostlinami a produkce CO₂ je tudíž nulová, tím vznikne tzv. koloběh CO₂. Ačkoliv jde o zajímavou teorii, v praxi je to nereálné. Důvodem je, že další produkce oxidu uhličitého vznikají během používání strojů na poli, při dovozu biomasy k výrobě paliva, během výroby paliv a během konečné dodávky do čerpacích stanic. Proto tzv. koloběh oxidu uhličitého nezaručuje nulovou produkci CO₂.

Vozidla poháněná vodíkem jsou v dnešní době stále ve vývoji. Prozatím je problém s jeho skladováním a výrobou. Vyskytuje se sice všude kolem nás, ale nikoliv jako samostatný prvek. Proto je výroba vodíku, jeho dodávka a skladování energeticky náročná a s tím úzce souvisí i další produkce CO₂. Tudíž se také nejedná o tzv. čisté palivo.

I když každé alternativní palivo představuje jakousi úlevu od produkce škodlivých emisí, v současné době plně neřeší problém s produkcí oxidu uhličitého dlouhodobě.

Adeptem na dlouhodobé řešení snižování produkce oxidu uhličitého jsou elektropohony a hybridní pohony. Ty jsou podrobněji popsány ve druhé části první kapitoly. Hybridní pohony silničních vozidel obsahují elektromotor i klasický spalovací motor. I tak dosahují příznivého poklesu produkce oxidu uhličitého. Jedná se převážně o snížení produkce oxidu uhličitého ve městech, kde má přímý nepříznivý důsledek na lidské zdraví. Vozidla s hybridním pohonem tedy ve městech využívají převážně elektromotor. V centrech velkoměst je hlavním představitelem produkce oxidu uhličitého silniční nákladní doprava

a městská hromadná doprava. Z těchto důvodů se zvyšují omezení pro vjezd velkých nákladních vozidel do center měst. Uplatnění pro konečnou dodávku zboží do městských center získávají malá nákladní vozidla s hybridním pohonem nebo elektropohonem. Na městské autobusové linky se nasazují elektrobusy nebo hybridní autobusy. Elektropohony jsou z hlediska marketingu uváděny s nulovou produkcí škodlivých látek, ale je třeba se na jejich produkci emisí podívat z větší blízkosti. Když se vezme v potaz výroba elektrické energie a výroba akumulátorů, tak už se hodnoty produkce CO₂ mohou téměř rovnat konvenčním pohonům. Proto je velmi důležité tyto kroky podrobně přezkoumat z pohledu dlouhodobého řešení poklesu CO₂ a následně jejich produkci CO₂ snížit. To je detailněji popsáno v poslední kapitole, kde jsou porovnány elektropohony a konvenční pohony v celkové produkci CO₂ pomocí analýzy Well to Wheel.

Poslední kapitola bakalářské práce popisuje analýzu Well to Wheel v různých jízdních cyklech pro země Evropy s nejvyšším prodejem elektromobilů. Analýza porovnává produkci oxidu uhličitého z elektromobilu a z automobilu se spalovacím motorem. Jelikož elektromobily nemají přímou produkci škodlivého oxidu uhličitého, analýza je u elektromobilů zaměřena především na vedlejší produkci CO₂ (těžba surovin, výroba a dodávka elektrické energie, účinnost nabíjecích stanic apod.). Lze obecně dodat, že ve městech je zvýšením elektromobility dosažen značný pokles produkce CO₂ ve srovnání se spalovacími motory. To je z hlediska životního prostředí pro města velkou úlevou. Ačkoliv ve výsledku analýzy Well to Wheel země jako je Německo, Nizozemsko a Spojené království neprokázaly pozitivní výsledky, lze závěrem analýzy říci, že momentální růst elektromobility je rozhodně prospěšný pro životní prostředí lokálně, tedy ve městech.

Ovšem při pohledu do budoucnosti je z analýzy jasné, že některé země nejsou zatím připraveny na větší růst elektromobility. Pokud se nezlepší infrastruktura a nezvýší se výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů, zavedení elektromobilů v těchto zemích nezajišťuje snížení produkce skleníkových plynů do ovzduší.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory. Praha: Grada, 2011. ISBN isbn:978-80-247-3475-0.
- [2] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: F. Vlk, 2004. ISBN 8023916025.
- [3] VLK, František. Koncepce motorových vozidel. 1. vyd. Brno: F. Vlk, 2000. ISBN 80-238-5276-0.
- [4] KAMEŠ, Josef. Fosilní paliva. Praha: [s.n.], 2012. ISBN 80-260-1291-7.
- [5] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [6] AUTOMOTOKOUT. Přestavby a servis LPG, CNG a E85 [online]. [cit. 2018-10-18]. Dostupné z: <<http://www.magicacustic.cz/wordpress/alternativni-motorova-paliva/co-jsou-alternativni-paliva/>>.
- [7] ŠTĚRBA, Pavel. Automobily s pohonem na LPG. Brno: Computer Press, 2013. ISBN 978-80-264-0148-3.
- [8] ŠTĚRBA, P., KRYŽICKÝ O. Jak na LPG. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2002. ISBN 80-7226-734-5.
- [9] TAN, J., HAO, L., GE, Y., LI, J., GUO, J., FENG, X. On-road measurement of regulated pollutants from diesel and CNG buses with urea selective catalytic reduction systems. Atmospheric Environment. 2014, 99(x), 1–9. ISSN 13522310.
- [10] DIMITRIOU, P., KUMAR, M., TSUJIMURA, T., SUZUKI, Y. Combustion and emission characteristics of a hydrogen-diesel dual-fuel engine. International Journal of Hydrogen Energy. 2018, 43(29), 13605–13617 [vid. 2018-11-05]. ISSN 0360-3199.
- [11] ADENIYI, O. M., AZIMOV, U., BURLUKA, A. Algae biofuel: Current status and future applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018, 90, 316–335. ISSN 1364-0321.
- [12] SHUMBULO, E., KI, D. Microalgae to biofuels: ‘ Promising ’ alternative and renewable energy , review. 2018, 81, 743–755.
- [13] KANT, S., KIM, S., YOON, J., YANG, Y. Current status and strategies for second generation biofuel production using microbial systems. Energy Conversion and Management. 2017, 148, 1142–1156.

ISSN 0196–8904.

- [14] DECHAMBRE, D., THIEN, J., BARDOW, A. When 2nd generation biofuel meets water – The water solubility and phase stability issue. *Fuel*. 2017, 209(July), 615–623. ISSN 0016-2361.
- [15] *Automobil revue*. *Automobil*. 2018, 62(10), 84. ISSN 1211-9555.
- [16] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
- [17] KAMEŠ, Josef. *Hybridní a elektrický pohon automobilů*. 2. vydání. Praha: J. Kameš, 2015. ISBN 2013-11-14-1.
- [18] BROWNSTEIN, A. M. Electric Vehicles. In: *Renewable Motor Fuels*. Boston: Butterworth-Heinemann, 2015. Kapitola 9, s. 89–99. ISBN 978-0-12-800970-3.
- [19] YILMAZ, Murat. Limitations/capabilities of electric machine technologies and modeling approaches for electric motor design and analysis in plug-in electric vehicle applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, 52, 80–99. ISSN 1364-0321.
- [20] FOLTYŃSKI, Marcin. Electric Fleets in Urban Logistics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014, 151, 48–59. ISSN 18770428.
- [21] ŠKOPEK, Pavel. denik.cz [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<https://www.denik.cz/ekonomika/elektromobilita-v-cesku-roste-jen-zvolnaceka-se-na-podporu-statu-20180523.html>>.
- [22] BLAHÁČEK, Marek. TipCars [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/jak-na-masovejsi-rozsireni-elektromobilu.html>>.
- [23] VEGR, Jaromír. Asociace elektromobility pro Českou republiku [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<http://www.elektromobily-os.cz/proč-elektromobil-4>>.
- [24] ARCHIV. Hospodářské noviny [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<https://archiv.ihned.cz/c1-66171750-jak-vnimate-rozvoj-elektromobility-v-ceske-republice>>.
- [25] JAROLÍMEK, Petr. Průmyslová ekologie [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<http://www.prumyslovaekologie.cz/Dokument/104719/elektromobilita-v-cr-cesty-hledame-a-nachazime.aspx>>.
- [26] Asociace elektromobilového průmyslu [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<https://www.asep.cz/>>.

- [27] ČEZ. E-mobilita [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<http://www.elektromobilita.cz/cs/o-nas.html>>.
- [28] ČEZ. E-mobilita [online]. [cit. 2019-2-10]. Dostupné z: <<http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeni-na-cestach.html>>.
- [29] Asociace elektromobilového průmyslu [online]. [cit. 2019-2-11]. Dostupné z: <<https://www.asep.cz/proc>>.
- [30] ORECCHINI, F., SANTIANGELI, A., ZUCCARI, F., ORTENZI, F., GENOVESE, A., SPAZZAFUMO, G., NARDONE, L. Energy consumption of a last generation full hybrid vehicle compared with a conventional vehicle in real drive conditions. Energy Procedia. 2018, 148, 289–296. ISSN 18766102.
- [31] e.on [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<https://www.eon.cz/radce/jak-funguje-elektricky-a-hybridni-pohon>>.
- [32] Studenta [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<https://www.studenta.cz/video/auta-budoucnosti-jak-funguje-hybridni-pohon/r~e44cce8ee33f11e8a0680cc47ab5f122/>>.
- [33] HOŘČÍK, Jan. HYBRID.CZ [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>>.
- [34] HOŘČÍK, Jan. HYBRID.CZ [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-2-dil>>.
- [35] KIA. Hospodářské noviny [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<https://archiv.ihned.cz/c1-66234730-prehled-hybridnich-automobilu-na-ceskem-trhu>>.
- [36] DUSIL, Tomáš. AUTO.CZ [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/neni-hybrid-cim-jednotlive-systemy-lisi-100314>>.
- [37] KARAOĞLAN, M. U., KURALAY, N. S., COLPAN, C. O. The effect of gear ratios on the exhaust emissions and fuel consumption of a parallel hybrid vehicle powertrain. Journal of Cleaner Production. 2019, 210, 1033–1041. ISSN 09596526.
- [38] ŠVAMBERK, Jiří. denik.cz [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<https://www.denik.cz/auto/vyznate-se-v-zaplave-modernich-hybridu-pro-jistotu-nabizime-tahak-20180709.html>>.
- [39] HALDERMAN, J. D. Automotive fuel and emissions control systems. Fourth edi. Boston: Pearson, nedatováno. ISBN 0133799492.

- [40] Science for a Healty Planet and Safer Wolrd [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/series-vs-parallel-drivetrains>>.
- [41] DUSIL, Tomáš. AUTO.CZ [online]. [cit. 2019-3-4]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/hybridni-pohony-plug-in-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-123123>>.
- [42] Toyota [online]. [cit. 2019-3-2]. Dostupné z: <<https://www.toyota.cz/hybrid-innovation/index.json>>.
- [43] SAJDL, Jan. autolexicon.net [online]. [cit. 2019-3-3]. Dostupné z: <<http://www.autolexicon.net/cs/articles/micro-hybrid/>>.
- [44] WAGENKNECHT, Martin. fdrive.cz [online]. [cit. 2019-3-3]. Dostupné z: <<https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-1857>>.
- [45] Ford [online]. [cit. 2019-3-4]. Dostupné z: <<https://www.ford.cz/pred-nakupem/objevte/hybrid-electric/mild-hybrid>>.
- [46] BABU, A., ASHOK, S. Energy and fuel efficient parallel mild hybrids for urban roads. Energy Conversion and Management. 2016, 121, 305–320. ISSN 01968904.
- [47] BABU, A., ASHOK, S. Improved parallel mild hybrids for urban roads. 2015, 144, 276–283.
- [48] Caradvice [online]. [cit. 2019-3-4]. Dostupné z: <<https://www.caradvice.com.au/279850/hybrids-explained-mild-v-full-v-plug-in-v-extended-range-electric-vehicle/>>.
- [49] AUTOTRADER. Autotrader [online]. [cit. 2019-3-4]. Dostupné z: <<https://www.autotrader.com/car-reviews/mild-or-full-hybrid-distinctions-defined-36605>>.
- [50] Toyota [online]. [cit. 2019-3-5]. Dostupné z: <<https://www.toyota.cz/new-cars/prius-plugin/index.json>>.
- [51] DENG, T., LUO, J. L., WANG, M. M., LI, J. Y. A review on energy management strategies for plug-in hybrid electric vehicles. Power Engineering. 2016, 53, 743–748.
- [52] XIE, S., HU, X., LIU, T., QI, S., LANG, K., LI, H. Predictive vehicle-following power management for plug-in hybrid electric vehicles. Energy. 2019, 166, 701–714. ISSN 03605442.

- [53] Zpravodajství Evropský parlament [online]. [cit. 2019-3-5]. Dostupné z: <<http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180706STO07407/jak-se-dari-snizovat-emise-co2-v-eu-infografika>>.
- [54] e.on [online]. [cit. 2019-3-5]. Dostupné z: <<https://www.eon.cz/o-nas/energie-plus/emobilita/-a76395--8pPyzJ-6/file>>.
- [55] KAPUSTIN, A., RAKOV, V. Methodology to Evaluate the Impact of Hybrid Cars Engine Type on their Economic Efficiency and Environmental Safety. Transportation Research Procedia. 2017, 20(September 2016), 247–253. ISSN 23521465.
- [56] WEISS, M., ZERFASS, A., HELMERS, E. Fully electric and plug-in hybrid cars – An analysis of learning rates, user costs, and costs for mitigating CO 2 and air pollutant emissions. Journal of Cleaner Production. 2019, 212, 1478–1489. ISSN 0959-6526.
- [57] HUANG, Y., SURAWSKI, N. C., ORGAN, B., ZHOU, J. L., TANG, O. H. H., CHAN, E. F. C. Science of the Total Environment Fuel consumption and emissions performance under real driving: Comparison between hybrid and conventional vehicles. Science of the Total Environment. 2019, 659, 275–282. ISSN 0048-9697.
- [58] VAN VLIET, O., BROUWER, A. S., KURAMOCHI, T., VAN DEN BROEK, M., FAAIJ, A. Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars. Journal of Power Sources. 2011, 196(4), 2298–2310. ISSN 03787753.
- [59] World Health Organization [online]. [cit. 2019-3-9]. Dostupné z: <<https://www.who.int/airpollution/ambient/en/>>.
- [60] Scania Česká republika [online]. [cit. 2019-3-12]. Dostupné z: <https://www.scania.com/cz/cs/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2015/10/rel-scania_hybridrevolucepromstskoudistribuce-60-502076.html>.
- [61] Scania Group [online]. [cit. 2019-3-12]. Dostupné z: <<https://www.scania.com/group/en/silent-overnight-deliveries-test-uses-hybrid-truck/>>.
- [62] SCANIA, New. Scania hybrid G 320 [online]. 2016, 6–8. [cit. 2019-3-12]. Dostupné z: <https://www.scania.com/content/dam/scanianoe/market/se/products-and-services/trucks/scania-hybrid/Vehiclespec_Hippogriffin_v2.pdf>.

- [63] TOYOTA. Hospodářské noviny [online]. [cit. 2019-3-12]. Dostupné z: <<https://byznys.ihned.cz/c1-65713610-prodej-hybridu-v-cesku-vzrostl-letos-zhruba-dvojnásobne-nejuspesnejsi-je-nadale-toyota>>.
- [64] SRB, Luboš. elektrickevozy.cz [online]. [cit. 2019-3-12]. Dostupné z: <<https://elektrickevozy.cz/clanky/jiz-letos-ma-byt-temer-50-prodanych-vozu-toyota-hybridnich>>.
- [65] Evropská komise. Bílá kniha. 2013, (2005), 2007–2013.
- [66] BURCHART-KOROL, D., JURSOVA, S., FOLEGA, P., KOROL, J., PUSTEJOVSKA, P., BLAUT, A. Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. Journal of Cleaner Production. 2018, 202(2014), 476–487. ISSN 09596526.
- [67] Národní akční plán čisté mobility (NAPCM). 2015, (Nap Cm).
- [68] Parlamentní listy [online]. [cit. 2019-3-10]. Dostupné z: <<https://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/DPP-dal-zelenou-plne-elektrifikaci-linky-c-140-Elektrobuses-v-Praze-pribudou-531688>>.
- [69] Dopravní podnik hlavního města Praha [online]. [cit. 2019-3-12]. Dostupné z: <<http://www.dpp.cz/dpp-dal-zelenou-plne-elektrifikaci-linky-c-140-elektrobuses-v-praze-pribudou/>>.
- [70] Dopravní podnik hlavního města Praha [online]. [cit. 2019-3-20]. Dostupné z: <<http://www.dpp.cz/dopravni-podnik-otestuje-hybridni-autobus-volvo-7900-lah/>>.
- [71] Sdružení dopravních podniků ČR [online]. [cit. 2019-3-12]. Dostupné z: <http://www.sdp-cr.cz/object/dpp-otestuje-hybridni-autobus-volvo-spotrebuje-otretinu-mene-paliva-nez-bezne-autobusy-23260/doc_2c.htm>.
- [72] CANALS CASALS, L., MARTINEZ-LASERNA, E., AMANTE GARCÍA, B., NIETO, N. Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction. Journal of Cleaner Production. 2016, 127, 425–437. ISSN 09596526.
- [73] CAMPANARI, S., MANZOLINI, G., GARCIA DE LA IGLESIA, F. Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulations. Journal of Power Sources. 2009, 186(2), 464–477. ISSN 03787753.
- [74] EUROSTAT-EUROPEAN COMMISSION, Eurostat & European Commission. Energy, transport and environment indicators. 2011. ISBN 9789279163036.

- [75] MORENO RUIZ, E., LÉVOVÁ, T., BOURGAULT, G., WERNET, G. Documentation of changes implemented in ecoinvent version 3.1. Ecoinvent. 2014, 3.
- [76] XU, G., LI, W., XU, K., SONG, Z. An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles. *Energies*. 2011, 4(9), 1461–1477. ISSN 19961073.
- [77] KÜHLWEIN, J., GERMAN, J., BANDIVADEKAR, A. Development of test cycle conversion factors among worldwide light duty vehicle CO2 emission standards. *Icct*. 2014.
- [78] MESSAGIE, Maarten. Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles. *Transport and Environment*. 2017, 1–14.
- [79] BADIN, F., BERR, F. L., BRIKI, H., PETIT, M., MAGAND, S., CONDEMINE, E. Evaluation of EVs energy consumption influencing factors, *Evs27*. 2013, 6, 1–12. ISSN 20326653.

7. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 Zákaz vjezdu s LPG pohonem B50-LPG</i>	<i>7</i>
<i>Obrázek 2 Pohon elektromobilu.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 3 Příklady nákladních elektrických vozidel.....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 4 Lokace dobíjecích stanic na území ČR k 10.02.2019</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 5 Schéma sériového hybridního pohonu.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 6 Schéma paralelního hybridního pohonu</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 7 Schéma kombinovaného hybridního pohonu.....</i>	<i>22</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 Označení a popis pohonů vozidel</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 2 Přiřazená distribuce ke každé z proměnných obsažených v analýze Monte Carlo</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 3 Parametry považované v analýze Monte Carlo za konstantní</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 4 Hlavní charakteristiky každého jízdního cyklu.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 5 Emise WTW spalovacího motoru (gCO_{2e}/km) při různých jízdních cyklech.....</i>	<i>37</i>

Seznam grafů

<i>Graf 1 Produkce skleníkových plynů/kWh odvozené z nabíjení elektromobilu (WTT) s ohledem na elektrickou energii MIX, emise, které vnikají před výrobou elektrické energie, během výroby a následně po výrobě a vliv účinnosti systému dobíjení elektromobilu.....</i>	<i>38</i>
<i>Graf 2 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při NEDC cyklu.....</i>	<i>40</i>
<i>Graf 3 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při WLTC cyklu</i>	<i>40</i>
<i>Graf 4 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při US06 cyklu</i>	<i>41</i>
<i>Graf 5 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při HWFET cyklu.....</i>	<i>41</i>
<i>Graf 6 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při UDDS cyklu</i>	<i>42</i>

Graf 7 Produkce skleníkových plynů/kWh při výrobě elektrické energie pro elektromobil (WTT) v porovnání s konvenčním pohonem při NYCC cyklu..... 42