

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ
A KOLEJOVÝCH VOZIDEL**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**LEHKÝ UŽITKOVÝ ELEKTROMOBIL S PRODLUŽOVAČEM DOJEZDU
LIGHT COMMERCIAL ELECTRIC VEHICLE WITH RANGE EXTENDER**

Autor: Bc. Martin Suchý

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

PRAHA 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Suchý** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **459866**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Lehký užitkový elektromobil s prodlužovačem dojezdu

Název diplomové práce anglicky:

Light commercial electric vehicle with range extender

Pokyny pro vypracování:

Provedte proměření typických tras České pošty při doručování zásilek z depa Rudná a vypočítejte jejich energetickou náročnost. Provéřte citlivost výsledků na neznámé hodnoty jízdních odporů. Navrhněte parametry ideálního vozidla (druh pohonu, výkon, kapacitu baterií ap.), které by vyhovovalo požadavkům doručování zásilek z depa Rudná a umožňovalo jízdu na čistě elektrický pohon v zastavěných oblastech. Vezměte v úvahu zimní provoz a stárnutí baterie. Zpracujte rešerši dostupných vozidel s elektrickým pohonem vybavených RE a posuďte jejich vhodnost pro Českou poštu. Navrhněte dobíjecí infrastrukturu v depu Rudná.

Seznam doporučené literatury:

Internet (Hybrid.cz aj.) Přednášky Hybridní pohony Konzultace u vybraných provozovatelů Vybrané bakalářské práce (Diviš, Štěpán, Balashov)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

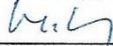
Ing. Josef Morkus, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

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


Datum zadání diplomové práce: **27.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce:


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

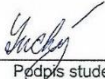

doc. Ing. Oldřich Víttek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


30.4.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a to pouze s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Děkuji mému vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Morkusovi, CSc., za cenné připomínky, rady a čas, který mi věnoval při psaní mé diplomové práce.

Dále děkuji pracovníkům odboru elektrotechniky za poskytnuté informace a poznámky při řešení elektrické výzbroje Range Extenderu. Též bych chtěl poděkovat Ing. Miloslavu Emrichovi, Ph.D., za vypůjčení měřicí jednotky CarScout a za konzultace týkající se zpracování dat. Také děkuji Ing. Jánovi Tomlainovi za zprovoznění komunikace měřicího zařízení CarScout s diagnostickým rozhraním dodávky Peugeot Boxer.

Mé poděkování též patří všem pracovníkům České pošty, kteří spolupracovali při tvorbě této diplomové práce.

Nakonec bych chtěl poděkovat zástupcům firmy Ford, Mercedes-Benz a HelpReg za poskytnutí technických informací.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem parametrů ideálního vozidla, které by bylo vhodné pro podmínky provozu depa Rudná, a zároveň by umožňovalo během doručování jízdu na čistě elektrický pohon v zastavěných oblastech. Ve výpočtu je zohledněn zimní provoz a stárnutí baterie. Pro návrh parametrů vozidla jsou změřeny typické rozvázkové trasy České pošty a též je vyhodnocena jejich energetická náročnost. Také je analyzován vliv neznámých vstupních parametrů výpočtu. Na základě získaných poznatků je nejprve provedena analýza použitelnosti elektromobilu. Posléze jsou navrženy parametry pohonného ústrojí elektromobilu s prodlužovačem dojezdu. Následně jsou zhodnocena dostupná vozidla typu Range Extender pro podmínky provozu depa Rudná. Nakonec je navržena nabíjecí infrastruktura v depu Rudná.

Klíčová slova

Elektromobil, elektromobil s prodlužovačem dojezdu, Česká pošta, doručovací trasy, energetická náročnost, baterie, nabíjecí infrastruktura

Annotation

The diploma thesis is focused on designing parameters of an ideal vehicle that it will be suitable for the operating conditions of the Rudná depot and simultaneously it will be able to run only on electricity in developed areas during a delivery. Winter operations and aging of a battery are included in the calculation. There are measured typical delivery routes of the Czech Post for designing the parameters of the vehicle and there is also an evaluation of their energy intensity. The impact of unknown input parameters is also analysed. Based on these data, the analysis of usability of Battery Electric Vehicle is carried out. Subsequently, the parameters of Range Extender are designed. Then, electric vehicles with Range Extender are examined in operating conditions of the Rudná depot. Finally, the charging infrastructure is designed in the Rudná depot.

Keywords

Battery Electric Vehicle, Range Extender, Czech Post, delivery routes, energy intensity, battery, charging infrastructure

Obsah

Seznam symbolů	10
1 Úvod.....	14
2 Vozidla s elektrickým a hybridním pohonem.....	17
2.1 Hybridní automobil	17
2.1.1 Rozdělení dle míry elektrifikace.....	17
2.1.1.1 Mild hybrid.....	17
2.1.1.2 Full hybrid	17
2.1.1.3 Plug-in hybrid	18
2.1.1.4 Hybridní elektromobil	18
2.1.1.5 Range Extender	18
2.1.2 Rozdělení dle konstrukčního uspořádání.....	18
2.1.2.1 Sériový hybrid	18
2.1.2.2 Paralelní hybrid	19
2.1.2.3 Kombinovaný hybrid.....	19
2.2 Elektromobil.....	19
3 Přehled lehkých užitkových elektromobilů s prodlužovačem dojezdu	20
3.1 Nedodávkové aplikace	21
3.1.1 W-15	21
3.1.2 LEVC TX (TX5).....	22
3.2 Dodávkové aplikace	24
3.2.1 Opel Vivaro e-Concept	24
3.2.2 Emerald t-001	25
3.2.3 VN5 (LEVC LCV).....	27
3.2.4 Ford Transit Custom Plug-In Hybrid.....	28
3.2.5 Renault Kangoo Z.E. Hydrogen	30
3.2.6 Renault Master Z.E. Hydrogen	31

4	Přehled lehkých užitkových elektromobilů	33
4.1	StreetScooter	33
4.2	Volkswagen e-Crafter	35
4.3	Mercedes-Benz eSprinter	36
4.4	Renault Master Z.E.	37
5	Měření a zpracování dat jízdních cyklů	38
5.1	Česká pošta.....	38
5.2	Podmínky měření	39
5.2.1	Depo Rudná	39
5.2.2	Peugeot Boxer.....	40
5.3	Měření a zpracování dat	41
5.3.1	Popis měření a měřicí zařízení.....	41
5.3.2	Filtrace a úprava rychlostního profilu.....	42
5.3.3	Filtrace a úprava profilu otáček motoru.....	51
5.3.4	Stoupání vozovky	51
5.3.5	Hmotnost nákladu	53
5.3.6	Sjednocení naměřených dat	53
6	Energetická bilance na kolech naftové dodávky.....	54
6.1	Teoretický rozbor výpočtu energetické bilance na kolech vozidla.....	55
6.1.1	Jízdní odpory.....	55
6.1.1.1	Odpor valivý	56
6.1.1.2	Odpor vzduchu	57
6.1.1.3	Odpor stoupání	58
6.1.1.4	Odpor zrychlení	58
6.1.1.5	Hnací síla na kolech vozidla.....	60
6.1.2	Energetická bilance jízdních odporů na kolech vozidla	61
6.1.2.1	Energie valivého odporu.....	61

6.1.2.2	Energie odporu vzduchu	62
6.1.2.3	Energie odporu stoupání	62
6.1.2.4	Energie odporu zrychlení	63
6.1.2.5	Energie na kolech vozidla	63
6.1.3	Výkon na kolech vozidla	64
6.2	Analýza časového kroku výpočtu a dat rychlosti.....	64
6.3	Popis a vyhodnocení jízdních cyklů.....	66
6.3.1	Mínoměstský cyklus	67
6.3.2	Městský cyklus	72
6.3.3	Příměstský cyklus	77
6.3.4	Shrnutí energetické bilance naměřených cyklů	82
6.4	Citlivostní analýza vstupních parametrů	83
6.4.1	Citlivostní analýza součinitele valivého odporu	83
6.4.2	Citlivostní analýza součinitele odporu vzduchu	83
6.4.3	Citlivostní analýza součinitele rotačních hmot	84
7	Analýza použitelnosti elektromobilu	91
7.1	Výpočetní model elektromobilu.....	91
7.2	Návrh kapacity trakční baterie	96
7.3	Zhodnocení použitelnosti elektromobilu.....	101
8	Elektromobil s prodlužovačem dojezdu a jeho vhodné parametry.....	102
8.1	Výpočetní model elektromobilu s prodlužovačem dojezdu.....	102
8.2	Velikost kapacity trakční baterie a výkonu spalovacího motoru	111
8.2.1	Návrh jmenovité kapacity baterie a výkonu spalovacího motoru.....	111
8.2.2	Ověření navržených parametrů	113
8.3	Doporučený výkon trakčního elektromotoru	123
8.4	Vhodnost dostupných elektromobilů s prodlužovačem dojezdu	125
9	Nabíjecí infrastruktura	128

9.1	Návrh nabíjecí infrastruktury depa Rudná	130
10	Závěr	136
	Citovaná literatura.....	139
	Seznam obrázků.....	151
	Seznam tabulek	153
	Seznam příloh	155

Seznam symbolů

s_{AB}	$[-]$	Stoupání mezi body A, B
h_A, h_B	$[m \text{ n. m.}]$	Nadmořská výška v bodech A, B
x_A, x_B	$[m]$	Vzdálenost bodů A, B
α	$[^\circ]$	Úhel stoupání vozovky
$v, v(t)$	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost vozidla
a	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení vozidla
O_f	$[N]$	Odpor valivý
O_v	$[N]$	Odpor vzduchu
O_a	$[N]$	Odpor zrychlení
O_α	$[N]$	Odpor stoupání
F_k	$[N]$	Hnací síla na kolech vozidla
G	$[N]$	Tíhová síla
g	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
f	$[-]$	Součinitel valivého odporu
m	$[kg]$	Celková hmotnost – Peugeot Boxer
m_{poh}	$[kg]$	Pohotovostní hmotnost – Peugeot Boxer
$m_{zatižení}$	$[kg]$	Hmotnost zatížení
$m_{řidič}$	$[kg]$	Hmotnost řidiče
$m_{spolujezdce}$	$[kg]$	Hmotnost spolujezdce
n	$[-]$	Počet spolujezdců
$m_{balík}$	$[kg]$	Aktuální hmotnost balíků
s	$[-]$	Stoupaní
c_x	$[-]$	Součinitel odporu vzduchu
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	Hustota vzduchu
S_x	$[m^2]$	Čelní plocha vozidla
$h_{vozidla}$	$[m]$	Celková výška vozidla
$h_{světla}$	$[m]$	Světlá výška vozidla
$b_{vozidla}$	$[m]$	Celková šířka vozidla bez zrcátek
δ	$[-]$	Součinitel rotačních hmot – Peugeot Boxer
I_{sm}	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti spalovacího motoru

I_p	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti převodovky
I_k	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti kola vozidla
I_{vh}	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti výstupního hřídele
i_c	$[-]$	Celkový převod
i_r	$[-]$	Stálý převod rozvodovky
r_d	$[m]$	Dynamický poloměr kola
i_p	$[-]$	Převod převodovky
s_p, s_k	$[m]$	Počáteční, koncový bod intervalu (dráha)
t_p, t_k	$[s]$	Počáteční, koncový bod intervalu (čas)
v_p, v_k	$[m \cdot s^{-1}]$	Počáteční, koncová rychlost intervalu
$v_{interval}$	$[m \cdot s^{-1}]$	Konstantní rychlost intervalu
E_f	$[J]$	Energie valivého odporu
E_v	$[J]$	Energie odporu vzduchu
E_α	$[J]$	Energie odporu stoupání
E_a	$[J]$	Energie odporu zrychlení
E_{kolo}	$[J]$	Energie na kolech dodávky Peugeot Boxer
P_{kolo}	$[W]$	Výkon na kolech dodávky Peugeot Boxer
n_m	$[ot \cdot min^{-1}]$	Otáčky spalovacího motoru
n_k	$[ot \cdot min^{-1}]$	Otáčky kol vozidla
ω_k	$[s^{-1}]$	Úhlová rychlost kol vozidla
r_v	$[m]$	Valivý poloměr kola
r_k	$[m]$	Konstantní poloměr kola
$\omega_{k,ideal}$	$[s^{-1}]$	Idealizovaná úhlová rychlost kol vozidla
$n_{k,ideal}$	$[ot \cdot min^{-1}]$	Idealizované otáčky kol vozidla
i_{m-k}	$[-]$	Úměrnost mezi otáčkami motoru a kol vozidla
Δn_m	$[ot \cdot min^{-1}]$	Inkrement otáček motoru
m_{komp_nafta}	$[kg]$	Hmotnost komponent naftové dodávky
m_{komp_bev}	$[kg]$	Hmotnost komponent elektromobilu
m_{poh_bev}	$[kg]$	Pohotovostní hmotnost elektromobilu
m_{bev}	$[kg]$	Celková hmotnost elektromobilu
I_{em}	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti elektromotoru

δ_{bev}	[-]	Součinitel rotačních hmot elektromobilu
$E_{kolo_{bev}}$	[J]	Energie na kolech elektromobilu
$E_{baterie_{bev}}$	[J]	Energie baterie elektromobilu
η_r	[-]	Účinnost stálého převodu rozvodovky
η_{rp}	[-]	Účinnost redukčního převodu
η_{em}	[-]	Účinnost elektromotoru
η_{mt}	[-]	Účinnost trakčního měniče
η_{mo}	[-]	Účinnost oddělovacího měniče
η_{mg}	[-]	Účinnost měniče generátoru
$\eta_{b_{vyb}}$	[-]	Účinnost vybíjení baterie
$\eta_{b_{nab}}$	[-]	Účinnost nabíjení baterie
η_g	[-]	Účinnost generátoru
η_{rek}	[-]	Účinnost rekuperace
$E_{C_{baterie_{bev_{trakce}}}}$	[kWh]	Celková energie baterie pro trakci elektromobilu
$P_{bat_{top}}$	[W]	Výkon baterie pro vyhřívání kabiny
$E_{baterie_{bev_{top}}}$	[J]	Energie baterie pro vyhřívání kabiny elektromobilu
$E_{C_{baterie_{bev_{top}}}}$	[kWh]	Celková energie baterie pro vyhřívání kabiny elektromobilu
$E_{C_{baterie_{bev}}}$	[kWh]	Celková energie baterie pro trakci a vyhřívání kabiny elektromobilu
$E_{rezerva}$	[kWh]	Energetická rezerva baterie elektromobilu
$E_{stara_{baterie_{bev_{vyuz}}}}$	[kWh]	Využitelná kapacita staré baterie elektromobilu
$E_{baterie_{bev_{jmenovita}}}$	[kWh]	Jmenovitá kapacita nové baterie elektromobilu
$m_{komp_{re}}$	[kg]	Hmotnost komponent Range Extenderu
$m_{poh_{re}}$	[kg]	Pohotovostní hmotnost Range Extenderu
m_{re}	[kg]	Celková hmotnost Range Extenderu
δ_{re}	[-]	Součinitel rotačních hmot Range Extenderu
$E_{kolo_{re}}$	[J]	Energie na kolech Range Extenderu

$E_{meziobvod_poh}$	[J]	Energie pro pohon Range Extenderu bilancovaná v meziobvodu
P_{sm}	[W]	Výkon spalovacího motoru Range Extenderu v bodě optimální měrné spotřeby paliva
$E_{sm_meziobvod}$	[J]	Energie spalovacího motoru Range Extenderu bilancovaná v meziobvodu
$E_{sm_meziobvod_poh}$	[J]	Energie spalovacího motoru pro pohon Range Extenderu bilancovaná v meziobvodu
$E_{baterie_meziobvod_poh}$	[J]	Energie baterie pro pohon Range Extenderu bilancovaná v meziobvodu
$E_{baterie}$	[J]	Energie baterie Range Extenderu
E_{rek}	[J]	Energie baterie Range Extenderu získaná rekuperací
P_{em}	[W]	Výkon elektromotoru Range Extenderu
P_{ac_min}	[kW]	Minimální výkon AC wallboxu
η_{m_pal}	[-]	Účinnost palubní nabíječky
t_{hod}	[h]	Čas nočního nabíjení
P_0	[kW]	Minimální příkon AC wallboxu
n_{etapa}	[-]	Počet vozidel etapy
P_{0_etapa}	[kW]	Minimální příkon etapy AC wallboxů
$t_{náklad}$	[h]	Čas nakládky
P_{dc_min}	[kW]	Minimální výkon DC nabíjení
P_{dc_w}	[kW]	Výkon DC wallboxu
P_{dc_stan}	[kW]	Výkon DC stanice

1 Úvod

Často diskutovaným tématem automobilového průmyslu i laické veřejnosti se v posledních letech stala otázka náhrady vozidla se spalovacím motorem vozidlem čistě elektrickým či hybridním. Důvodů vzniku této problematiky je několik. Jedna z těchto příčin spočívá ve ztenčujících se zásobách ropy, která je dominantním zdrojem energie pro pohon vozidel se spalovacím motorem. Existuje řada výzkumných prací snažících se určit počet let, pro které bude ropa pro lidstvo stále dostupná. Výsledky těchto studií se mezi sebou navzájem liší a lze dohledat optimistické ale i pesimistické závěry budoucí dostupnosti ropy. Z dlouhodobého hlediska rostoucí cena nafty a benzínu [1] též motivuje spotřebitele k použití alternativních zdrojů energie.

Hlavním podnětem výroby elektromobilů a hybridních vozidel se v současnosti staly škodliviny vznikající během spalovacího procesu motoru. Během provozu vozidla se spalovacím motorem se do ovzduší dostávají látky, které jsou lidskému tělu škodlivé. Mezi tyto látky patří oxidy dusíku, oxid uhelnatý, oxid siřičitý, nespálené uhlovodíky a pevné částice v podobě sazí a anorganických látek. Dále v průběhu spalování vzniká oxid uhličitý, který vyvolává skleníkový efekt a může mít nepříznivý dopad na globální prostředí. K omezení vzniku a působení zmíněných látek byla vydána řada opatření, kterými jsou nuceni se výrobci automobilů řídit. [2]

Ve státech Evropské unie platí norma, která vymezuje hraniční hodnoty pro oxidy dusíku, oxid uhelnatý, nespálené uhlovodíky a pevné částice. Tento předpis označovaný jako Euro musí splnit všechna nově vyrobená vozidla. Limitní hodnoty jsou v průběhu let zpřísněny a v době psaní této diplomové práce platí verze normy označovaná jako Euro 6. [3]

V Evropské unii platí též omezení pro produkci oxidu uhličitého pro nově registrovaná vozidla. Průměrné emise nově prodaných vozidel v rámci celé Evropské unie nesmí překročit mezní hodnotu, která je též zpřísněna. Pro osobní vozidla od roku 2020 [4] platí limit produkce oxidu uhličitého $95 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$ [4], který musí v tomto roce splnit 95 % [4] prodaných vozidel výrobce. Od roku 2021 [4] musí této hodnotě vyhovět veškerá nově registrovaná vozidla. Emisní limit nově prodaných dodávek je naopak od roku 2020 [5] zpřísněn na hodnotu $147 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$ [5]. Pro jednotlivé automobilové výrobce je posléze závazná limitní hodnota určena na základě průměrné hmotnosti

prodaných vozidel. Při nedodržení stanovené limitní hodnoty musí výrobce zaplatit za překročení tvorby emisí oxidu uhličitého pokutu. [5]

Zpřísňuje se i samotný způsob zkoušení nově prodáváných vozidel. V roce 2017 [6] začal platit nový homologační cyklus WLTC, který nahradil předchozí testování vozidel dle NEDC. WLTC byl navržen dle získaných údajů skutečných jízdních cyklů [7]. Výsledné hodnoty mají posléze více odpovídat reálnému provozu vozidla. Kromě tohoto laboratorního testování jsou v současnosti dále emise vozidel zjišťovány i v podmínkách běžného provozu, které je známo pod zkratkou RDE. Při tomto měření jsou kontrolovány pevné částice a oxidy dusíku. Oproti laboratorním podmínkám může totiž motor produkovat zcela odlišné hodnoty emisí. Mezní hodnoty RDE jsou určeny hodnotami nového laboratorního testu a hodnotou faktoru shody, který je v anglické literatuře označován jako Conformity Factor [8]. Pomocí tohoto faktoru je zohledněna skutečnost, že při měření v reálném provozu nelze vyvodit přesně definované a opakovatelné podmínky měření jako v případě laboratorního testování [9]. Zavedení WLTC a RDE donutilo výrobce vynaložit další finanční prostředky pro splnění homologace svých vozidel. [6]

Tyto emisní opatření nutí producenty vozidel k prodeji elektromobilů či hybridních vozidel, pomocí kterých nepřekročí zmíněné limity. Prodej elektromobilů a hybridních vozidel je ovšem doposud nízký kvůli vysoké výrobní ceně. Za účelem dostatečného počtu prodaných vozidel s elektrickým pohonem může být v budoucnu jejich prodej dotován samotným výrobcem. Tento fakt může vést k nárůstu cen vozidel se spalovacím motorem a ovlivnit tak chování zákazníků na trhu. Pro velké doručovací firmy, mezi které patří Česká pošta, by zdražení vozidel se spalovacím motorem znamenalo zvýšení finančních nákladů při obnově vozového parku. Je též možné, že bude legislativně vyžadováno po veřejných institucích mít ve svém vozovém parku určité procento čistě elektrických či hybridních vozidel. Dalším faktorem je vznik ekologických zón, které již zavedla celá řada evropských zemí s různými pravidly, poplatky a pokutami za jejich nesplnění. S omezeným vjezdem vozidel se spalovacími motory v minulosti uvažovalo též i vedení Prahy. [10]

V této diplomové práci je analyzována možnost nasazení elektromobilu či verze s prodlužovačem dojezdu pro podmínky poštovní a doručovatelské firmy České pošty. Nejprve se tato práce zaměřuje na vymezení pojmu elektromobilu a jednotlivých

kategorií hybridních vozidel. Posléze je v další části vytvořen přehled užitkových vozidel v podobě elektromobilu s prodlužovačem dojezdu. Na tuto kapitolu navazuje souhrn dodávkových elektromobilů. Další kapitola pojednává o samotném měření jízdních cyklů České pošty a zpracování naměřených dat. Naměřené hodnoty slouží pro vyhodnocení potřebné energie a výkonu na překonání jízdních odporů na kolech vozidla. Jednotlivé výsledky energetické náročnosti s teoretickým rozbohem výpočtu jsou rozebrány v kapitole 6. Získané poznatky slouží pro samotný návrh parametrů vhodného typu vozidla, které by umožňovalo rozvážku na všech změřených trasách v rámci provozu depa Rudná, a zároveň by byl umožněn čistě elektrický provoz během doručování. Nejprve je analyzováno použití elektromobilu. Po zhodnocení použitelnosti elektromobilu je proveden samotný návrh parametrů pohonného ústrojí elektromobilu s prodlužovačem dojezdu. Výsledek návrhu je porovnán s prodávanými dodávkovými elektromobily s prodlužovačem dojezdu. V poslední kapitole je navržena nabíjecí infrastruktura v depu Rudná.

2 Vozidla s elektrickým a hybridním pohonem

Z důvodu zavedení rozdílných pojmů jednotlivých kategorií vozidel s elektrickým a hybridním pohonem různými autory jsou v této kapitole stručně popsány pojmy, se kterými se lze setkat při řešení problematiky elektromobilů či hybridních vozidel. Též tato kapitola definuje, který druh vozidla bude v této diplomové práci analyzován.

2.1 Hybridní automobil

Vozidlo s hybridním pohonem je označováno takové, které má alespoň dva zdroje energie a odpovídající soustrojí transformující tuto energii na pohon vozidla. V případě hybridních automobilů se jedná převážně o kombinaci elektrické baterie a palivové nádrže jako zdroje energie. Elektromotor a spalovací motor posléze přeměňují tuto energii na trakční práci. Hybridní automobily lze rozdělit dle míry elektrifikace a podle uspořádání pohonu. Tato rozdělení jsou na sobě nezávislá. Teprve po definování polohy elektromotoru a těchto dvou informací je vozidlo zcela popsáno. [11]

2.1.1 Rozdělení dle míry elektrifikace

Dle míry elektrifikace lze hybridní automobily rozdělit do pěti základních skupin.

2.1.1.1 Mild hybrid

První kategorií je Mild hybrid. Pro pohon slouží téměř vždy spalovací motor, kdežto elektromotor napomáhá spalovacímu motoru pouze v okamžiku vysokých výkonů. Tento druh vozidla tedy není určen na čistě elektrický režim. Baterie lze dobíjet pouze brzdou energií či spalovacím motorem. [12] [13]

2.1.1.2 Full hybrid

Tato varianta umožňuje jízdu vozidla pomocí spalovacího motoru, elektromotoru či jejich kombinací. Baterie lze opět dobíjet pouze rekuperací nebo spalovacím motorem. Tedy je nelze dobíjet z elektrické sítě. Od této míry hybridizace musí mít jednotlivá příslušenství, mezi které patří například posilovač brzd či řízení, elektrický pohon. Čistě elektrický dojezd je v řádu několika kilometrů. [12] [13]

2.1.1.3 Plug-in hybrid

Na rozdíl od Full hybridu lze vozidla označovaná jako Plug-in hybridy dobíjet z elektrické sítě. Elektrické baterie jsou též dimenzovány na delší dojezdy v řádu desítek kilometrů. [12] [13]

2.1.1.4 Hybridní elektromobil

Následují dvě kategorie vozidel, která jsou primárně určena k čistě elektrickému provozu a spalovací motor slouží k prodloužení dojezdu. Prvním z nich je hybridní elektromobil. Spalovací motor slouží k výrobě elektrické energie pro nabití baterie či má možnost mechanického připojení k hnací nápravě a tedy je možný nouzový dojezd na spalovací motor. [12] [13]

2.1.1.5 Range Extender

Range Extender, který je v české literatuře označován jako elektromobil s prodlužovačem dojezdu, využívá primárně ke svému pohonu elektrickou energii uloženou v bateriích. Spalovací motor slouží pouze k výrobě elektrické energie pomocí generátoru v případě delších nájездů. Právě tímto typem vozidla se zabývá tato diplomová práce. [12] [13]

2.1.2 Rozdělení dle konstrukčního uspořádání

Hybridní automobily lze též rozdělit dle podoby hnacího řetězce.

2.1.2.1 Sériový hybrid

Spalovací motor v sériovém uspořádání hnacího řetězce pohání generátor, ze kterého je elektrická energie odvedena přes soustavu měničů do elektromotoru či do baterie. Hnací náprava je poháněna pouze elektromotorem bez použití řaditelné stupňové převodovky. Mezi spalovacím motorem a nápravou tedy není mechanická vazba. [12]

Sériové uspořádání dovoluje následující režimy. První z nich je čistě elektrický režim bez spalovacího motoru. V tomto případě je elektrická energie odebírána pouze z baterie. V hybridním módu je současně zdrojem elektrické energie elektromotoru baterie a spalovací motor. Při jízdě lze nabíjet baterie rekuperačním brzděním, spalovacím motorem nebo jejich vzájemnou kombinací. [12]

Výhodou sériového uspořádání je možnost práce spalovacího motoru v optimálním bodě měrné spotřeby a již zmíněné hnací ústrojí bez řaditelné stupňové převodovky.

Mezi nevýhody patří dvojnásobná přeměna energie ze spalovacího motoru na kola a s tím spojená snížená celková účinnost. Dále je nutný generátor, což způsobuje větší hmotnost vozidla. [12]

Hlavním zdrojem energie sériových hybridů je spalovací motor, který je v činnosti téměř po celou dobu jízdy a velikost jeho výkonu přibližně odpovídá výkonu trakčního elektromotoru. Baterie je naopak menších rozměrů a slouží k vyrovnání dynamiky jízdy. [12]

Sériové uspořádání pohonného řetězce využívají také elektromobily s prodlužovačem dojezdu. Od sériových hybridů se tedy liší dobou využitelnosti spalovacího motoru a jeho zpravidla menší velikostí. [12] [13]

2.1.2.2 Paralelní hybrid

Na rozdíl od sériového uspořádání je mezi nápravou a spalovacím motorem mechanická vazba. Vozidlo může být tedy poháněno samostatně každým motorem nebo mohou být oba motory současně v činnosti. V paralelním uspořádání je pro pohon spalovacího motoru nezbytná převodovka a spojka. Existuje několik způsobů jak realizovat paralelní uspořádání, které mají své výhody a nevýhody. [12]

Paralelní uspořádání je převážně výhodné při vyšších rychlostech, kdy je více uplatněn mechanický přenos výkonu s lepší účinností. Naopak při nižších rychlostech je výhodnější sériové uspořádání z důvodu chodu spalovacího motoru v oblasti nízké specifické spotřeby. [12]

2.1.2.3 Kombinovaný hybrid

Snahou kombinovaného hybridu je spojit výhody sériového a paralelního uspořádání pohonu. Jedná se o konstrukčně nejsložitější druh hybridního vozidla. Lze dohledat různé způsoby umístění spalovacího motoru, elektromotoru a jednotlivých převodů. [12]

2.2 Elektromobil

Z anglického „Battery Electric Vehicle“ je takto označováno vozidlo, které má elektrickou energii uloženou v bateriích a je poháněno jedním či více elektromotory. Elektrické baterie je nezbytné nabíjet z elektrické sítě. Elektromotor v určitých situacích jízdy může pracovat jako generátor a rekuperovat mechanickou energii vozidla do baterií. Tento druh vozidla též bude pro podmínky České pošty analyzován. [14]

3 Přehled lehkých užitkových elektromobilů s prodlužovačem dojezdu

V této kapitole je uveden přehled lehkých užitkových elektromobilů s prodlužovačem dojezdu. Jak bylo zmíněno v předešlé kapitole, vozidla typu Range Extender využívají sériové uspořádání pohonu. Může být tedy diskutabilní, zda lze vozidlo zařadit do kategorie sériového hybridu či do kategorie elektromobilu s prodlužovačem dojezdu. Při tvorbě tohoto přehledu byla tedy rozhodující informace výrobce, zda je přednostní čistě elektrický pohon a spalovací motor slouží pouze pro prodloužení dojezdu.

Po úvodním představení každého vozidla je vytvořena tabulka, která shrnuje jeho základní informace. Ne u všech vozidel byla k nalezení veškerá data. V případech nedostupných dat je chybějící informace v tabulce označena pomlčkou. Baterie se vyznačují jmenovitou a využitelnou kapacitou baterií a pro jejich porovnání je třeba znát oba dva tyto údaje. Většina výrobců ovšem udává pouze kapacitu jmenovitou. Využitelná kapacita baterie představuje okolo 85 až 90 % jmenovité kapacity. Pokud byla nalezena i kapacita využitelná, je uvedena její hodnota v závorce. Podobný problém nastává i u elektromotoru, který se vyznačuje jmenovitým a maximálním výkonem. Výrobce zpravidla nekonkretizuje, zda se jedná o jmenovitý či krátkodobý maximální výkon. Další důležitou vlastností vozidla typu Range Extender je dojezd na čistě elektrický pohon. Pro smysluplné porovnání jednotlivých vozidel mezi sebou je tedy třeba, aby byl tento dojezd zjištěn za stejných podmínek. V případě, že výrobce uvedl použitý testovací cyklus, nachází se v tabulce vedle možného počtu kilometrů v čistě elektrickém režimu i název cyklu. Vozidla v tomto seznamu jsou rozdělena na skupinu nedodávkových a dodávkových aplikací. Do tohoto přehledu je zařazeno i londýnské taxi LEVC TX, které sice neslouží primárně pro přepravu nákladu, ovšem s tímto vozidlem jsou úzce spojeny dodávky Emerald t-001 a VN5.

3.1 Nedodávkové aplikace

3.1.1 W-15

Prvním vozidlem je pick-up americké firmy Workhorse, která se zaměřuje na elektrifikaci užitkových vozidel. Prvním velkým úspěchem této firmy byl prodej více jak 125 [15] nákladních vozidel typu Range Extender pro doručovací firmu UPS. Jako prodlužovač dojezdu byl v nákladních vozidlech použit spalovací motor z BMW i3 REx. V tomto případě byl spalovací motor v činnosti pouze při stojícím vozidle [16]. Součástí pohonu, který byl výrobcem označen jako E-GEN, totiž nebyl samostatný generátor [17]. Při zastavení spalovací motor pomocí trakčního elektromotoru dobíjel baterie. Úspěch prodeje těchto nákladních vozidel podnítil firmu Workhorse k vývoji pick-upu s prodlužovačem dojezdu. [15]

Pick-up má poháněnou přední i zadní nápravu elektromotorem o výkonu 172 kW [18]. Pro prodloužení dojezdu slouží tříválcový benzínový motor značky BMW o objemu 1,5 litru [18]. Z celkové kapacity baterie 60 kWh [18] je pouze 40 kWh [18] využitelných. Podle výrobce využitelná kapacita baterie vystačí vozidlu za nedefinovaných podmínek k 129 km [18] [19], dojezd s použitím spalovacího motoru je naopak 500 km [18]. Vozidlo váží necelých 2300 kg [18] a lze jej zatížit nákladem o hmotnosti necelé tuny. [18]

Začátek prodeje byl naplánován na konec roku 2018 [20], ale z důvodu finančních problémů firmy Workhorse byla jeho sériová produkce odložena. [20]

Základní informace – W-15	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	2x172 kW
Výkon spalovacího motoru	–
Kapacita baterie	60 (40) kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	129 km
Hmotnost vozidla bez nákladu	2268 kg
Maximální zatížení	998 kg
Objem nákladového prostoru	–

Tabulka 1 Základní informace – W-15 [18]



Obrázek 1 Pohonné ústrojí – W-15 [21] (přeloženo)



Obrázek 2 W-15 [21]

3.1.2 LEVC TX (TX5)

Prototyp nového londýnského vozidla taxi byl představen v roce 2015 [22], o dva roky později začala samotná sériová výroba. Nové taxi jsou vyráběny firmou LEVC, která patří čínské automobilové společnosti Geely. Součástí společnosti Geely je též Volvo, z tohoto důvodu lze nalézt na novém londýnském taxi součásti firmy Volvo. [22]

Od roku 2018 [23] platí přísná pravidla pro udělení nových licencí vozidel taxi služeb v Londýně. Taxi, které žádá poprvé o udělení licence, musí splnit maximální hranici produkce oxidu uhličitého $50 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$ [23] a zvládnout jízdu alespoň $48,3 \text{ km}$ [23] bezemisně. Zároveň není možné poprvé udělit licenci pro naftová vozidla. Benzínová taxi

naopak musí splnit nejnovější legislativní předpisy emisí. Tento fakt donutil náhradu předchozích diesellových verzí taxi novou LEVC TX. [23]

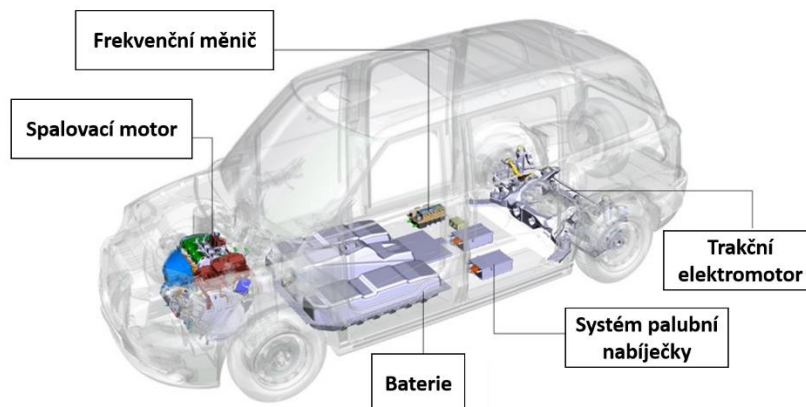
Pohon zadních kol zajišťuje elektromotor o výkonu 110 kW [24] a momentu 255 N · m [24]. Použitý benzínový tříválcový motor firmy Volvo o objemu 1,5 litru [24] má výkon 60 kW [24]. Celková kapacita lithium-iontové baterie pracující s napětím 400 V [24] je 31 kWh [24]. Z celkové kapacity lze pro pohon vozidla využít 23,25 kWh [25] [26]. Tato energie by měla vystačit na 130 km [25] dojezdu dle NEDC. Celkový dojezd s použitím spalovacího motoru je 607 km [27]. Naopak podle WLTP vozidlo zvládne ujet v čistě elektrickém režimu 102 km [28] a celkový dojezd je udáván 485 km [28]. Vozidlo bez řidiče váží 2230 kg [24]. Taxi, které je určeno pro přepravu až 6 osob [27], lze zatížit cestujícími a zavazadly o celkové hmotnosti 600 kg [24]. Zavazadlový prostor má objem 0,44 m³. [24]

Londýnské taxi nabízí tři základní jízdní režimy. Prvním z nich je čistě elektrický mód Pure EV. V režimu Smart naopak systém vozidla upřednostňuje elektrickou energii baterie, ale při poklesu stavu nabití baterie se automaticky aktivuje spalovací motor. Posledním režimem je mód s označením Save, pomocí kterého je udržována aktuální hladina baterie. [29]

V roce 2019 [30] se prodalo více než 2500 [30] nových taxi. Tento fakt znamená růst prodeje oproti roku 2018 [30], kdy se prodalo kolem 1300 vozů. [30]

Základní informace – LEVC TX	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	Maximální – 110 kW
Výkon spalovacího motoru	60 kW
Kapacita baterie	31 (23,25) kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	130 km, NEDC či 102 km, WLTP
Hmotnost vozidla bez nákladu	2230 kg
Maximální zatížení	600 kg
Objem nákladového prostoru	0,44 m ³

Tabulka 2 Základní informace - LEVC TX [24] [25] [26] [28]



Obrázek 3 Schéma pohonu LEVC TX [31] (přeloženo)



Obrázek 4 LEVC TX [32]

3.2 Dodávkové aplikace

3.2.1 Opel Vivaro e-Concept

Nejstarším vozidlem, které je v tomto přehledu uvedeno, je Opel Vivaro e-Concept. Tato dodávka byla představena v roce 2010 [33] na výstavě užitkových vozidel v Hannoveru. [33]

Vozidlo je poháněno pomocí elektromotoru o výkonu 111 kW [33] a točivém momentu $370\text{ N}\cdot\text{m}$ [33]. Kapacita lithium-iontové baterie uložené pod podlahou dosahuje hodnoty 21 kWh [34] a dle výrobce dodávka ujede na čistě elektrický pohon okolo 100 km [33]. V případě potřeby delších nájezdů jsou baterie dobíjeny pomocí nspecifikovaného spalovacího motoru. Maximální zatížení vozidla se pohybuje okolo

750 kg [33]. Náklad lze umístit do nákladového prostoru o objemu 5 m³ [33]. O dalším vývoji či prodeji vozidla nejsou k dispozici další informace. [33]

Základní informace – Opel Vivaro e-Concept	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	111 kW
Výkon spalovacího motoru	–
Kapacita baterie	21 kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	100 km
Hmotnost vozidla bez nákladu	–
Maximální zatížení	750 kg
Objem nákladového prostoru	5 m ³

Tabulka 3 Základní informace – Opel Vivaro e-Concept [33] [34]



Obrázek 5 Opel Vivaro e-Concept [35]

3.2.2 Emerald t-001

Dodávka byla vyvinuta stejnojmennou britskou firmou Emerald Automotive a veřejnosti bylo vozidlo představeno v roce 2012 [36]. Jedním z důvodů vzniku bylo najít řešení, které by umožnilo se vyhnout poplatkům v ekologických zónách a ušetřit tak náklady na provoz vozovkového parku. [36]

Pohon zadních kol obstarává elektromotor o jmenovitém výkonu 75 kW [37], kdežto hodnota maximálního výkonu dosahuje 167 kW [37]. Zdrojem elektrické energie jsou lithium-iontové baterie o celkové kapacitě 25 kWh [37], které dle cyklu NEDC vystačí na 106 km [37] čistě elektrického dojezdu. Jako prodlužovač dojezdu je použit

naftový čtyřválcový motor o objemu 1,4 litru [37], na který navazuje generátor o výkonu 54 kW [37]. Pomocí hybridního režimu dosahuje celkový dojezd vozidla dle NEDC okolo 747 km [37]. Maximální rychlost výrobci omezili na 130 km · h⁻¹ [37]. Bez nákladu vozidlo váží 1650 kg [37] a do nákladového prostoru o objemu 5,2 m³ [37] lze uložit náklad do 1400 kg. [37]

Emerald Automotive byla posléze odkoupena automobilovou společností Geely, která již byla zmíněna v kapitole londýnského taxi LEVC TX. Emerald Automotive se podílela na vývoji nových londýnských taxi a vedle vozidel taxislužeb byla též plánována jejich produkce. Ovšem nebyl nalezen žádný zdroj, který by potvrdil jejich skutečnou sériovou výrobu. [38]

Základní informace – Emerald t-001	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	75 kW jmenovitý, 167 kW maximální
Výkon spalovacího motoru	–
Kapacita baterie	25 kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	106 km, NEDC
Hmotnost vozidla bez nákladu	1650 kg
Maximální zatížení	1400 kg
Objem nákladového prostoru	5,2 m ³

Tabulka 4 Základní informace - Emerald t-001 [37]



Obrázek 6 Emerald t-001 [39]

3.2.3 VN5 (LEVC LCV)

Úspěch londýnského taxi vedl firmu LEVC k představení v pořadí druhého vozidla této firmy v roce 2019 [40] ve Frankfurtu. Dodávka, která nese označení VN5, je založena právě na novém londýnském taxi. S vozidly taxi služeb bude sdílet komponenty hnací soustavy a firma LCV udává přibližně stejný dojezd pro čistě elektrický a hybridní mód jako v případě taxi. Vozidlo bude možné zatížit nákladem do 800 kg [28] [41] v nákladovém prostoru o objemu 5 m³ [28] [41]. Bližší informace budou zveřejněny v průběhu roku 2020 [41], kdy má začít i samotný prodej vozidla. [40]

Základní informace – LEVC LCV	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	Maximální – 110 kW
Výkon spalovacího motoru	60 kW
Kapacita baterie	31 (23,25) kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	Cca 130 km, NEDC či 102 km, WLTP
Hmotnost vozidla bez nákladu	–
Maximální zatížení	800 kg
Objem nákladového prostoru	5 m ³

Tabulka 5 Základní informace – LEVC LCV [24] [25] [26] [28] [41]



Obrázek 7 LEVC LCV [42]

3.2.4 Ford Transit Custom Plug-In Hybrid

Od začátku roku 2020 [43] je možné objednat místo tradičních naftových dodávek Ford Transit Custom i hybridní verzi s prodlužovačem dojezdu. Před uvedením do prodeje byla dodávka s prodlužovačem dojezdu testována v reálném provozu. Testování bylo uskutečněno v Londýně, Valencii a v Kolíně nad Rýnem. Mezi firmami, které byly součástí testování, patřila například britská pošta Royal Mail. [43]

Přední kola jsou poháněna elektromotorem firmy Bosch o výkonu $92,9 \text{ kW}$ [43] a momentu $355 \text{ N} \cdot \text{m}$ [43], kterého je dosahováno do $2200 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ [43]. Jako prodlužovač dojezdu je použit tříválcový jednoválcový benzínový motor Ecoboost o výkonu 74 kW [43], který nahradil dvoulitrový naftový motor. Baterie o celkové kapacitě $13,6 \text{ kWh}$ [43] je integrována pod podlahou a dle cyklu NEDC je možný dojezd bez použití spalovacího motoru 56 km [43]. Celkový dojezd dosahuje hodnoty přes 500 km [43]. Výrobce udává hmotnost vozidla okolo 2200 kg [44] bez hmotnosti řidiče. V porovnání s naftovou verzí s automatickou převodovou je dodávka s prodlužovačem dojezdu těžší přibližně o 150 kg [44]. Dodávku lze zatížit materiálem o celkové hmotnosti až 1212 kg [44] do nákladového prostoru o objemu $5,95 \text{ m}^3$. [43]

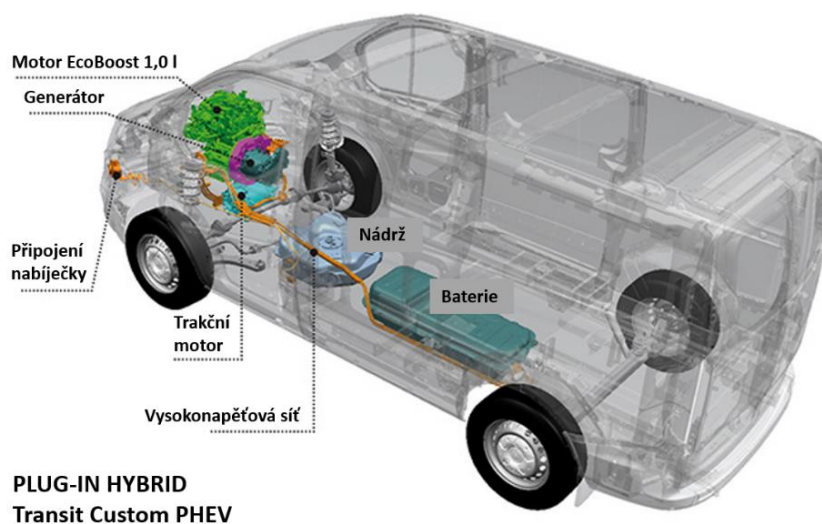
Dodávka nabízí čtyři základní režimy jízdy. První režim je označován jako EV Auto. Řídící jednotka má za úkol nejlepší využití obou zdrojů energií. Naopak EV Now je režim, při kterém je využívána pouze elektrická energie z baterie pro pohon vozidla. Následuje EV Later, v tomto případě se systém vozidla snaží udržet aktuální stav nabití baterie. Cílem posledního režimu EV Charge je zvýšení stavu nabití baterie. [43]

Součástí funkce vozidla je též i modul GeoFencing, který automaticky převádí pohon vozidla do režimu EV Now v oblasti ekologických zón či uživatelem nadefinovaných oblastí. [45]

Firma Ford též nabízí pod názvem Ford Torneo Custom Plug-In Hybrid verzi mikrobus pro přepravu až 8 osob. V tomto případě je použito stejné pohonné ústrojí jako v případě dodávky. [43]

Základní informace – Ford Transit Custom Plug-In Hybrid	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	92,9 kW
Výkon spalovacího motoru	74 kW
Kapacita baterie	13,6 kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	56 km, NEDC
Hmotnost vozidla bez nákladu	2188 – 2235 kg
Maximální zatížení	1165 – 1212 kg
Objem nákladového prostoru	5,95 m ³

Tabulka 6 Základní informace – Ford Transit Custom Plug-In Hybrid [43] [44]



Obrázek 8 Schéma pohonu Ford Transit Custom Plug-In Hybrid [46] (přeloženo)



Obrázek 9 Ford Transit Custom Plug-In Hybrid [47]

3.2.5 Renault Kangoo Z.E. Hydrogen

V roce 2014 [48] byla zahájena spolupráce Renaultu s firmou Symbio, která se specializuje na aplikaci vodíkových palivových článků pro vozidla a transportní zařízení využívající elektrický pohon. V rámci tohoto partnerství byly integrovány vodíkové palivové články do čistě elektrických dodávek Kangoo Z.E., kterých takto vzniklo přes 200 kusů [48]. V tomto případě palivové články slouží pro prodloužení dojezdu místo spalovacího motoru. Později byla původní baterie o celkové kapacitě 22 kWh [48] nahrazena baterií o kapacitě 33 kWh [48]. Tato nová verze byla uvedena na francouzský trh v roce 2019. [48]

Přední kola dodávky jsou poháněna elektromotorem o výkonu 44 kW [49] a točivém momentu 226 N · m [49]. Dojezd vozidla bez použití palivového článku je 230 km [48] dle WLTP. Palivový článek prodlužuje dojezd až na 370 km [48]. Maximální elektrický výkon palivového článku je 5 kW [48]. Tepelný výkon naopak dosahuje svého maxima při 4,8 kW [48]. Vodíková palivová nádrž má objem 74 litrů [48] a vodík je v ní stlačen na hodnotu 350 bar [48]. Tento palivový systém dle výrobce zvyšuje hmotnost vozidla o 110 kg [48]. Velikost nákladového prostoru je oproti čistě elektrické verzi snížena o 0,1 m³ [48] na hodnotu 3,9 m³ [48] a vozidlo lze zatížit až 540 kg nákladu. [48]

Základní informace – Renault Kangoo Z.E. Hydrogen	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	44 kW
Elektrický výkon palivových článků	5 kW
Kapacita baterie	33 kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	230 km, WLTP
Hmotnost vozidla bez nákladu	1736 kg
Maximální zatížení	540 kg
Objem nákladového prostoru	3,9 m ³

Tabulka 7 Základní informace – Kangoo Z.E. Hydrogen [48] [49]



Obrázek 10 Kangoo Z.E. Hydrogen [50]

3.2.6 Renault Master Z.E. Hydrogen

V průběhu roku 2020 [48] je očekáváno další vozidlo značky Renault s palivovým článkem sloužící jako prodlužovač dojezdu. Na rozdíl od menší dodávky Renault Kangoo je vodík stlačen tlakem 700 *bar* [48] do dvou palivových nádrží o objemu 56 litrů uložených ve spodní části vozidla. Váha přídavného vodíkového systému dosahuje dle výrobce hmotnosti okolo 200 *kg* [48]. Dodávka bude nabízena v několika verzích o dvou různých délkách a výškách. [48]

Pohon dodávky je řešen elektromotorem o výkonu 57 *kW* [51] a momentu 225 *N · m* [51]. Baterie vážící 255 *kg* [51] je podobně jako u Renaultu Kangoo použita lithium-iontová o kapacitě 33 *kWh* [51]. Dojezd vozidla nspecifikované verze bez použití palivového článku je dle výrobce přibližně 120 *km* [48] a celkový dojezd naopak 350 *km* [48] dle WLTP. Maximální elektrický výkon palivových článků je 5 *kW* [48], tepelný naopak 4,8 *kW* [48]. Dle výrobce lze očekávat objem nákladového prostoru od 10,8 *m*³ do 20 *m*³. [48]

Základní informace – Renault Master Z.E. Hydrogen	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	57 kW
Elektrický výkon palivových článků	5 kW
Kapacita baterie	33 kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	120 km, WLTP
Hmotnost vozidla bez nákladu	–
Maximální zatížení	–
Objem nákladového prostoru	10,8 – 20 m ³

Tabulka 8 Základní informace – Renault Master Z.E. Hydrogen [48] [51]



Obrázek 11 Renault Master Z.E. Hydrogen [50]

4 Přehled lehkých užitkových elektromobilů

V této kapitole je v krátkosti proveden přehled dodávkových elektromobilů, které též budou pro použití České pošty analyzovány. Zatímco dodávková vozidla typu Range Extender jsou v době psaní diplomové práce na českém trhu zastoupena pouze dodávkou Ford Transit Custom Plug-In Hybrid, dodávkové elektromobily jsou již zákazníkům nabízeny několika výrobci. Do toho přehledu byly zařazeny pouze dodávky, které jsou velikostí podobné naftové dodávce Peugeot Boxer, pomocí které je realizována rozvážka na vyšetřovaném depu Rudná. Na začátku tohoto seznamu je též uvedeno vozidlo, které je v současnosti provozováno německou kurýrní službou Deutsche Post a z pohledu České pošty by se mohlo jednat o zajímavé řešení.

4.1 StreetScooter

První prototyp dodávky firmy StreetScooter, která patří německé poště Deutsche Post, byl představen v roce 2012 [52]. Od počátku bylo toto vozidlo vyvíjeno pro potřeby Deutsche Post, z tohoto důvodu má dodávka poměrně jednoduchou konstrukci. V přední části vozidla je společně s kabinou řidiče umístěn synchronní elektromotor o trvalém výkonu 38 kW [53] [54], který lze krátkodobě přetížít až na 48 kW [53] [54]. V této části vozidla se nachází též trakční baterie, která je použita z osobního vozidla BMW i3 [55]. V případě menší verze StreetScooter Work Box jsou použity dvě varianty baterie. Menší baterie je použita z původní verze BMW i3 o jmenovité kapacitě 21,6 kWh [53] [54] [56], ze které lze využít 18,8 kWh [56]. Naopak větší baterie je použita z nejnovější verze o jmenovité kapacitě 42,24 kWh [53] [54] [57] a využitelné 37,9 kWh [57]. Pro větší dodávku StreetScooter Work L Box je použita pouze baterie o větší jmenovité kapacitě. Za tuto přední část navazuje rám, na který lze umístit různé nástavby. V případě zmiňovaných dodávek je tedy použita skříňová nástavba. [54]

Dojezd dle NEDC je udáván v případě StreetScooter Work Box s menší kapacitou baterie 118 km [54], naopak u větší kapacity baterie 235 km [54]. V případě varianty Work L Box zvládne dodávka ujet bez případného dalšího dobíjení 205 km [54]. Hmotnost vozidla verze Work Box je 1460 či 1595 kg [54] dle typu použité baterie. Verze se skříní o větším objemu se vyznačuje hmotností 1695 kg [54]. Do nákladového prostoru o objemu 4,3 m³ [54] v případě Work Box lze naložit náklad o hmotnosti 585

nebo 720 kg [54] dle použité trakční baterie. Verze Work L Box má naopak skříňovou nástavbu o objemu 8 m³ [54], do které lze naložit náklad o hmotnosti až 905 kg. [54]

V současnosti Deutsche Post provozuje více než 11 000 [58] vozidel typu StreetScooter. Ovšem v tomto roce je jejich výroba ukončena z důvodu neziskovosti prodeje těchto elektromobilů. [58]

Základní informace – StreetScooter	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	38 kW jmenovitý, 48 kW maximální
Kapacita baterie	21,6 (18,8) či 42,24 (37,9) kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	Work Box – 118 či 235 km, NEDC Work L Box – 205 km, NEDC
Hmotnost vozidla bez nákladu	Work Box – 1460 či 1595 kg Work L Box – 1695 kg
Maximální zatížení	Work Box – 720 či 585 kg Work L Box – 905 kg
Objem nákladového prostoru	Work Box – 4,3 m ³ Work L Box – 8 m ³

Tabulka 9 Základní informace – StreetScooter [53] [54] [56] [57]



Obrázek 12 StreetScooter Work L Box [59]

4.2 Volkswagen e-Crafter

Tato dodávka firmy Volkswagen, který byla uvedena na českém trhu v roce 2018 [60], převzala elektrický pohon z osobního vozidla Volkswagen e-Golf [61]. Přední kola pohání elektromotor o výkonu 100 kW [62]. Elektrickou energii dodává elektromotoru lithium-iontová baterie o jmenovité kapacitě 35,8 kWh [62]. Z této celkové baterie lze využít 32 kWh [63] na 154 až 159 km [62] v městském provozu dle WLTP. Naopak v kombinovaném provozu je udáváný dojezd dle výrobce 110 až 114 km [62]. Hmotnost dodávky je 2502 kg [62] a celkově lze do dodávky naložit 975 kg [62] do nákladového prostoru o objemu 10,7 m³ [62]. Kromě této varianty existuje i verze, do které lze naložit až 1700 kg nákladu. Ovšem celková hmotnost této dodávky dosahuje přes 3500 kg. [61]

Základní informace – Volkswagen e-Crafter	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	100 kW
Kapacita baterie	35,8 (32) kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	154 – 159 km, Městský, WLTP 110 – 114 km, Kombinovaný, WLTP
Hmotnost vozidla bez nákladu	2502 kg
Maximální zatížení	975 kg
Objem nákladového prostoru	10,7 m ³

Tabulka 10 Základní informace – Volkswagen e-Crafter [62] [63]



Obrázek 13 Volkswagen e-Crafter [64]

4.3 Mercedes-Benz eSprinter

Vozidlem, které se teprve chystá na český trh je Mercedes-Benz eSprinter. Dodávka bude prodávána ve dvou verzích trakční baterie. První varianta má jmenovitou kapacitu 41 kWh [65], ze které lze pro provoz vozidla využít 35 kWh [65]. Naopak druhá varianta používá baterii o jmenovité kapacitě 55 kWh [65], která naopak dokáže poskytnout 47 kWh [65]. Tyto baterie poskytují 115 či 150 km [65] dojezdu dle WLTP. Jmenovitý výkon je výrobcem udáván 70 kW [65] a lze ho přetížít až na hodnotu 85 kW [65]. Hmotnost dodávky je dle použité baterie 2460 nebo 2600 kg [65]. Maximální užitečná hmotnost se odvíjí od hmotnosti vozidla. Tedy v případě lehčí varianty lze do dodávky naložit náklad o hmotnosti až 1040 kg [65], v případě těžší varianty pouze 900 kg [65]. Obě verze mají nákladový prostor o objemu 10,5 m³. [65]

Základní informace – Mercedes-Benz eSprinter	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	70 (85) kW
Kapacita baterie	41 (35) či 55 (47) kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	115 či 150 km, WLTP
Hmotnost vozidla bez nákladu	2460 či 2600 kg
Maximální zatížení	1040 či 900 kg
Objem nákladového prostoru	10,5 m ³

Tabulka 11 Základní informace – Mercedes-Benz eSprinter [65]



Obrázek 14 Mercedes-Benz eSprinter [66]

4.4 Renault Master Z.E.

Posledním vozidlem je dodávka značky Renault, kterou výrobce nabízí ve čtyřech provedeních o různé délce a výšce. Ve všech případech je použita lithium-iontová baterie o jmenovité kapacitě 33 kWh [51] a synchronní motor o výkonu 57 kW [51]. Dojezd se u všech variant pohybuje okolo 120 km [51] dle WLTP. Hmotnost nejmenší varianty se pohybuje od necelých 2000 kg [51], naopak největší dodávka má hmotnost okolo 2100 kg [51]. Maximální hmotnost nákladu se pohybuje okolo 1000 kg [51]. Náklad lze umístit do přepravního prostoru od 8 m³ do 13 m³. [51]

Základní informace – Renault Master Z.E.	
Technická veličina	Hodnota
Výkon elektromotoru	57 kW
Kapacita baterie	33 kWh
Druh baterie	Lithium-iontová
Elektrický dojezd	Okolo 120 km, WLTP
Hmotnost vozidla bez nákladu	1979 až 2132 kg
Maximální zatížení	968 až 1093 kg
Objem nákladového prostoru	8 až 13 m ³

Tabulka 12 Základní informace – Renault Master Z.E. [51]



Obrázek 15 Renault Master Z.E. [67]

5 Měření a zpracování dat jízdních cyklů

Tato kapitola pojednává o měření a následném zpracování naměřených dat v rámci provozu České pošty. Zpracovaná data posléze slouží jako vstupní parametry pro výpočet energetické náročnosti a požadovaných výkonů na kolech vozidla. V první části této kapitoly je stručně popsána poštovní a doručovatelská firma Česká pošta. Následuje kapitola pojednávající o podmínkách měření, tedy jaké depo České pošty bylo zvoleno pro analýzu použití elektromobilu či verze s prodlužovačem dojezdu a na jakém vozidle proběhlo samotné měření. Poté je v této kapitole popsáno samotné měření a zpracování dat.

5.1 Česká pošta

Česká pošta je státním podnikem a se svými zhruba 29 000 [68] zaměstnanci dlouhodobě patří k největším firmám podle počtu zaměstnanců České republiky. Vedení České pošty sídlí v Praze a celkově provozuje více než 3800 [68] organizačních jednotek v podobě pošt, speciálních provozoven, výdejních míst a poštoven na celém území České republiky. [68]

Mezi základní činnosti České pošty patří listovní a balíkové služby. Mezi další služby patří zajišťování výplat starobních důchodů, zprostředkování prodeje losů Sazka, prodej vstupenek na kulturní a sportovní události. Dále Česká pošta poskytuje prostor pro potřeby Poštovní spořitelny či ČSOB pojišťovny. Zajišťuje též oběh poštovních známek. [69]

V roce 2016 se vozový park České pošty skládal z 1200 osobních, 3600 dodávkových a 500 nákladních vozidel. [70]

Česká pošta provozuje ve svém vozovém parku dodávky různých výrobců a velikostí. Ve vozovém parku jsou například dodávky menších rozměrů Peugeot Expert [71], Fiat Dobló [72] či VW Caddy [73]. Mezi dodávky o větším nákladovém prostoru patří Peugeot Boxer [72] nebo Fiat Ducato [72].

5.2 Podmínky měření

Z důvodu působnosti České pošty na celém území České republiky se denní nájezdy vozidel České pošty mohou odlišovat v rámci jednotlivých poboček. Pro samotné měření bylo tedy vybráno depo, které potenciálně splňuje smysluplné použití elektromobilu s prodlužovačem dojezdu. Podmínkou byla existence rozvážkových cyklů s nepravidelně dlouhými nájezdy. Tyto požadavky splňuje depo České pošty nacházející se v Rudné.

5.2.1 Depo Rudná

Depo Rudná se nachází ve stejnojmenné obci ležící v blízkosti západní hranice Prahy. Jedním z hlavních úkolů depa je balíková rozvážka pro cílové odběratele v rámci Prahy a Středočeského kraje. Nájezdy jednotlivých vozidel jsou tedy velmi odlišné. Pro analýzu nasazení elektromobilů s prodlužovačem dojezdu byly vybrány tři charakteristické druhy tras rozvážek, které se v rámci provozu depa Rudná uskutečňují. Tedy byly vybrány tři konkrétní doručovací oblasti. Tyto trasy byly pojmenovány podle místa doručování jako Mimoměstský, Městský a Příměstský cyklus. Každý druh byl proměřen třikrát, celkově tedy proběhlo devět měření.

Náklad je do vozů naložen v prostoru depa a poté zajíždí jednotlivá vozidla do definovaných doručovacích oblastí, kde probíhá samotné předání balíků zákazníkům. Doručování v určité oblasti obstarává zpravidla po celý rok konkrétní zaměstnanec České pošty. Jednotlivé doručovací dny se liší cílovým místem předání balíků, počtem odběratelů, množstvím a hmotností balíků. V případě nedoručení balíku zákazníkovi je náklad uchován na místní pobočce České pošty v dané obci či městské části. Zákazník si posléze může na tuto pobočku pro své zboží přijít nebo je balík po komunikaci s odběratelem další den opět zaměstnancem České pošty naložen do vozu a znovu přivezen zákazníkovi. Za normálních okolností se tedy vozidlo vrací do depa prázdné.

5.2.2 Peugeot Boxer

Balíky v depu Rudná jsou rozváženy dodávkou Peugeot Boxer. Měření bylo prováděno na naftové verzi s pohonem předních kol z roku 2016 [74]. Základní parametry dodávky jsou uvedeny v následující tabulce.

Základní informace – Peugeot Boxer	
Technická veličina	Hodnota
Maximální výkon	96 kW
Zdvihový objem motoru	1,997 l
Palivo	Nafta
Převodovka	Manuální, 6 převodových stupňů
Celková délka	5988 mm
Celková šířka bez zrcátek	2050 mm
Celková výška	2522 mm
Světlá výška	176 mm
Pohotovostní hmotnost	1975 kg
Největší technicky přípustná hmotnost	3300 kg
Objem nákladového prostoru	13 m ³
Označení pneumatik	215/70 R15 C

Tabulka 13 Základní informace – Peugeot Boxer [74]



Obrázek 16 Peugeot Boxer

5.3 Měření a zpracování dat

5.3.1 Popis měření a měřicí zařízení

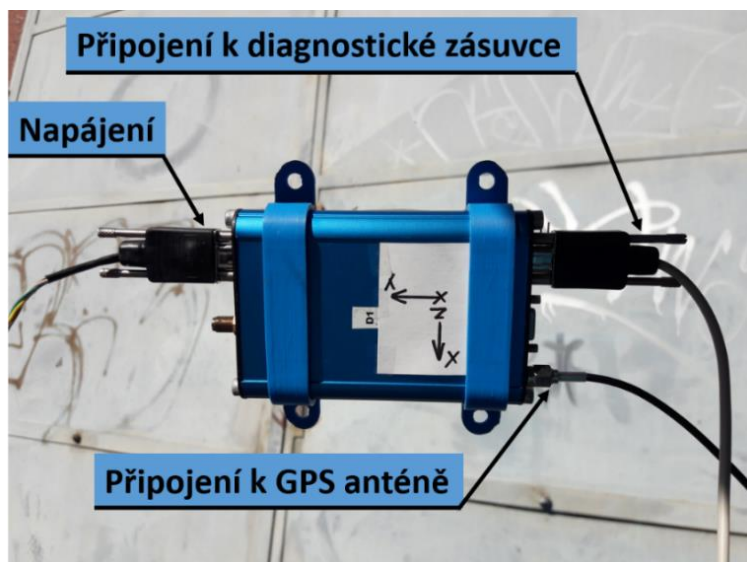
Pro měření rychlosti a polohy bylo použito měřicí zařízení CarScout. Měřicí jednotka CarScout byla vyvinuta v rámci spolupráce fakulty elektrotechnické a dopravní ČVUT. Mezi základní funkce patří měření rychlosti a polohy pomocí principu GPS. Součástí jednotky je též i akcelerometr, pomocí kterého může být dopočítán rychlostní profil jízdy vozidla. K určení rychlosti z profilu zrychlení je ovšem nutné provést integraci a zároveň do této matematické operace dosadit integrační konstantu v podobě počáteční rychlosti. Na profil zrychlení má ovšem vliv sklon vozovky. Z důvodu sklonu vozovky na hmotu v akcelerometru působí též i tíhová síla a naměřený profil zrychlení odpovídá podélnému zrychlení vozidla pouze v případě jízdy po rovině.

Princip měření rychlosti a polohy podle GPS má i své nevýhody. Jízda v hůře dostupných a viditelných místech jako je tunel, blízkost vysokých budov či lesního porostu způsobuje, že získaná data jsou zkreslená a neodpovídají skutečnosti. Z tohoto důvodu byla v rámci spolupráce s fakultou elektrotechnickou zprovozněna komunikace tohoto měřicího zařízení s diagnostickým systémem dodávky Peugeot Boxer. Rychlost jízdy byla tedy získána i s pomocí diagnostického rozhraní vozidla, které je definováno příslušnými normami souhrnně označovanými jako E-OBD. Pro tento účel byl konkrétně použit mód, který umožňuje získávat hodnoty vybraných fyzikálních veličin popisující okamžitý stav vozidla. Dále byly měřeny informace o otáčkách motoru, které jsou posléze v této práci použity pro analýzu vlivu součinitele rotačních hmot na celkovou potřebnou energii na kolech vozidla. Poloha dodávky byla kromě CarScoutu dále měřena mobilní aplikací Sports Tracker, která též funguje na principu GPS. Pro určení polohy docházelo k vzájemnému doplňování těchto dvou zdrojů dat.

Pro vyhodnocení rychlostního profilu byla z jednotky CarScout použita data naměřená pomocí diagnostického rozhraní vozidla a GPS. Profil zrychlení nebyl z důvodu problematiky sklonu vozovky použit. Data z akcelerometru by měla význam v případě zmíněných špatně dostupných a viditelných oblastí. Jelikož ale byly získávány údaje přímo ze systému vozidla, které byly na okolních podmínkách nezávislé, nebylo nutné naměřený profil rychlosti dle GPS kontrolovat podle dat z akcelerometru.

Jednotka CarScout zaznamenávala během měření zmíněné údaje frekvencí 20 Hz. Tato frekvence měření měla za úkol eliminovat náhodné chyby vzniklé například nedokonalostí funkce GPS. Z důvodu této poměrně vysoké frekvence je nutné naměřená data před samotným výpočtem energetické náročnosti upravit a filtrovat. Mobilní aplikace Sports Tracker zaznamenávala informace o poloze s nekonstantní frekvencí. Nejvyšší frekvence měření mobilní aplikace byla 1 Hz.

Na následujícím obrázku lze vidět CarScout umístěný na bočním okně dodávky Peugeot Boxer. Data získaná pomocí GPS byla zaznamenávána pomocí antény umístěné na střeše vozidla. Na obrázku je též vidět kabelové vedení, které spojuje CarScout s diagnostickou zásuvkou CARB. Třetí vedení vede do napájení měřicího zařízení. Údaje z aplikace Sports Tracker byla zaznamenávána pomocí mobilního zařízení, které se nacházelo v přední části vozidla.



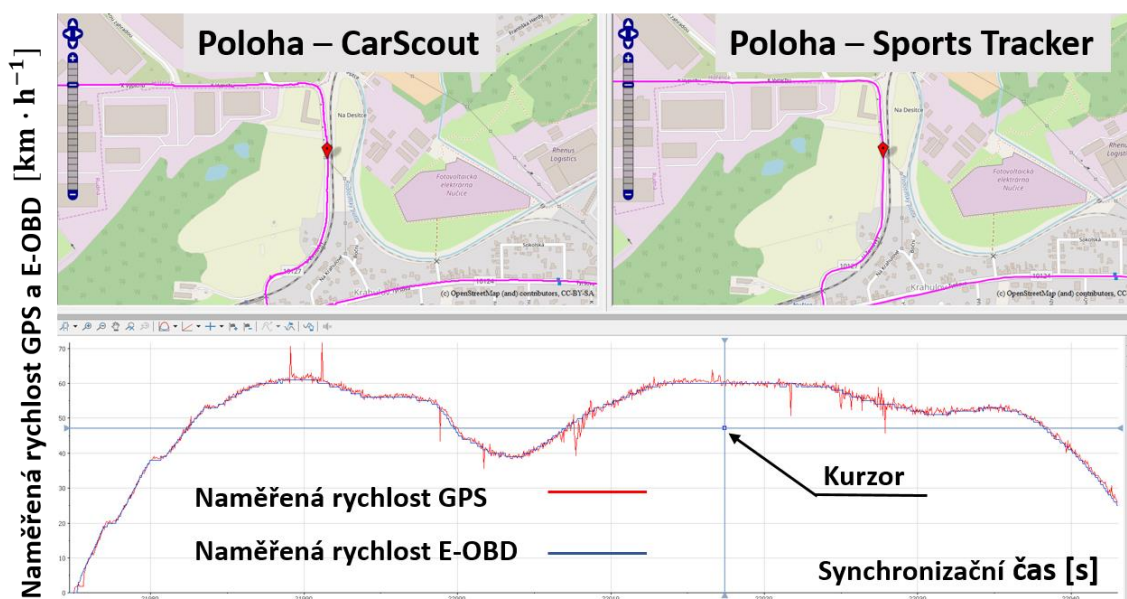
Obrázek 17 Měřicí zařízení CarScout

5.3.2 Filtrace a úprava rychlostního profilu

Na dalším obrázku je ukázka prostředí programu DIAdem, který je vhodným pracovním nástrojem pro zobrazení velkého množství dat. V prostředí je zobrazena část dat naměřeného denního nájezdu, který bude později označen jako MMC2. Pomocí tohoto programu byla zobrazována, filtrována a upravována veškerá naměřená data. Prostředí je rozděleno na tři části. V horních dvou částech je zobrazena na mapě dráha vozidla dle dat z jednotky CarScout a mobilní aplikace Sports Tracker. Konkrétně v levé části je vidět poloha dle dat z měřicího zařízení CarScout, naopak v pravé části poloha dle programu

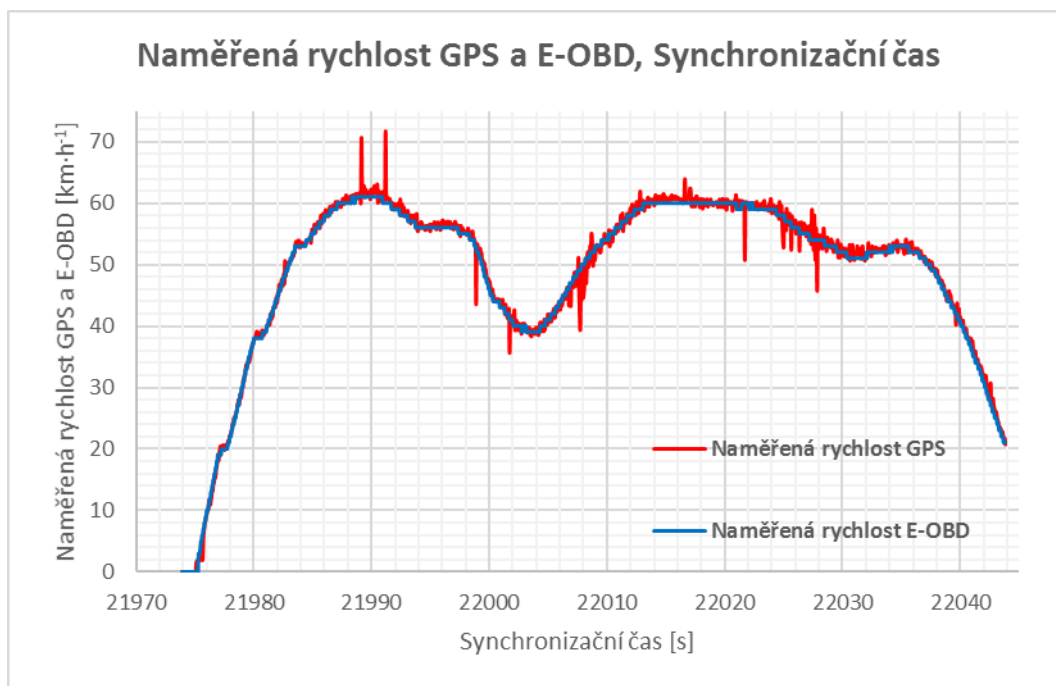
Sports Tracker. Graf v dolní části prostředí zobrazuje vyšetřovanou veličinu v závislosti na čase. V tomto případě se jedná o naměřený průběh rychlosti dle dat diagnostického rozhraní a GPS z měřicího zařízení CarScout. Vykreslení naměřeného rychlostního profilu podle dat GPS je provedeno červenou barvou a označováno jako Naměřená rychlost GPS, naopak průběh rychlosti dle diagnostického rozhraní je znázorněn barvou modrou a pro tuto veličinu je použito označení Naměřená rychlost E-OBD.

Pohybem kurzoru v oblasti grafu vyšetřované veličiny je získávána aktuální poloha vozidla v daném časovém okamžiku. Tedy lze pomocí programu DIAdem vyšetřit velikost naměřené veličiny v určité části denního nájezdu. Z důvodu rozdílné časové veličiny jednotky CarScout a aplikace Sports Tracker byla vytvořena časová jednotka, která synchronizuje naměřená data z obou měřicích zařízení. Časová jednotka byla označena jako Synchronizační čas a všechny vyšetřované veličiny jsou v závislosti na tomto parametru v prostředí DIAdem zobrazeny. Synchronizační čas převádí aktuální čas vyjádřený v hodinách, minutách a sekundách pouze na sekundy.



Obrázek 18 Prostředí programu DIAdem

Pro lépe viditelné porovnání vyšetřovaných rychlostí je průběh veličin z předchozího obrázku zobrazen v prostředí MS Excel.

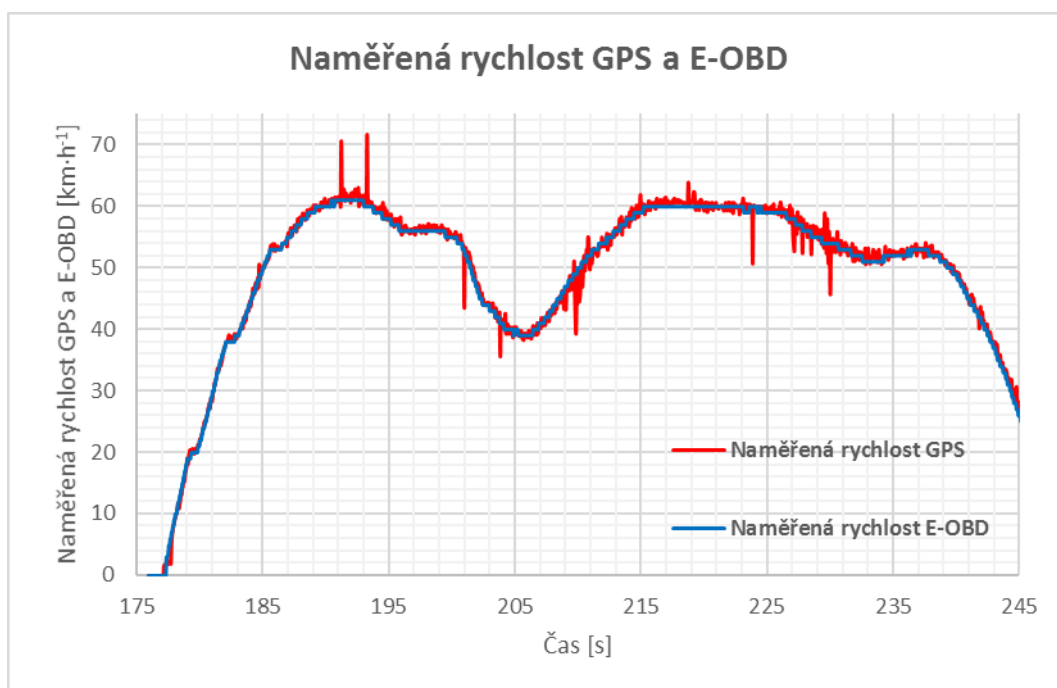


Obrázek 19 Naměřená rychlost GPS a E-OBD, Synchronizační čas

Z grafu je vidět, že průběh naměřené rychlosti dle diagnostického rozhraní a GPS je velmi podobný. Ovšem v průběhu rychlosti GPS jsou vidět nežádoucí záchvěvy, které by výpočet celkové energie na kolech vozidla mohly ovlivnit. Naopak průběh rychlosti získaný ze systému vozidla je plynulý bez nežádoucích záchvěvů. Pro získání rychlostního profilu z dat GPS, který by sloužil jako vstupní parametr výpočtu, je tedy nutná filtrace naměřených dat. Informace o průběhu rychlosti získané z diagnostického rozhraní dodávky jsou též pro kontrolu filtrovány.

Další grafy, které budou v této diplomové práci zobrazeny, budou používat jinou časovou osu. Synchronizační čas vyjadřující aktuální čas v sekundách byl používán pouze pro vyšetření polohy dodávky v daném časovém okamžiku a určení velikosti vyšetřované veličiny ve zkoumané části jízdy dle naměřených dat jednotky CarScout a mobilní aplikace Sports Tracker v prostředí programu DIAdem. Při dlouho trvajících zastávkách bylo měření pomocí CarScoutu pozastaveno, aby v průběhu rychlosti nevznikaly dlouho trávající oblasti s nulovou rychlostí. Z tohoto důvodu je ve výpočetních programech používán čas, který je jednoduše označen jako Čas. Tato časová jednotka vyjadřuje dobu samotného měření rychlosti, tedy dobu zapnutého zařízení CarScout. Při opětovném spuštění měřicího zařízení je hodnota času navázaná na předchozí časový údaj. Pomocí této časové jednotky jsou výsledné časové osy ve výpočetním programu energetické náročnosti kratší a lze také pomocí této časové veličiny lépe třídit data, jelikož časová

návaznost mezi jednotlivými daty není ovlivněna přerušením měření. Naměřeným veličinám tedy odpovídá určitá hodnota na časové ose Synchronizační čas a na ose Čas. Tyto hodnoty na časových osách je možné mezi sebou navzájem dohledat. Naměřený průběh rychlosti z předešlého obrázku lze tedy vykreslit s časovou osou Čas.

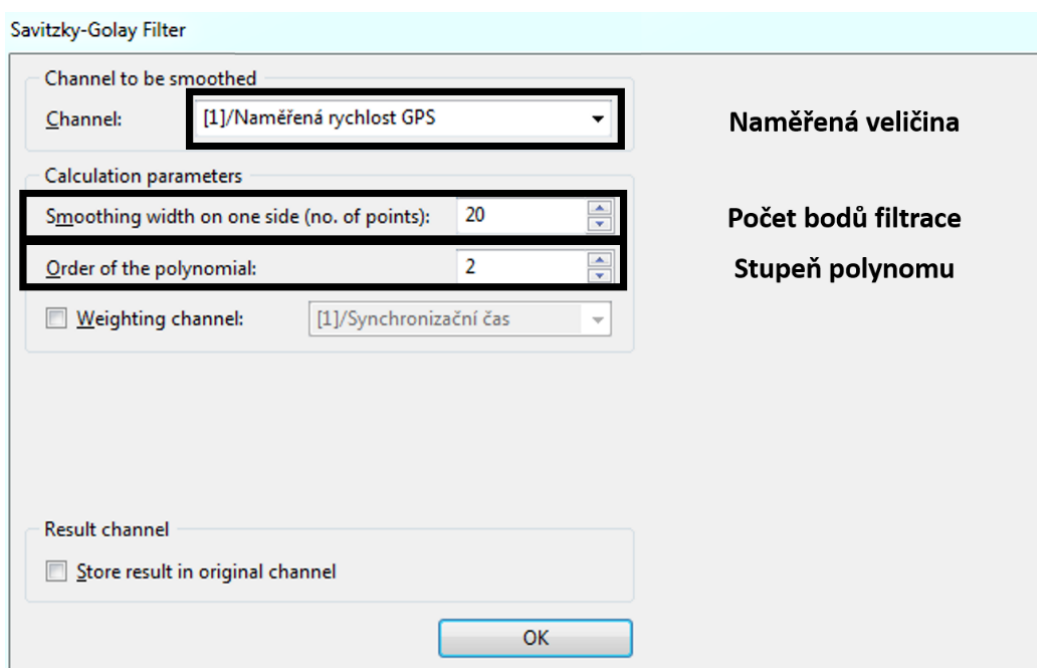


Obrázek 20 Naměřená rychlost GPS a E-OB

Před samotnou filtrací byl kontrolován zejména průběh rychlosti naměřený podle GPS. V místech, kde došlo ke značnému záchvěvu v naměřených hodnotách rychlosti dle GPS, byla tato data nahrazena hodnotami z Naměřené rychlosti E-OB. Tímto bylo zabráněno ovlivnění filtrované veličiny velkými záchvěvy.

V prostředí programu DIAdem je možnost použití filtru označovaného jako Savitzky-Golay filtr, který bude dále označován jako SG filtr. V SG filtru lze nastavit dva vstupní parametry, pomocí kterých bude naměřená veličina filtrována. Prvním parametrem je počet bodů filtrace na jedné straně od vyšetřovaného bodu. Pomocí druhého parametru lze naopak nastavit stupeň polynomu, pomocí kterého jsou tyto body proloženy. Tedy naměřené hodnotě rychlosti v daném okamžiku je z každé strany přiřazen zvolený počet sousedních naměřených hodnot a posléze je těmito jednotlivými body pomocí metody nejmenších čtverců proložen polynom zvoleného stupně. Konkrétní velikost filtrované rychlosti je poté rovna funkční hodnotě vzniklého polynomu v tomto vyšetřovaném bodě. Při výběru parametrů filtru je důležité, aby filtrovaná veličina vyhlazovala časovou závislost měřené veličiny, tedy odstraňovala nežádoucí záchvěvy. Zároveň musí získaný

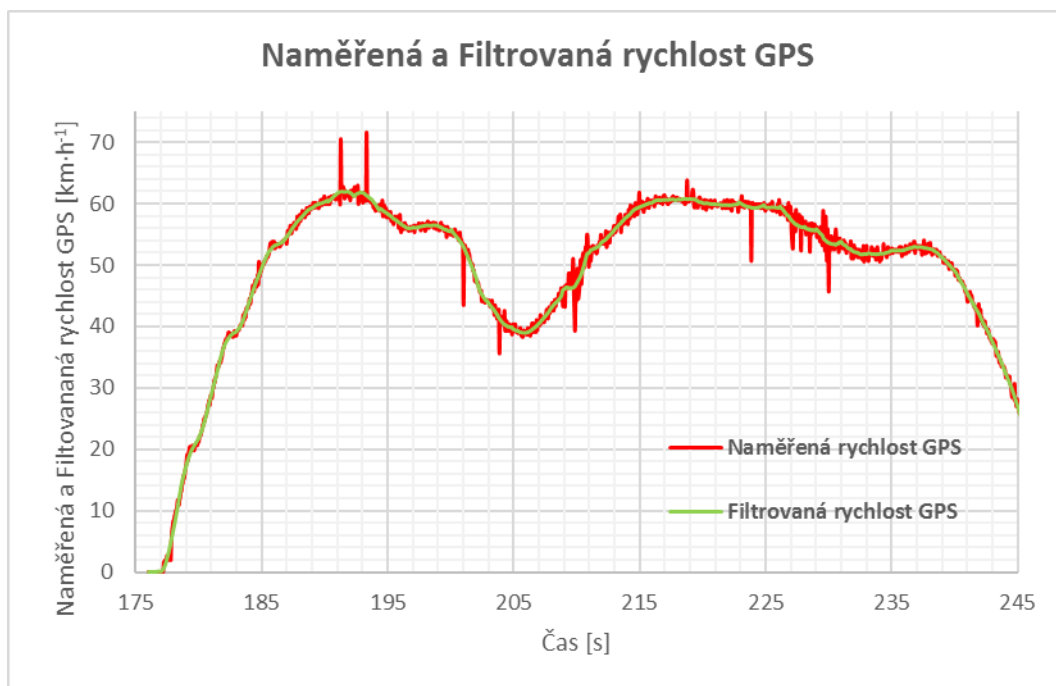
filtr dostatečně sledovat časový průběh měřené veličiny. V prostředí programu DIAdem byly analyzovány hodnoty těchto zmíněných vstupních hodnot pro získání optimálního průběhu filtrované veličiny. Pro výslednou filtraci byl parametr počtu bodů filtrace na jedné straně od vyšetřovaného bodu nastaven na hodnotu 20. Tato hodnota odpovídá počtu získaných dat rychlosti za jednu sekundu pomocí měřicí jednotky CarScout. Polynom byl zvolen druhého stupně. Tyto zvolené hodnoty se ukázaly jako nejvhodnější z několika zkoušených variant nastavení. Nastavení v programu DIAdem je ukázáno na následujícím obrázku pro Naměřenou rychlost GPS. Pro Naměřenou rychlost E-OBd byly zvoleny stejné parametry.



Obrázek 21 SG filtr

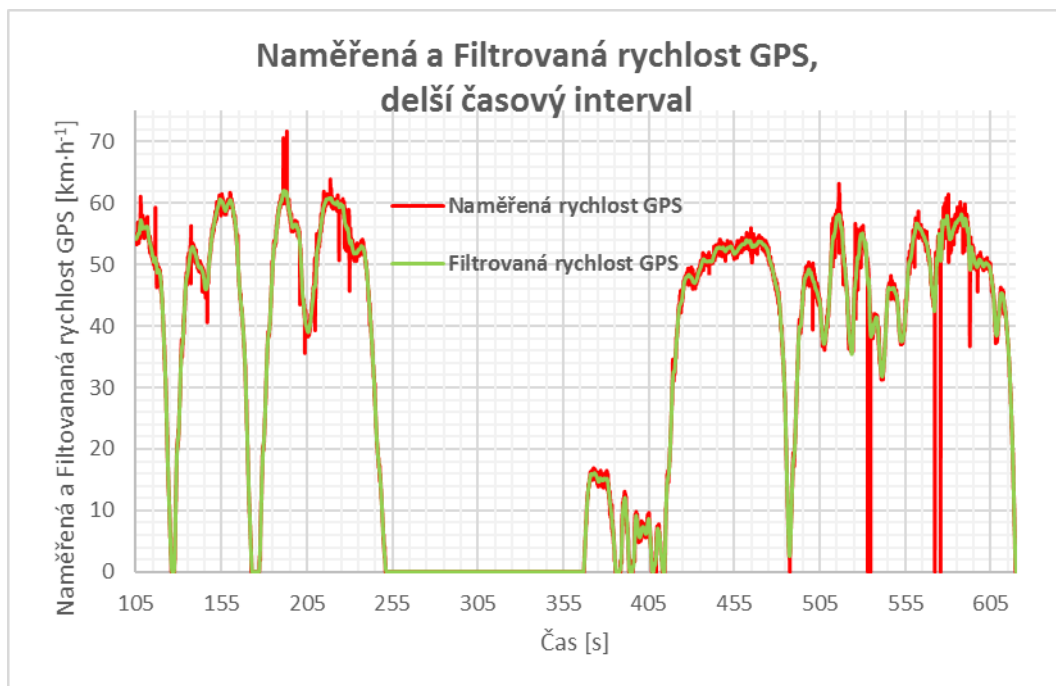
Vzniklou filtrovanou veličinu je třeba dále upravit. Výsledkem SG filtru mohou být i záporné hodnoty rychlosti vznikající před začátkem či po konci jízdy vozidla. Tyto záporné hodnoty byly tedy po filtraci nastaveny na nulovou hodnotu. Takto upravené rychlosti jsou označovány jako Filtrovaná rychlost GPS a Filtrovaná rychlost E-OBd.

V následujícím grafu je zobrazena ukázka filtrovaného průběhu rychlosti dle GPS společně s naměřenou rychlostí GPS. Filtrovaný průběh je označen zelenou barvou, naměřený průběh podobně jako v předešlém grafu barvou červenou.



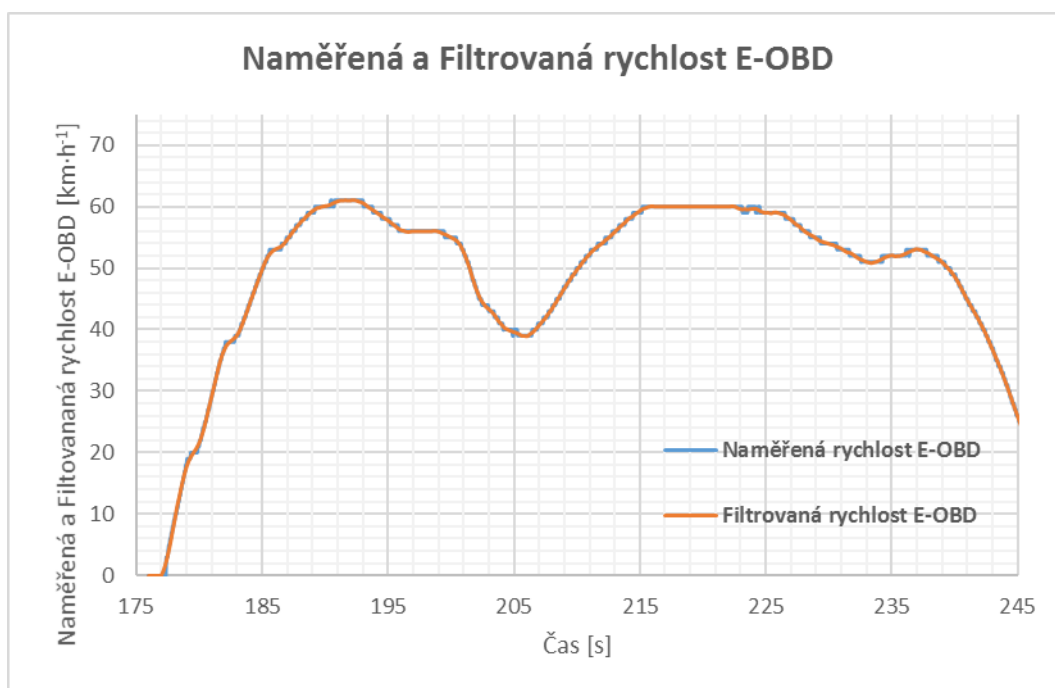
Obrázek 22 Naměřená a Filtrovaná rychlost GPS

Z grafu je patrné, že filtrovaný průběh rychlosti sleduje naměřenou závislost rychlosti na čase. Zároveň jsou ve filtrovaném průběhu rychlosti odstraněny zmiňované nežádoucí záchvěvy. Další graf, ve kterém je zvolena delší časová osa, ukazuje schopnost filtru eliminovat krátkodobé výpadky GPS. Tento fakt nastal v časovém rozpětí 505 až 605 sekund.



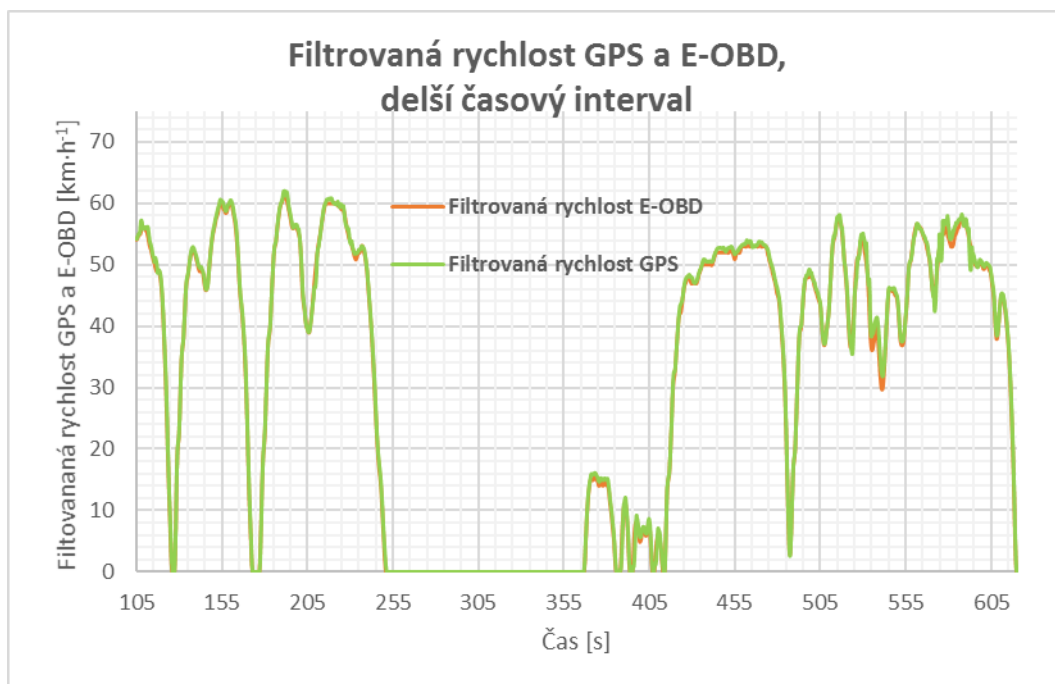
Obrázek 23 Naměřená a Filtrovaná rychlost GPS, delší časový interval

Jak již bylo řečeno, filtrace byla provedena i pro data rychlosti získaná pomocí diagnostického rozhraní. Srovnání Naměřené a Filtrované rychlosti E-OBD je ukázáno na dalším grafu s kratší časovou osou. Filtrovaný průběh rychlosti je znázorněn oranžovou barvou, naměřený průběh barvou modrou.



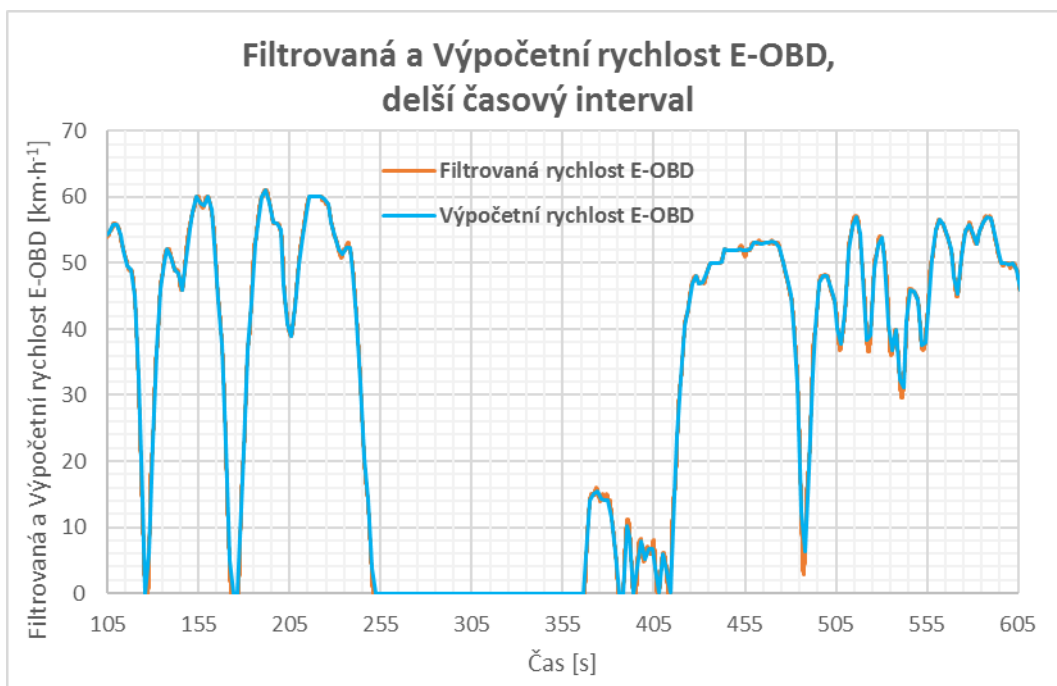
Obrázek 24 Naměřená a Filtrovaná rychlost E-OBD

Průběhy rychlostí se prakticky překrývají. Získaná data rychlosti ze systému dodávky Peugeot Boxer jsou měřena v podobě celočíselných hodnot. Pomocí filtrace lze dosáhnout zjemněného přechodu mezi celočíselnými hodnotami a získat tak hladší závislost rychlosti na čase. Místo porovnání Naměřené a Filtrované rychlosti E-OBD v delším časovém intervalu, ve kterém by byly zobrazeny prakticky dvě totožné křivky, je v následujícím grafu vykreslen průběh Filtrované rychlosti GPS a E-OBD v delším časovém intervalu.



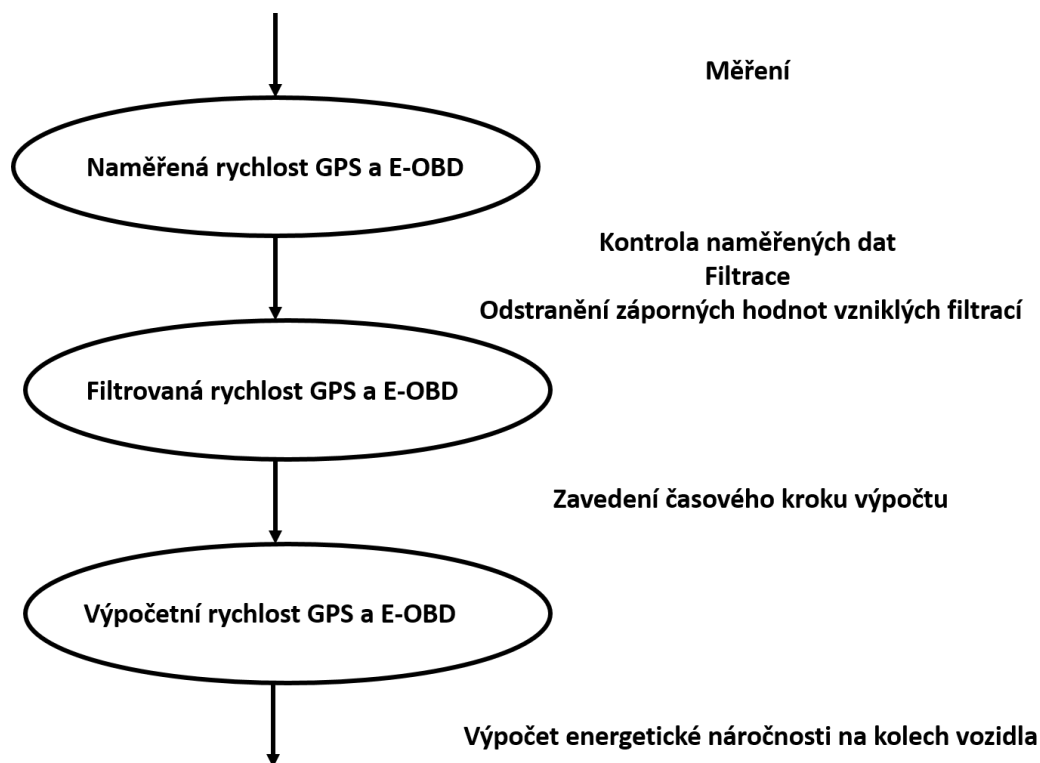
Obrázek 25 Filtrovaná rychlost GPS a E-OBD, delší časový interval

Filtrované průběhy rychlostí jsou téměř totožné. V celkovém porovnání ovšem data získaná z diagnostického rozhraní vozidla vykazují více plynulý časový průběh. Časový krok mezi jednotlivými hodnotami je dle zvolené frekvence měřicího zařízení CarScout 0,05 sekundy. Pro výpočet energetické náročnosti je ovšem třeba zvolit časový krok výpočtu. Z tohoto důvodu jsou z filtrovaného průběhu vybrány pouze hodnoty rychlosti, které jsou od sebe časově vzdáleny o časový krok výpočtu. První hodnotou rychlosti ve výpočetním programu je první naměřená a posléze filtrovaná hodnota. Mezi dvěma sousedními hodnotami rychlosti je posléze uvažována konstantní hodnota zrychlení. Výsledkem měření a zpracování naměřených dat rychlosti jsou tedy veličiny označované jako Výpočetní rychlost GPS a Výpočetní rychlost E-OBD. Následující graf zobrazuje filtrovaný průběh rychlosti s rychlostí o konstantním zrychlení po dobu dvou sekund. V obou případech se jedná o data získaná ze systému vozidla.



Obrázek 26 Filtrovaná a Výpočetní rychlost E-OBD, delší časový interval

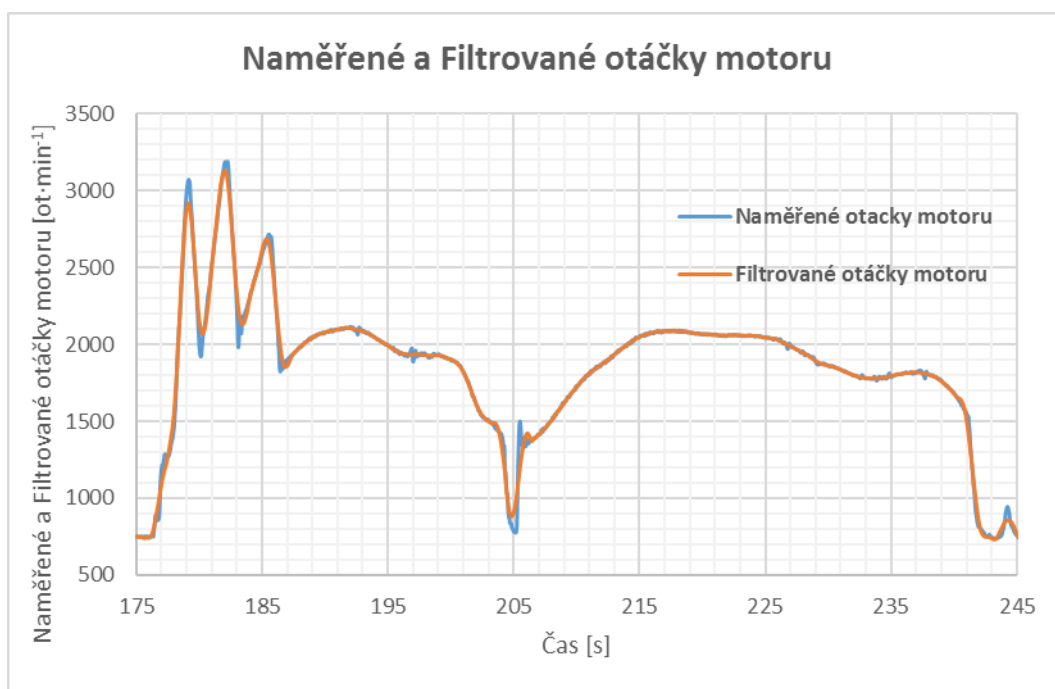
Při volbě dostatečně malého časového kroku výpočtu je vliv zjednodušení na časovou závislost rychlosti zanedbatelný. Časový krok výpočtu bude více diskutován v kapitole pojednávající o výpočtu energetické náročnosti na kolech vozidla. Následující diagram shrnuje postup filtrace a úpravy dat rychlosti popsané v této kapitole.



Obrázek 27 Filtrace a úprava naměřených dat rychlosti

5.3.3 Filtrace a úprava profilu otáček motoru

Časový průběh otáček motoru naměřený pomocí systému vozidla byl podroben filtraci jako v případě rychlosti. Filtrované otáčky motoru posléze slouží jako vstupní parametr pro analýzu vlivu součinitele rotačních hmot na velikost celkové energetické náročnosti na kolech vozidla. Pro zobrazení vzniklých rozdílů mezi naměřeným a filtrováním průběhem byl použit graf s kratší časovou osou. Pomocí filtrace je opět dosaženo hladší časové závislosti otáček motoru.



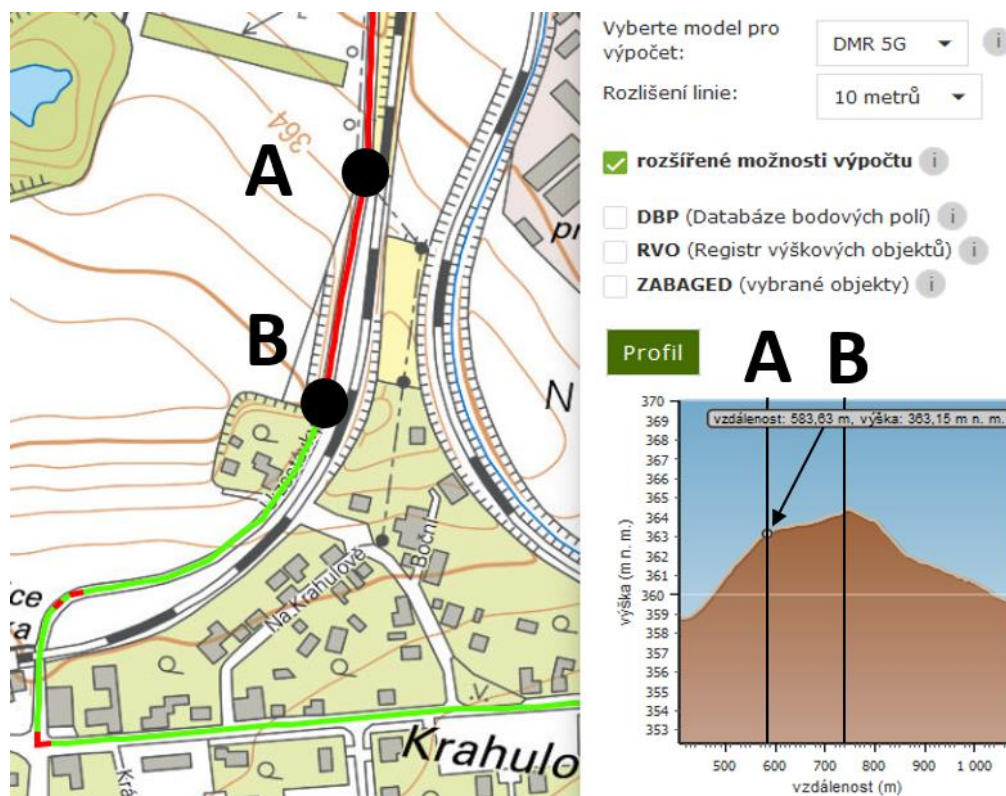
Obrázek 28 Naměřené a Filtrované otáčky motoru

5.3.4 Stoupání vozovky

Pro výpočet energetické náročnosti na kolech vozidla je dále nutné definovat stoupání vozovky v každém časovém okamžiku. Princip GPS umožňuje měřit aktuální nadmořskou výšku a tato funkce je též v měřicím zařízení CarScout zabudována. Ovšem získaná data nejsou ani po filtraci dostatečně přesná, v některých úsecích vznikají nerelevantní hodnoty a při srovnání hodnot stoupání určených pomocí GPS a výškopisné metody vznikají místy značné rozdíly. Z tohoto důvodu nebyla tato funkce CarScoutu využita a jednotlivá stoupání byla definována pomocí výškopisné metody.

Pro výškopisnou metodu byla využita aplikace „Analýzy výškopisu“, která byla vyvinuta Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním. Po definování trati vozidla v této aplikaci lze získat informace o nadmořské výšce v každém úseku trati.

Pomocí naměřené polohy dle jednotky CarScout a mobilní aplikace Sports Tracker byla v tomto programu po částech definována trasa vozidla. Následně došlo v prostředí aplikace k vyhodnocení výškového profilu dané části trati. Na následujícím obrázku je zobrazena ukázka tohoto vyhodnocení.



Obrázek 29 Stoupání vozovky [75]

V levé části prostředí je vidět na zobrazené mapě část trasy vozidla. Červená barva trasy naznačuje stoupání vozovky, naopak barva zelená klesání vozovky. Po umístění kurzoru do jakéhokoliv bodu definované části trasy je získána informace o nadmořské výšce a zároveň údaj o vzdálenosti od prvně definovaného bodu. Zmíněné informace jsou pro bod A viditelné v pravé části prostředí. Zároveň se v pravé části nachází zobrazení výškového profilu. Pomocí tohoto výškového profilu byly naměřené denní nájezdy rozděleny na oblasti s konstantním stoupáním. Tedy vizuálně byl tento výškový profil rozdělen na úseky o konstantním stoupáním a jednotlivá stoupání byla posléze vypočtena pomocí délky konkrétního úseku a nadmořské výšky v krajních bodech tohoto úseku. Například pro určení hodnoty stoupání mezi zobrazenými body A – B byla v těchto bodech odečtena hodnota nadmořské výšky a vzdálenosti. Posléze dle následujícího vztahu [76] bylo vypočteno stoupání mezi těmito body. Tento postup byl aplikován pro všechny úseky trasy.

$$s_{AB} = \frac{h_B - h_A}{x_B - x_A} \quad (1)$$

Ve vztahu s_{AB} značí stoupání mezi body A, B, symboly h_A, h_B vyjadřují velikost nadmořské výšky v jednotlivých bodech a x_A, x_B značí vzdálenost bodů A, B od prvně definovaného bodu v aplikaci.

Pro výpočet energetické náročnosti na kolech vozidla je nutné určit, v jakém časovém intervalu se vozidlo pohybuje po takto zjištěném stoupání. V prostředí programu DIAdem byl proto zaznamenán časový okamžik změn mezi jednotlivými hodnotami stoupání. Hodnota stoupání vozovky společně s časovým údajem přejezdu vozidla na daném stoupání vozovky posléze slouží jako vstupní parametr výpočtu energetické náročnosti.

5.3.5 Hmotnost nákladu

Pro výpočet energetické náročnosti je též důležité zaznamenat aktuální hmotnost nákladu, která ovlivňuje celkovou hmotnost vozidla. Během rozvážky byl z interního systému České pošty zapisován údaj o hmotnosti jednotlivých balíků s příslušným časem předání. Pomocí těchto dvou údajů byla posléze určena celková hmotnost vozidla v daný časový okamžik.

5.3.6 Sjednocení naměřených dat

Rychlostní profil je třeba seřadit společně s informacemi o hodnotách stoupání vozovky a hmotnosti nákladu podle časové souslednosti. Jak již bylo zmíněno, jednotlivé hodnoty rychlosti jsou od sebe časově vzdáleny o časový krok výpočtu. Tedy každé hodnotě rychlosti odpovídá určitý čas. Změna stoupání vozovky ovšem mohla nastat mimo tento časový okamžik. Výpočet energetické náročnosti byl tedy rozdělen tak, aby byla respektována aktuální hodnota stoupání vozovky. V okamžicích změn stoupání vozovky byla hodnota rychlosti dopočítána pomocí lineární interpolace.

6 Energetická bilance na kolech naftové dodávky

Z naměřených a filtrovaných dat lze určit energetickou náročnost na kolech naftové dodávky Peugeot Boxer pro jednotlivé denní rozvážky. Na základě těchto hodnot jsou v další kapitole vybrány energeticky nejnáročnější nájezdy. Pro tyto denní nájezdy je posléze analyzována možnost použití elektromobilu či verze s prodlužovačem dojezdu.

Výpočet celkové energetické náročnosti na kolech vozidla je založen na rozdělení denního nájezdu na dílčí intervaly. Každý interval se vyznačuje počáteční a koncovou rychlostí, konstantním zrychlením, stoupáním a celkovou hmotností vozidla. Pro jednotlivé intervaly je vypočtena hodnota energie na kolech vozidla. Celková energetická náročnost pro naftovou dodávku Peugeot Boxer je poté dána součtem kladných hodnot energií jednotlivých intervalů. Záporná energie dílčích intervalů není v případě naftové dodávky Peugeot Boxer využitelná. Naopak pro vozidla s elektrickým či hybridním pohonem může být tato energie využita pro rekuperaci. Pro realizaci výpočtu byl použit MS Excel.

V první části této kapitoly je proveden teoretický rozbor výpočtu energetické náročnosti a požadovaného výkonu na kolech vozidla. Určení výsledné hodnoty energetické náročnosti cyklu vychází z výpočtu jízdních odporů vozidla. Z tohoto důvodu jsou v této kapitole popsány jednotlivé jízdní odpory.

Následuje analýza výpočtu energetické náročnosti vybrané trasy vypočtená jednak z dat rychlosti získané pomocí GPS a posléze podle dat získaných využitím diagnostického rozhraní. Zároveň je na této vybrané trase provedena citlivostní analýza časového kroku výpočtu. Z tohoto rozboru je posléze pro ostatní trasy vybrán jeden konkrétní zdroj dat rychlosti a též zvolen časový krok výpočtu.

Na tuto podkapitolu navazuje energetické vyhodnocení naměřených jízdních nájezdů rozdělených do kategorií dle místa doručování. Tyto druhy tras byly v předchozí hlavní kapitole pojmenovány jako Mimoměstský, Městský a Příměstský cyklus. Před vyhodnocením je každý druh trasy popsán a charakterizován základními údaji. Posléze jsou jednotlivé nájezdy v téže kategorii mezi sebou porovnány. Následuje závěrečné porovnání jednotlivých druhů cyklů.

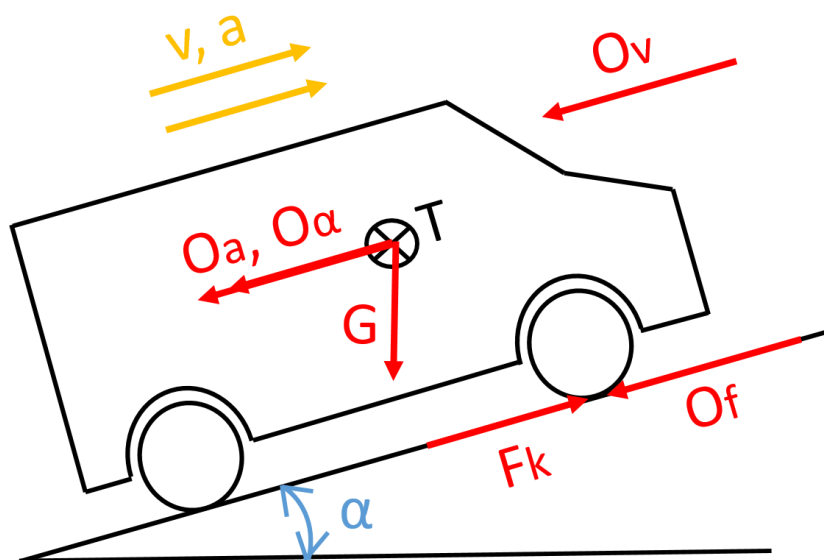
Pro výpočet jízdních odporů je třeba znát určité vstupní parametry, které budou v této kapitole podrobně vysvětleny. Ovšem hodnoty těchto vstupních parametrů nejsou často přesně známy. Z tohoto důvodu bude v poslední části této kapitoly provedena citlivostní analýza vstupních parametrů.

6.1 Teoretický rozbor výpočtu energetické bilance na kolech vozidla

Tato podkapitola je rozdělena na část pojednávající o jízdních odporech, následuje oddíl věnující se potřebným energiím na překonání těchto jízdních odporů a kapitolu uzavírá výpočet požadovaného výkonu na kolech vozidla.

6.1.1 Jízdní odpory

Jízdní odpory představují síly působící primárně proti pohybu vozidla. Jízdní odpory jako valivý odpor a odpor vzduchu působí vždy proti pohybu vozidla. Naopak odpor zrychlení může v případě zpomalování vozidla působit ve směru jízdy a odpor stoupání při klesání z kopce napomáhá vozidlu k jízdě. Schéma sil působících na vozidlo bez přívěsu v přímém směru zachycuje následující obrázek. [76]



Obrázek 30 Jízdní odpory

Na vozidlo pohybující se po vozovce o sklonu α rychlostí v a zrychlením a působí výslednice valivých odporů O_f , odpor vzduchu O_v , odpor zrychlení O_a a odpor stoupání

O_α . Síla F_k znázorňuje sílu na kolech nutnou pro překonání jízdních odporů, tíhová síla vozu je zapsána symbolem G .

6.1.1.1 Odpor valivý

Příčinou vzniku valivého odporu je deformace pneumatiky a vozovky. Velikost odporu je dána součtem valivých odporů všech kol. Tyto dílčí odpory lze vyjádřit jako součin normálových reakcí působících na kola vozidla a součinitele valivého odporu jednotlivých kol. Součet normálových reakcí je matematicky roven složce tíhové síly vozidla kolmé na vozovku. Při uvažování stejné hodnoty součinitele valivého odporu pro všechna kola lze velikost valivého odporu vyjádřit následujícím vztahem. [76] [77]

$$O_f = m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

Ve vztahu m značí celkovou hmotnost vozidla v daném časovém okamžiku, g je gravitační zrychlení, f součinitel valivého odporu a α úhel stoupání vozovky.

Celková hmotnost vozidla pro daný časový okamžik byla určena podle této závislosti.

$$m = m_{poh} + m_{zatížení} \quad (3)$$

Kde m_{poh} označuje pohotovostní hmotnost vozidla. Hmotnost zatížení $m_{zatížení}$ lze dále rozepsat.

$$m_{zatížení} = m_{řidič} + n \cdot m_{spolujezdec} + m_{balík} \quad (4)$$

Hmotnost řidiče $m_{řidič}$ je výpočtu uvažována pomocí standardní hmotnosti 75 kg . Symbol n vyjadřuje počet spolujezdců a $m_{spolujezdec}$ vyjadřuje jejich průměrnou hmotnost. Jelikož během měření byl jediným spolujezdcem autor této práce, byla hodnota n rovna po celou dobu jedné a průměrná hmotnost spolujezdce byla určena podle hmotnosti autora této práce, která odpovídá standardní hmotnosti. Poslední veličina $m_{balík}$ udává hmotnost balíků v daném časovém okamžiku.

Mezi stoupáním s a úhlem sklonu vozovky platí vztah. [76] [77]

$$s = \tan \alpha \quad (5)$$

Úhel stoupání vozovky lze poté vyjádřit.

$$\alpha = \arctan(s) \quad (6)$$

Hodnota součinitele valivého odporu závisí na několika faktorech. Prvním z nich je povrch vozovky. Například hodnoty součinitele valivého odporu pro silnici z dlažebních kostek jsou větší než pro asfaltovanou cestu. Rozhoduje i stav silnice. U mokré či zasněžené silnice lze očekávat větší hodnoty tohoto součinitele. O velikosti součinitele dále rozhoduje deformace pneumatiky, která závisí především na huštění. Pneumatika s menším tlakem vzduchu vykazuje větší valivý odpor. Rozhoduje též samotná konstrukce pneumatiky. Hodnota součinitele valivého odporu je pro diagonální pneumatiky udávána větší než pro pneumatiky radiální. Při dosažení vyšších rychlostí dochází ke zvyšování součinitele valivého odporu. Kromě těchto vyjmenovaných vlivů existují i další faktory ovlivňující výslednou hodnotu součinitele valivého odporu a určení hodnoty tohoto součinitele v každém časovém okamžiku je velmi komplikované. [76]

Pro výpočet energetické náročnosti na kolech vozidla byla uvažována konstantní hodnota součinitele valivého odporu charakteristická pro asfaltovanou vozovku. Byla provedena analýza hodnot součinitele valivého odporu dle dostupných zdrojů. Dle zdroje [77] je tato hodnota rovna 0,012 až 0,017 pro osobní vozidla s radiálními pneumatikami. Zdroj [76] naopak uvádí hodnotu v rozpětí 0,01 až 0,02. Poslední zdroj [78] udává hodnotu součinitele valivého odporu v intervalu 0,005 až 0,015 pro suchý stav a 0,008 až 0,02 pro mokrý stav vozovky. Pro výpočet energetické náročnosti na kolech vozidla pro naftovou dodávku Peugeot Boxer byla zvolena hodnota 0,015.

6.1.1.2 Odpor vzduchu

Příčinou vzniku odporu vzduchu jsou aerodynamické síly působící na vozidlo. Velikost tohoto odporu je určena následujícím vztahem. [76] [77]

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v^2 \quad (7)$$

Velikost odporu vzduchu tedy závisí na kvadrátu rychlosti vozidla v a se zvyšující rychlostí tedy roste význam tohoto odporu. Při výpočtech je uvažováno bezvětří, jelikož v je ve skutečnosti relativní rychlostí vozidla a vzduchu. Hustota vzduchu ρ byla ve výpočtu uvažována $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, což odpovídá přibližně teplotě 20°C [79]. Čelní plocha vozidla S byla určena dle zjednodušeného vztahu.

$$S_x = (h_{\text{vozidla}} - h_{\text{světla}}) \cdot b_{\text{vozidla}} \quad (8)$$

Kde $h_{vozidla}$ udává celkovou výšku, $h_{světla}$ naopak světlu výšku vozidla a $b_{vozidla}$ značí celkovou šířku vozidla bez zrcátek. Číselně je velikost čelní plochy rovna přibližně $4,81 \text{ m}^2$.

Poslední veličinou vystupující ve vztahu je součinitel odporu vzduchu c_x , který závisí na tvaru vozidla. Pro každé vozidlo nabývá součinitel odporu vzduchu jiné hodnoty a pro výpočet musí být jeho hodnota odhadnuta, protože jeho přesná hodnota pro Peugeot Boxer není známa. Zdroj [77] uvádí pro dodávková vozidla velikost c_x mezi 0,4 až 0,5. Podle zdroje [80] se hodnota c_x pro dodávky nachází v intervalu od 0,35 do 0,5. Pro další postup byla hodnota součinitele odporu vzduchu zvolena 0,45.

6.1.1.3 Odpor stoupání

Velikost odporu stoupání je rovna složce tíhové síly vozidla rovnoběžné s vozovkou. Jak již bylo řečeno, tato síla může v případě jízdy ze svahu pomáhat vozidlu k jízdě. [76] [77]

$$O_\alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

Ve vztahu je m celková hmotnost vozidla pro daný časový okamžik, g gravitační zrychlení a α úhel stoupání vozovky.

6.1.1.4 Odpor zrychlení

Při změně rychlosti vozidla vzniká proti směru zrychlení vozidla setrvačná síla. Tato síla je označována jako odpor zrychlení. V případě zpomalování působí odporová síla zrychlení ve směru pohybu jako hnací síla. Výsledný odpor zrychlení je dán součtem odporu zrychlení posuvných a rotačních hmot. Vliv rotačních hmot je v matematickém vyjádření odporu zrychlení zahrnut pomocí součinitele rotačních hmot. [76] [77]

$$O_a = (m_{poh} \cdot \delta + m_{zatížení}) \cdot a \quad (10)$$

Ve vztahu vystupuje pohotovostní hmotnost vozidla m_{poh} , součinitel rotačních hmot δ , aktuální hmotnost zatížení $m_{zatížení}$, která je složena z hmotnosti řidiče, spolujezdce a hmotností balíků. Poslední veličinou je samotné zrychlení vozidla a .

Největší vliv na součinitel rotačních hmot vozidla se stupňovitou převodovkou má moment setrvačnosti spalovacího motoru I_{sm} , převodovky I_p a momenty setrvačnosti jednotlivých kol $\sum I_{ki}$. Ve vztahu též vystupuje moment setrvačnosti výstupního hřídele

z převodovky I_{vh} . S uvažováním těchto veličin lze velikost součinitele rotačních hmot rozepsat dle následujícího vztahu. [81]

$$\delta = 1 + \frac{(I_{sm} + I_p) \cdot i_c^2 + I_{vh} \cdot i_r^2 + \sum I_{ki}}{m_{poh} \cdot r_d^2} \quad (11)$$

V čitateli dále vystupuje celkový převod i_c , stálý převod rozvodovky i_r . Ve jmenovateli je naopak pohotovostní hmotnost m_{poh} a dynamický poloměr kola r_d . V tomto vztahu je tedy I_p součet momentů setrvačnosti všech rotujících dílů převodovky redukováných na vstupní hřídel převodovky.

Součinitel rotačních hmot tedy závisí na kvadrátu velikosti celkového převodu. Celkový převod lze dále rozepsat. [76]

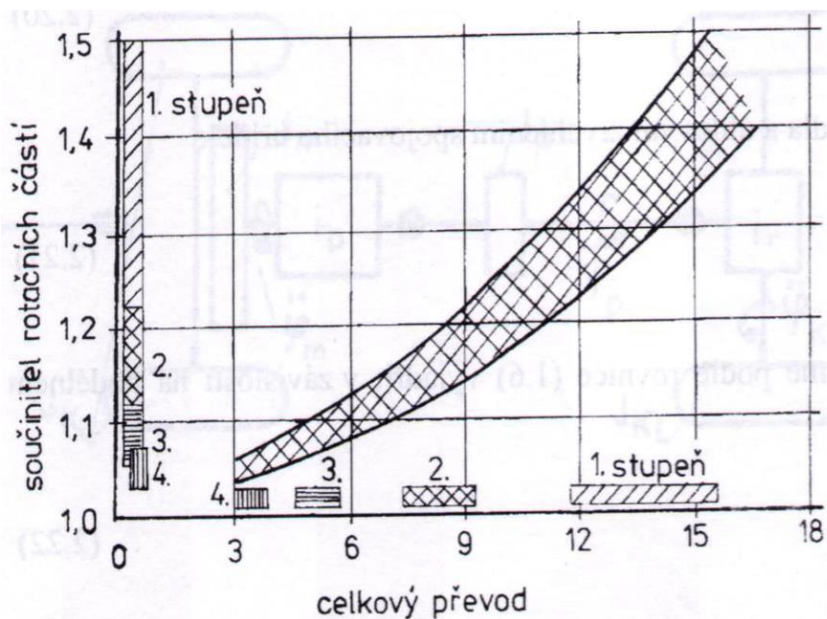
$$i_c = i_p \cdot i_r \quad (12)$$

Je tedy dán součinem převodu zařazeného převodového stupně i_p a stálého převodu rozvodovky i_r .

Hodnota součinitele rotačních hmot tedy závisí na zařazeném rychlostním stupni. Platí, že pro první rychlostní stupeň je hodnota součinitele největší, naopak při jízdě na vyšším rychlostním stupni je jeho hodnota nižší. [76] [77]

Pro určení součinitele rotačních hmot pro jednotlivé rychlostní stupně dodávky Peugeot Boxer by bylo nutné znát všechny zmíněné parametry, které ovšem nebyly k dispozici. Pro výpočet byla tedy jeho hodnota odhadnuta dle následujících zdrojů.

Prvním zdrojem je diagram zobrazující závislost velikosti δ na celkovém převodu dle zdroje [76]. Závislost je znázorněna v rozsahu možných hodnot pro daný celkový převod. Pro první a částečně druhý rychlostní stupeň nabývá součinitel rotačních hmot možných hodnot větších než 1,2. Pro ostatní stupně je již hodnota součinitele menší, pro nejvyšší stupeň dokonce menší než 1,1.



Obrázek 31 Závislost součinitele rotačních hmot na celkovém převodu [76]

Zdroj [77] uvádí hodnoty součinitele rotačních hmot pro první stupeň v intervalu 1,2 až 1,5 pro osobní vozidla a 1,4 až 3 pro nákladní automobily, naopak pro nejvyšší stupně pro osobní i nákladní vozidla v rozpětí od 1,04 do 1,08.

Jelikož se jízdní cykly České pošty skládají z oblastí, ve kterých je dominantní jízda na vyšší rychlostní stupně a také na nižší rychlostní stupně, byly ve výpočtu energetické náročnosti na kolech použity dvě konstantní hodnoty δ . Pro oblasti s často zařazenými nižšími rychlostními stupni byla použita hodnota $\delta = 1,2$, pro částí cyklu s vyššími rychlostními stupni $\delta = 1,1$. U jednotlivých druhů cyklů bude blíže popsána oblast použití větší a menší hodnoty součinitele rotačních hmot.

Srovnání tohoto zjednodušeného výpočtu s verzí, která respektuje jednotlivé zařazené rychlostní stupně, bude provedeno v kapitole zabývající se citlivostní analýzou součinitele rotačních hmot.

6.1.1.5 Hnací síla na kolech vozidla

Součet zmíněných jízdních odporů určuje velikost výsledného jízdního odporu. Hnací síla na kolech je síla nutná pro překonání jízdních odporů. [76] [77]

$$F_k = O_f + O_v + O_\alpha + O_a \quad (13)$$

6.1.2 Energetická bilance jízdních odporů na kolech vozidla

Potřebná energie na kolech vozidla je získána integrací jednotlivých jízdních odporů.

6.1.2.1 Energie valivého odporu

Energii valivého odporu lze vyjádřit pomocí integrace síly podle dráhy. V případě valivého odporu tedy.

$$E_f = \int_{s_p}^{s_k} O_f ds = \int_{s_p}^{s_k} m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha ds \quad (14)$$

Symbole s_p a s_k definují okrajové podmínky výpočtu, tedy pomocí s_p je určen počátek a dle s_k konec integrace.

Tuto integraci dle dráhy lze upravit a valivý odpor integrovat dle času.

$$\int_{s_p}^{s_k} m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha ds = \int_{t_p}^{t_k} m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \cdot v(t) dt \quad (15)$$

Označení t_p nyní charakterizuje počáteční časový bod intervalu, t_k naopak koncový.

Rychlost $v(t)$ je tedy veličina závislá na čase. Integrace je tedy provedena zvlášť pro fázi zrychlování a zpomalování, poté pro jízdu s konstantní rychlostí.

V případě zrychlování či zpomalování lze odvodit.

$$E_f = m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{a} \cdot \left(\frac{v_k^2}{2} - \frac{v_p^2}{2} \right) \quad (16)$$

Kde v_k je koncová a v_p počáteční rychlost intervalu. Zrychlení a je dopočítáno dle vztahu.

$$a = \frac{v_k - v_p}{t_k - t_p} \quad (17)$$

Pro část jízdy s konstantní rychlostí je odvozen vztah.

$$E_f = m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \cdot v_{interval} \cdot (t_k - t_p) \quad (18)$$

Rychlost intervalu $v_{interval}$ je určena počáteční v_p či koncovou rychlostí v_k daného intervalu.

6.1.2.2 Energie odporu vzduchu

Jako v předchozím případě je energie odporu vzduchu odvozena z integrace odporu vzduchu podle dráhy.

$$E_v = \int_{s_p}^{s_k} O_v ds = \int_{s_p}^{s_k} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v(t)^2 ds \quad (19)$$

Integraci dle dráhy lze opět převést na časovou integraci.

$$\int_{s_p}^{s_k} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v(t)^2 ds = \int_{t_p}^{t_k} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v(t)^3 dt \quad (20)$$

Z tohoto integrálu lze poté odvodit vztah pro fázi akcelerace a brzdění.

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot \frac{1}{a} \cdot \left(\frac{v_k^4}{4} - \frac{v_p^4}{4} \right) \quad (21)$$

Pro jízdu s konstantní rychlostí.

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_{interval}^3 \cdot (t_k - t_p) \quad (22)$$

6.1.2.3 Energie odporu stoupání

Energie je určena jako integrál odporu stoupání dle ujeté dráhy.

$$E_\alpha = \int_{s_p}^{s_k} O_\alpha ds = \int_{s_p}^{s_k} m \cdot g \cdot \sin \alpha ds \quad (23)$$

A integraci dle času lze získat následujícím způsobem.

$$\int_{s_p}^{s_k} m \cdot g \cdot \sin \alpha ds = \int_{t_p}^{t_k} m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot v(t) dt \quad (24)$$

Pro energii odporu stoupání ve fázi zrychlení a brzdění platí.

$$E_\alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{a} \cdot \left(\frac{v_k^2}{2} - \frac{v_p^2}{2} \right) \quad (25)$$

Pro jízdu s konstantní rychlostí pak.

$$E_{\alpha} = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot v_{interval} \cdot (t_k - t_p) \quad (26)$$

6.1.2.4 Energie odporu zrychlení

Pro energii odporu zrychlení platí totéž odvození jako v předchozích případech.

$$E_a = \int_{s_p}^{s_k} O_a ds = \int_{s_p}^{s_k} (m_{poh} \cdot \delta + m_{zatížení}) \cdot a ds \quad (27)$$

Při uvažování konstantního zrychlení v daném intervalu lze poté určit časový integrál.

$$\begin{aligned} & \int_{s_p}^{s_k} (m_{poh} \cdot \delta + m_{zatížení}) \cdot a ds = \\ & = \int_{t_p}^{t_k} (m_{poh} \cdot \delta + m_{zatížení}) \cdot a \cdot v(t) \cdot dt \end{aligned} \quad (28)$$

Fáze zrychlení či brzdění je poté dána vztahem.

$$E_a = (m_{poh} \cdot \delta + m_{zatížení}) \cdot \left(\frac{v_k^2}{2} - \frac{v_p^2}{2} \right) \quad (29)$$

Při jízdě konstantní rychlostí nevzniká odpor zrychlení.

$$E_a = 0 \quad (30)$$

6.1.2.5 Energie na kolech vozidla

Celková energie na kolech vozidla v daném časovém intervalu je posléze získána součtem energií jednotlivých jízdních odporů.

$$E_{kolo} = E_f + E_v + E_{\alpha} + E_a \quad (31)$$

Energie valivého odporu a odporu vzduchu nabývá vždy kladných hodnot, zatímco energie odporu stoupání a zrychlení mohou být záporné či nulové. Pokud hodnota výsledné energie na kolech nabývá kladné hodnoty, energii je třeba na kola vozidla dodávat. Jak již bylo řečeno, součtem všech kladných hodnot celkových energií intervalu denního nájezdu je získána energetická náročnost na kolech vozidla pro naftovou dodávku Peugeot-Boxer. Hodnota záporné energie intervalu na kolech vozidla může být zpětně získána pomocí rekuperace v případě vozidla s elektrickým či hybridním pohonem

a může tak být snížena výsledná energetická náročnost. Do trakční baterie se však s ohledem na účinnost pohonného soustrojí uloží pouze část této energie.

6.1.3 Výkon na kolech vozidla

Požadovaný výkon na kolech vozidla je určen pomocí celkové energie na kolech vozidla dle následujícího vztahu.

$$P_{kolo} = \frac{E_{kolo}}{t_k - t_p} \quad (32)$$

Výkon na kolech vozidla tedy podobně jako celková energie na kolech vozidla může vyjít s kladným či záporným znaménkem.

6.2 Analýza časového kroku výpočtu a dat rychlosti

Pro výpočet energetické náročnosti a požadovaného výkonu na kolech vozidla je tedy nutné průběh rychlosti rozdělit do jednotlivých intervalů, ve kterých je uvažována konstantní hodnota zrychlení. Volba časového kroku výpočtu a tedy zjednodušení skutečného průběhu rychlosti může mít vliv na výslednou hodnotu energetické náročnosti. Z tohoto důvodu je tedy v této kapitole provedena analýza časového kroku výpočtu na výslednou hodnotu energetické náročnosti na kolech vozidla.

Dalším parametrem, který má vliv na výslednou hodnotu energetické náročnosti, je samotný průběh rychlosti. Jak již bylo zmíněno, průběh rychlosti byl měřen pomocí GPS a diagnostického rozhraní. Při zvolených časových krocích výpočtu je tedy též provedeno srovnání výsledných hodnot energetických náročností vypočtených z Výpočetní rychlosti E-OBD a GPS.

Tato analýza je provedena na denním nájezdu označeném jako MMC2, který bude podrobněji vysvětlen v další kapitole. Následující tabulka zobrazuje výsledky analýzy. Pro analýzu byly zvoleny časové kroky výpočtu 2, 3, 4 a 5 sekund, ve kterých byla uvažována konstantní hodnota zrychlení. V tabulce jsou dané časové kroky uspořádány po sloupcích. Na spodních dvou řádcích jsou poté zobrazeny celkové energie na kolech vozidla pro nájezd MMC2 v *kWh* dle dat rychlostí GPS a diagnostického rozhraní. Na vrchním řádku jsou znázorněny výsledky dle dat GPS při jednotlivých časových krocích, naopak na dolním řádku jsou zobrazeny celkové hodnoty energetické náročnosti na kolech vozidla podle Výpočetní rychlosti E-OBD.

Celková energie na kolech vozidla pro MMC2 [kWh]				
Časový krok [s]	2	3	4	5
GPS	38,4	37,6	37,0	36,7
E-OBD	37,3	37,0	36,6	36,4

Tabulka 14 Analýza časového kroku výpočtu a dat rychlosti

Celkové energie na kolech vozidla pro nejmenší časový krok 2 s dle dat GPS vyšla 38,4 kWh a tato hodnota je větší než při nejdelším časovém kroku 5 s, při kterém je velikost energetické náročnosti rovna 36,7 kWh dle GPS. Hodnoty se tedy liší přibližně o 1,7 kWh, v procentech tento rozdíl nabývá hodnoty 4,4 %. Z tabulky je dále vidět, že celková energie na kolech vozidla dle Výpočetní rychlosti E-OBD při časovém kroku 2 s nabývá hodnoty 37,3 kWh a je opět větší než při kroku 5 s, při kterém hodnota celkové energie vyšla 36,4 kWh. Tedy rozdíl v datech rychlosti podle E-OBD je 0,9 kWh, tedy se tyto hodnoty liší o 2,4 %. Velikost energetické náročnosti tedy v obou případech roste s menším časovým krokem výpočtu.

Velikost energetické náročnosti vypočtené z dat rychlosti GPS vychází při libovolném časovém kroku větší než z dat získaných pomocí diagnostického rozhraní. Zároveň se rozdíl zvyšuje s menším časovým krokem výpočtu. Při nejdelším časovém kroku je rozdíl roven pouze 0,3 kWh, ale při časovém kroku výpočtu 2 s nabývá hodnoty 1,1 kWh. Tento fakt je dán tím, že i po filtraci je průběh rychlosti dle GPS méně plynulejší než filtrovaný průběh rychlosti dle E-OBD. Nejvíce se tedy tato skutečnost projevila při časovém kroku 2 s, při kterém nejvíce odpovídá průběh rychlosti použitý ve výpočtu naměřenému.

Lze tedy usoudit, že hodnoty celkové energie na kolech vozidla vypočtené z dat GPS a diagnostického rozhraní vozidla vycházejí do určitého časového kroku téměř totožné a s menším časovým krokem dochází k nepatrnému nárůstu energetické náročnosti v obou případech. Vzniklé rozdíly mezi hodnotami dle GPS a E-OBD, zejména při menších časových krocích, jsou způsobeny principem funkce GPS.

Pro výpočet energetické náročnosti všech ostatních jízdních nájezdů České pošty byla použita pouze data rychlosti získaná z diagnostického rozhraní vozidla s uvažováním konstantní hodnoty zrychlení v časovém kroku 2 s. Rozdíl mezi 2 s a 3 s je přibližně 0,8 %. Lze očekávat, že při volbě menšího časového kroku výpočtu než 2 s by hodnota

energetické náročnosti vyšla o něco větší než v případě 2 s. Menší časový krok výpočtu již s ohledem na případné nepřesnosti měření nebyl použit.

6.3 Popis a vyhodnocení jízdních cyklů

Naměřené jízdni trasy jsou rozděleny dle místa doručování do tří skupin, označované jako Mimoměstský, Městský a Příměstský cyklus, jak již bylo zmíněno. Každý druh byl proměřen třikrát. Jednotlivé denní nájezdy Mimoměstské cyklu jsou označovány pod zkratkou MMCx, kde poslední znak x symbolizuje pořadové číslo konkrétního měření a vyhodnocení daného druhu cyklu. Tedy například druhý nájezd Mimoměstského cyklu nese označení MMC2. Obdobně jsou označovány jednotlivé měření a vyhodnocení Městského cyklu jako MCx a Příměstského jako PMCx.

Trasa každého druhu cyklu je zobrazena na mapě a slovně popsána. Pro zobrazení daného druhu cyklu je vždy vybrán jeden konkrétní denní nájezd, odlišnosti ostatních denních nájezdů jsou slovně vysvětleny. Jednotlivé mapy byly sestrojeny pomocí webové aplikace Mapy.cz [82] na základě naměřených dat dle jednotky CarScout a mobilní aplikace Sports Tracker. Hodnota počtu kilometrů denního nájezdu je určena právě na základě takto sestrojené mapy.

Každý denní nájezd je posléze rozdělen na tři části. Příjezd tvoří část denního nájezdu od výjezdu z depa Rudná do oblasti doručování, ve které probíhá samotná rozvážka balíků. Odjezd představuje zbytek denního nájezdu a tento úsek je vymezen od místa konce doručování až do příjezdu do depa Rudná. Toto rozdělení denního nájezdu posléze slouží k analýze vlivu jednotlivých vnějších faktorů na celkovou hodnotu energetické náročnosti.

U každého cyklu je též poznamenán údaj o počáteční hmotnosti nákladu. Objem nákladového prostoru je při návratu do depa Rudná vždy zcela vyprázdněn. Časový úbytek hmotnosti nákladu jednotlivých cyklů je ovšem různý. Příčinou je různá poloha doručovacích adres a jejich celkový počet.

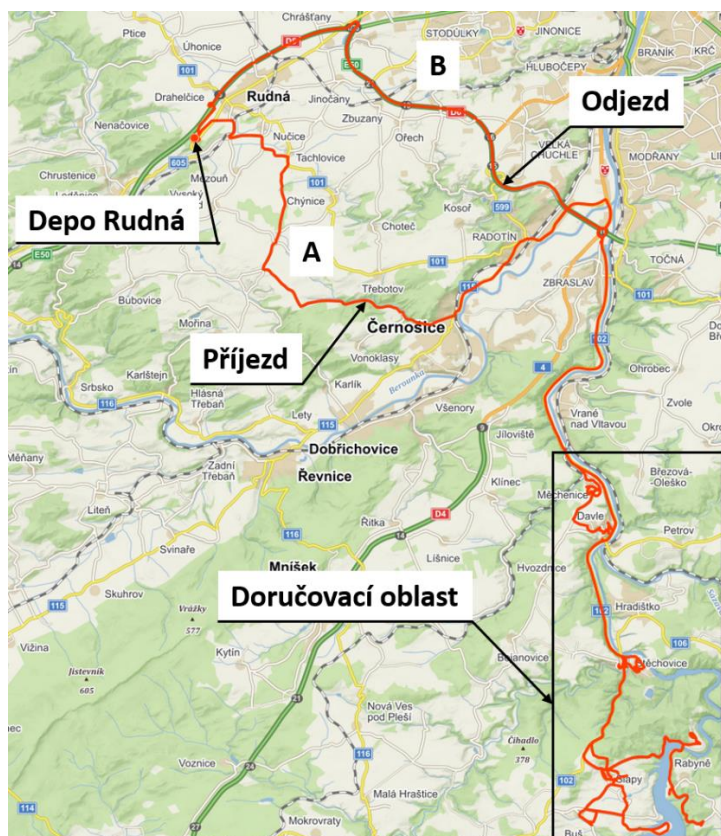
6.3.1 Mimoměstský cyklus

Jednotlivé naměřené nájezdy Mimoměstského cyklu se pohybují přibližně od 137 km do 152 km. Jedná se tedy o druh cyklu s největší hodnotou denního nájezdu. Následující tabulka zobrazuje jednotlivé denní nájezdy Mimoměstského cyklu s příslušným počátečním nákladem.

Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Mimoměstského cyklu		
	Denní nájezd [km]	Hmotnost nákladu [kg]
MMC1	136,8	99,0
MMC2	141,8	165,3
MMC3	152,1	222,9

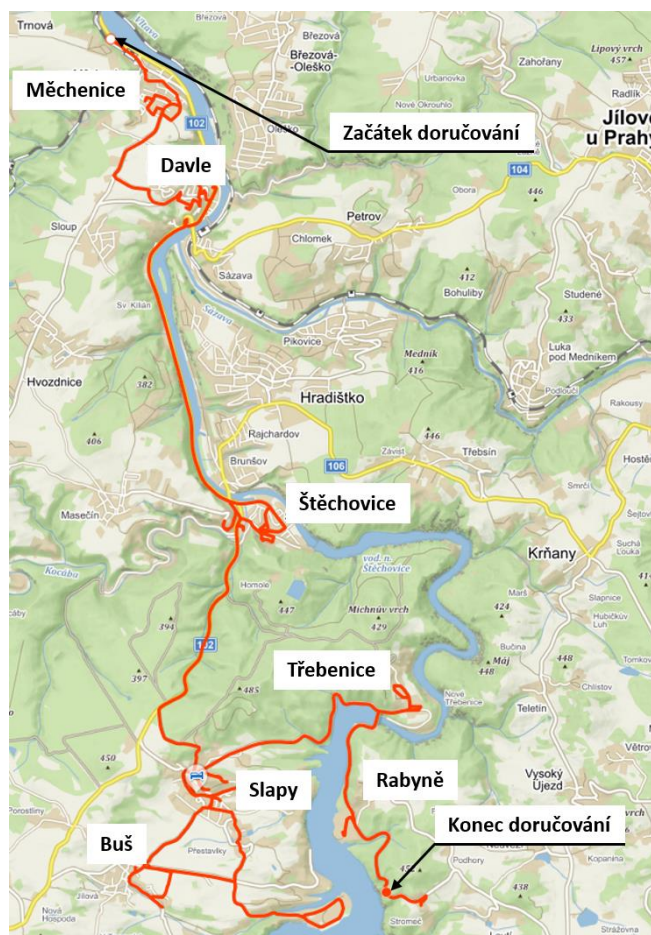
Tabulka 15 Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Mimoměstského cyklu

Na zobrazené mapě je zobrazen denní nájezd MMC2. Příjezd z depa Rudná do doručovací oblasti byl uskutečněn mimo dálnici – trasa A, naopak odjezd byl realizován z části po dálnici – trasa B. Stejný způsob přejezdu mezi depem Rudná a doručovací oblastí byl proveden i v případě MMC3. Naopak příjezd a odjezd u MMC1 byl uskutečněn vždy z části po dálnici – vždy trasa B.



Obrázek 32 Mimoměstský cyklus MMC2 [82]

Doručovací oblast Mimoměstského cyklu je vymezena příjezdem do první obce, ve které docházelo k doručování. Touto první obcí je Měchenice. Oblast doručování se skládá z již zmíněné obce Měchenice, dále z obcí Davle, Štěchovice, Slapy, Buš, Třebenice a Rabyně. Během doručování se ovšem zajíždělo i do okolních kempů a chatových oblastí. Na dalším obrázku je vidět detail doručovací oblasti nájezdu MMC2.



Obrázek 33 Doručovací oblast MMC2 [82]

Snahou zaměstnance České pošty je doručovat balíky postupně po jednotlivých obcích. Pokud není balík doručen k zákazníkovi v dané obci, je uložen na místní poště. Nejprve dochází k doručování v levobřežní části doručovací oblasti od nejseverněji položené obce Měchenice a doručování pokračuje postupně v obci Davle, Štěchovice, Slapy a Buš. Poté dodávka s balíky zajíždí do obce Třebenice a Rabyně. Doručování je ukončeno v oblasti Rabyně v okamžiku předání balíku poslednímu zákazníkovi. Od tohoto okamžiku se již dodávka s řidičem vrací zpět do depa.

Pro část doručování je hodnota součinitele rotačních hmot nastavena na hodnotu 1,2. Pro příjezd a odjezd je naopak ve výpočetním programu nastavena velikost součinitele na hodnotu 1,1.

V oblasti doručování nebyla v jednotlivých dnech vždy zvolena ta samá trasa. Způsob pohybu v dané obci záležel na doručovacích adresách v daném dni. Docházelo i k opětovným návratům na doručovací adresy, ve kterých nebyl napoprvé předán balík do rukou zákazníka.

Jednotlivé denní nájezdy Mimoměstského cyklu lze rozdělit na tři části, které odpovídají předchozímu popisu. Část příjezdu do doručovací oblasti, Rudná – Měchenice. Dále na část doručování, Měchenice – Rabyně. Zbýlý úsek tvoří odjezd, Rabyně – Rudná. Následující tabulka zobrazuje počet kilometrů jednotlivých denních nájezdů Mimoměstského cyklu a rozložení daného denního nájezdu na výše popsané části.

Rozdělení denního nájezdu Mimoměstského cyklu				
	Denní nájezd [km]	Příjezd [km]	Doručování [km]	Odjezd [km]
MMC1	136,8	30,2	50,6	56,0
MMC2	141,7	36,0	53,8	51,9
MMC3	152,1	36,0	63,6	52,5

Tabulka 16 Rozdělení denního nájezdu Mimoměstského cyklu

Ve všech případech je počet ujetých kilometrů při doručování menší než součet počtu kilometrů příjezdu a odjezdu. Další tabulka zobrazuje samotné vyhodnocení energetické náročnosti na kolech vozidla jednotlivých denních nájezdů. Podobně jako v předchozí tabulce je zde zobrazen údaj pro celý denní nájezd a poté pro každou část zvlášť.

Energetická náročnost na kolech vozidla Mimoměstského cyklu				
	Denní nájezd [kWh]	Příjezd [kWh]	Doručování [kWh]	Odjezd [kWh]
MMC1	32,4	6,4	12,1	13,9
MMC2	37,3	8,1	14,4	14,8
MMC3	35,7	7,5	15,8	12,4

Tabulka 17 Energetická náročnost na kolech vozidla Mimoměstského cyklu

Nejvíce energeticky náročný nájezd Mimoměstského cyklu je MMC2, pro který hodnota energetické náročnosti vozidla na kolech nabývá hodnoty 37,3 kWh. Energetická

náročnost MMC2 je tedy větší než nájezd s největším počtem ujetých kilometrů MMC3. Pro MMC3 hodnota energetické náročnosti dosahuje hodnoty $35,7 \text{ kWh}$. Tento fakt je zapříčiněn dynamičtější jízdou MMC2 při příjezdu a zvláště při odjezdu. Naopak u MMC3 vychází větší energetická náročnost při doručování, což odpovídá většímu počtu kilometrů v části doručování. Nejméně energeticky náročný nájezd je MMC1 s nejmenším počtem ujetých kilometrů. Celková energie na kolech vozidla se pro tento nájezd rovná $32,4 \text{ kWh}$.

Energetická náročnost doručování vychází ve všech případech menší než součet energie příjezdu a odjezdu. Hodnota energetické náročnosti doručování vychází největší pro nejdelší nájezd MMC3, zatímco nejmenší hodnota pro nejkratší nájezd MMC1.

Pro další analýzu je vhodné bilancovat energetickou náročnost v jednotkách $\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}$ z důvodu odlišného počtu kilometrů v jednotlivých částech.

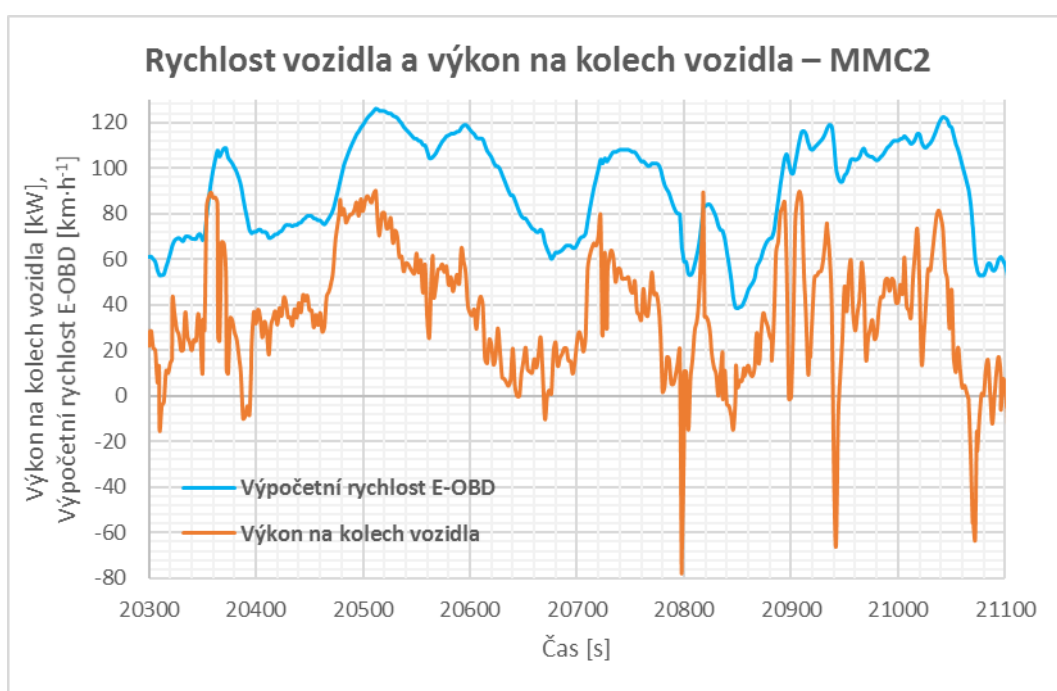
Spotřeba energie na kolech vozidla Mimoměstského cyklu				
	Denní nájezd [$\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}$]	Příjezd [$\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}$]	Doručování [$\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}$]	Odjezd [$\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}$]
MMC1	23,7	21,2	23,9	24,8
MMC2	26,3	22,5	26,8	28,5
MMC3	23,5	20,8	24,8	23,6

Tabulka 18 Spotřeba energie na kolech vozidla Mimoměstského cyklu

Z tabulky je zřejmé, že hodnota spotřeby energie na kolech vozidla pro denní nájezd MMC1 a MMC3 vychází podobně okolo $23,6 \text{ kWh} \cdot \text{km}^{-1}$. Největší hodnota vychází pro MMC2 $26,3 \text{ kWh} \cdot \text{km}^{-1}$. Tento fakt je dán nejdynamičtějším stylem jízdy ze všech denních nájezdů. Dále je patrné, že velikost spotřeby energie odjezdu vychází ve všech případech větší než pro část příjezdu. První příčinou je převážně klesající profil vozovky v případě příjezdu a z velké části naopak stoupající profil vozovky v okamžiku odjezdu. Dodávka tedy v případě příjezdu vyjíždí z Depa Rudná nacházející se v nadmořské výšce přibližně 385 m n. m. [75] a přijíždí do doručovací oblasti, která je v nejnižší nadmořské výšce na úrovni údolí Vltavy okolo 202 m n. m. [75]. Druhým důvodem je snaha řidiče o rychlý návrat do depa Rudná po skončení doručování. Tato příčina je patrná v případě nájezdu MMC2. Při tomto odjezdu byla dosažena největší spotřeba energie na kolech vozidla $28,5 \text{ kWh} \cdot \text{km}^{-1}$. Na spotřebu na kolech vozidla v případě doručování má

podstatný vliv časté zastavování, například při nájezdu MMC2 došlo v součtu k 53 zastávkám pro předání balíku.

Výkon na kolech vozidla dosahuje největších hodnot v části odjezdu a částečně v případě příjezdu. Při doručování v obci není dosahováno vysokých výkonů, vyšší hodnoty lze zaznamenat při přesunu dodávky mezi jednotlivými obcemi v doručovací oblasti. Průběhy výkonu na kolech vozidla jednotlivých denních nájezdů jsou zobrazeny v příslušných výpočetních programech energetické náročnosti. Pro ukázkou je v následujícím grafu zobrazen průběh výkonu na kolech vozidla a rychlosti vozidla nájezdu MMC2 při návratu do depa Rudná v okamžiku jízdy po dálnici.



Obrázek 34 Rychlost vozidla a výkon na kolech vozidla – MMC2

6.3.2 Městský cyklus

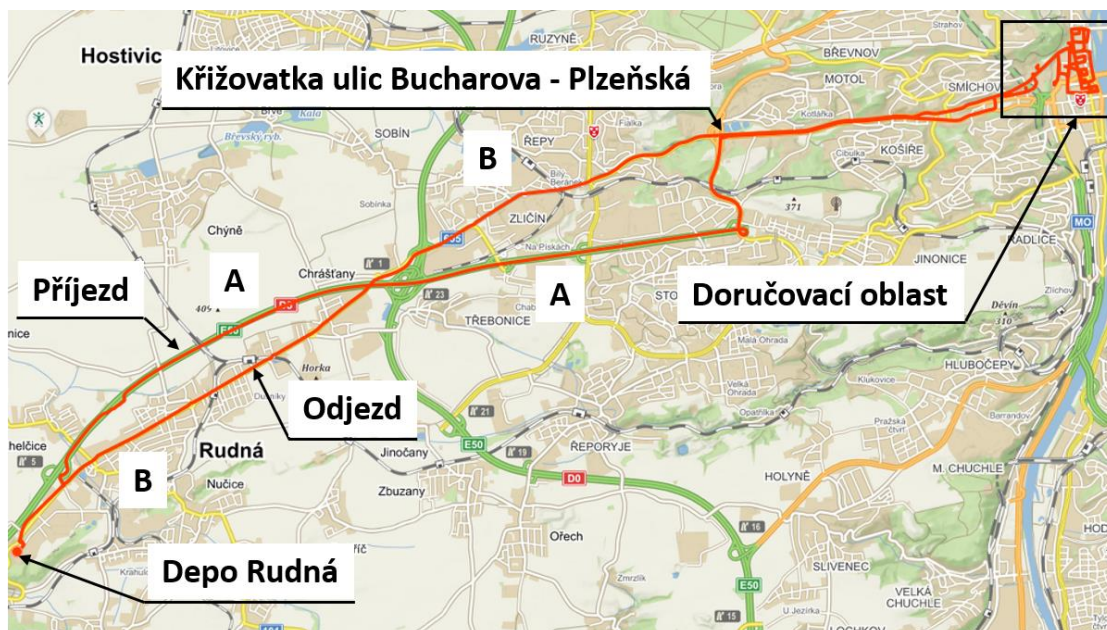
Hodnoty denních nájezdů Městského cyklu se pohybují kolem 50 km, což je přibližně třikrát méně než nejdelší denní nájezd Mimoměstského cyklu. Jedná se tedy o druh cyklu s nejmenší hodnotou denního nájezdu. V další tabulce jsou uvedeny jednotlivé denní nájezdy s počáteční hmotností nákladu.

Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Městského cyklu		
	Denní nájezd [km]	Hmotnost nákladu [kg]
MC1	48,0	288,0
MC2	50,1	416,2
MC3	47,7	421,6

Tabulka 19 Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Městského cyklu

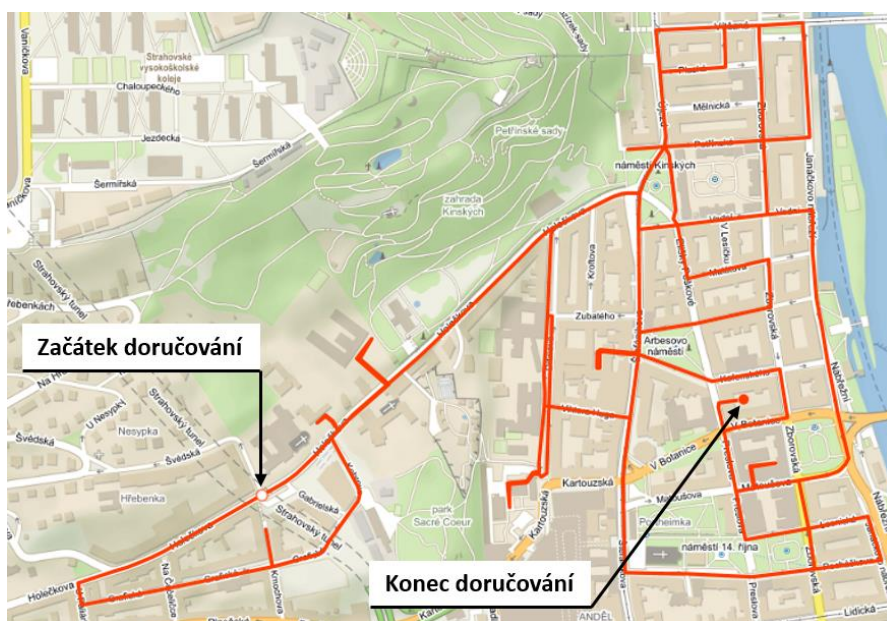
Počáteční hmotnost nákladu ve srovnání s Mimoměstským cyklem dosahuje větších hodnot. Na následující mapě je zobrazen denní nájezd MC1. Příjezd do doručovací oblasti byl realizován z části po dálnici – trasa A, odjezd naopak mimo dálnici – trasa B. Stejný způsob přejezdu mezi depem Rudná a doručovací oblastí byl realizován i v případě MC3. Nájezd MC2 se od ostatních odlišuje způsobem odjezdu z doručovací oblasti. V tomto případě se řidič vrátil z doručovací oblasti opět po dálnici, tedy použil stejnou trasu jako pro příjezd – trasa A.

Hodnota součinitele rotačních hmot je nastavena na 1,1 pro část příjezdu, ve které se dodávka pohybovala po dálnici a následně po rychlostní silnici. Tedy hodnota 1,1 je uvažována až do okamžiku přejezdu křižovatky ulic Bucharova – Plzeňská. Pokud řidič nezvolil zpáteční jízdu opět pomocí dálnice, je hodnota součinitele rotačních hmot po zbytek jízdy nastavena na 1,2. V případě návratu po dálnici je hodnota součinitele hmot opět nastavena na hodnotu 1,1 od okamžiku průjezdu křižovatkou ulic Bucharova – Plzeňská až do depa Rudná.



Obrázek 35 Městský cyklus MC1 [82]

Doručovací oblast se skládá z části Smíchova. Doručování balíků začíná v ulici Holečkova a dále se pokračuje v okolních ulicích. Zaměstnanec České pošty zajíždí do jednotlivých ulic části Smíchova přibližně ve stejném pořadí každý den a ve většině z těchto ulic se v měřených dnech doručovalo. Oproti Mimoměstskému cyklu docházelo častěji k doručování na pravidelných adresách. Ovšem hmotnosti balíků se v jednotlivých dnech lišily pro konkrétní zákazníky. Nedoručené balíky jsou uskladněny na pobočce pošty pro Prahu 5 v Preslově ulici. Poté se dodávka vrací zpět do depa. Na dalším obrázku je vidět detail doručovací oblasti nájezdu MC1.



Obrázek 36 Doručovací oblast MC1 [82]

Denní nájezdy Městského cyklu lze podobně jako u Mimoměstského cyklu rozdělit na část příjezdu do doručovací oblasti, Rudná – Holečkova. Dále na část doručování, Holečkova – Preslova a poslední část odjezdu, Preslova – Rudná. Další tabulka ukazuje rozdělení denního nájezdu na tyto části.

Rozdělení denního nájezdu Městského cyklu				
	Denní nájezd [km]	Příjezd [km]	Doručování [km]	Odjezd [km]
MC1	48,0	18,5	11,8	17,7
MC2	50,1	18,5	11,0	20,6
MC3	47,7	18,5	11,1	18,1

Tabulka 20 Rozdělení denního nájezdu Městského cyklu

Hodnoty celkových nájezdů v jednotlivých dnech jsou tedy velmi podobné. Stejný fakt platí i pro část doručování. Na doručování připadá z celého denního nájezdu pouze 11 až 12 km a velkou část denního nájezdu tedy tvoří přejezd mezi depem Rudná a doručovací oblastí. Následující tabulka již zobrazuje vyhodnocení energetické náročnosti na kolech vozidla pro jednotlivé denní nájezdy Městského cyklu a zároveň je v této tabulce rozdělení energetické náročnosti na výše popsané části.

Energetická náročnost na kolech vozidla Městského cyklu				
	Denní nájezd [kWh]	Příjezd [kWh]	Doručování [kWh]	Odjezd [kWh]
MC1	14,6	5,6	3,7	5,3
MC2	17,5	6,0	3,0	8,5
MC3	13,1	5,3	2,7	5,1

Tabulka 21 Energetická náročnost na kolech vozidla Městského cyklu

Zatímco počty kilometrů jednotlivých denních nájezdů Městského cyklu se mezi sebou navzájem příliš neliší, v energetické bilanci na kolech vozidla lze naopak vidět rozdíly. Nejméně energeticky náročný je nájezd MC3, pro který je hodnota energetické náročnosti rovna 13,1 kWh. Energie na kolech vozidla pro příjezd a odjezd nájezdu MC1 a MC3 je přibližně stejná. Pro příjezd se velikost energie pohybuje kolem 5,5 kWh, pro odjezd je tato hodnota přibližně 5,2 kWh. Tyto dva nájezdy se liší v části doručování. Pro MC1 je potřebná energie na kolech vozidla rovna 3,7 kWh a je tedy větší o 1 kWh než pro nájezd MC3, pro který energie na kolech nabývá velikosti 2,7 kWh. Tento fakt

je způsoben o něco větším nájezdem a dynamičtější jízdou v části doručování MC1. V případě MC3 byl způsob jízdy méně dynamický. Z tohoto důvodu vychází hodnota energetické náročnosti na kolech vozidla pro nájezd MC1 14,6 kWh a je tedy o 1,5 kWh větší než pro MC3. Nejvíce energeticky náročný je denní nájezd MC2 s hodnotou 17,5 kWh. V tomto případě energetická náročnost pro doručování je rovna 3 kWh a není z vypočtených energií extrémní hodnotou. Ovšem pro část příjezdu a odjezdu je hodnota energetické náročnosti MC2 ze všech naměřených nájezdů největší. Zatímco pro část příjezdu není rozdíl příliš veliký, pro případ odjezdu je odchylka značná. Jak již bylo zmíněno, v případě nájezdu MC2 byl zvolen odjezd po dálnici, zatímco u zbylých dvou případů proběhla zpáteční cesta do depa Rudná mimo dálnici. V případě odjezdu MC2 bylo snahou zaměstnance České pošty se vrátit z oblasti doručování do depa Rudná za nejkratší možný čas s maximálním využitím výkonových možností naftové dodávky Peugeot Boxer. V následující tabulce je provedena bilance energetické náročnosti v jednotkách $kWh \cdot km^{-1}$, ve kterých je tento fakt viditelný.

Spotřeba energie na kolech vozidla Městského cyklu				
	Denní nájezd [kWh · km ⁻¹]	Příjezd [kWh · km ⁻¹]	Doručování [kWh · km ⁻¹]	Odjezd [kWh · km ⁻¹]
MC1	30,4	30,2	31,4	29,9
MC2	34,9	32,4	27,2	41,3
MC3	27,5	28,6	24,3	28,2

Tabulka 22 Spotřeba energie na kolech vozidla Městského cyklu

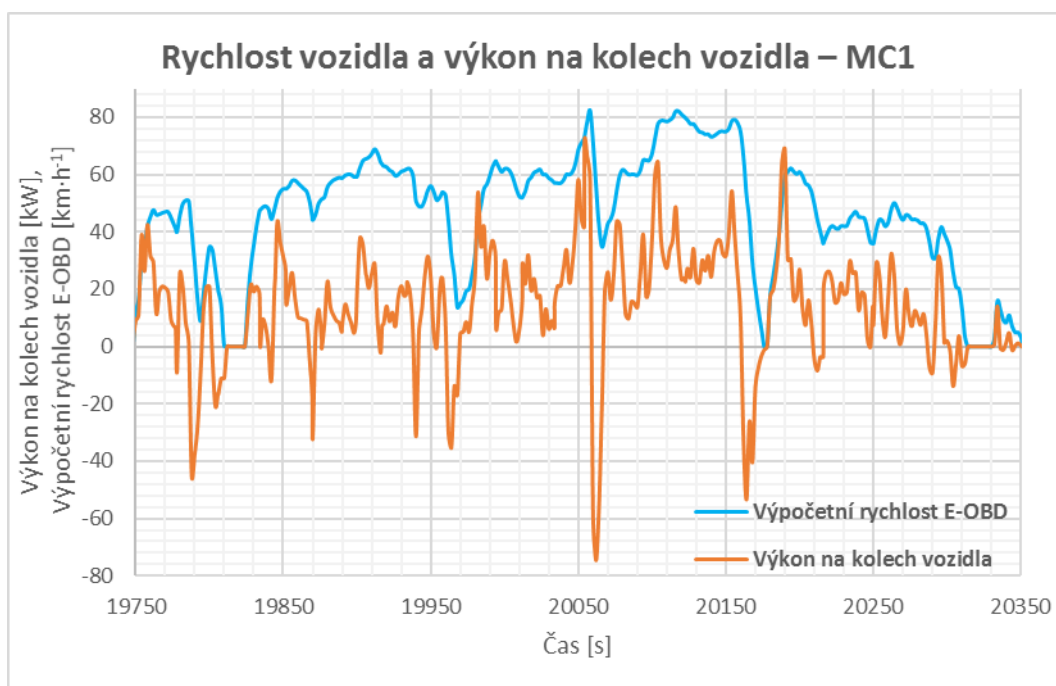
Pro případ odjezdu MC2 po dálnici je spotřeba energie rovna 41,3 kWh · km⁻¹, což je o více než 10 kWh · km⁻¹ větší hodnota než pro způsob odjezdu mimo dálnici. V případě odjezdu mimo dálnici nebylo dosahováno zdaleka takových rychlostí jako při návratu po dálnici. Naopak nejmenší spotřeby energie na kolech vozidla je dosahováno v případě nájezdu MC3. V tomto případě řidič zvolil mírnější styl jízdy než v ostatních dvou případech.

Při porovnání příjezdu a odjezdu je třeba opět vzít v potaz, že při příjezdu do doručovací oblasti se převážně klesalo, naopak při odjezdu stoupalo. Další významnou roli má způsob přejezdu mezi depem Rudná a doručovací oblastí. Jak již bylo zmíněno, při jízdě po dálnici bylo dosahováno významně větších rychlostí. Při těchto hodnotách rychlosti roste velikost odporu vzduchu a potřebné energie na jeho překonání.

V případě Městského cyklu jsou jednotlivé doručovací adresy blízko u sebe. Velmi často tedy docházelo k prudkému rozjezdu vozidla a téměř okamžitému zastavení. Tento způsob jízdy poté ovlivňuje energetickou náročnost vozidla v této oblasti.

Pro Městský cyklus vychází hodnoty spotřeby energie na kolech větší než v případě Mimoměstského cyklu. Tento fakt je způsoben dynamičtějším stylem jízdy řidiče, větším zastoupením dálničního provozu vzhledem k celkovému dennímu nájezdu, větší hmotností nákladu a výše zmiňovanému stylu jízdy v části doručování.

V níže zobrazeném grafu je zobrazen časový průběh rychlosti vozidla a požadovaného výkonu na kolech vozidla pro část odjezdu MC1. Zatímco při jízdě po dálnici bylo dosahováno největších hodnot rychlostí kolem $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, v případě odjezdu mimo dálnici dosahované hodnoty rychlostí nepřesáhly hodnotu $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Tento fakt má za následek nižší hodnoty požadovaného výkonu a potřebné energie v případě odjezdu mimo dálnici. Vypočtené časové průběhy výkonu na kolech v případě jízdy po dálnici jsou poté podobné grafu, který byl zobrazen v kapitole Mimoměstský cyklus.



Obrázek 37 Rychlost vozidla a výkon na kolech vozidla – MC1

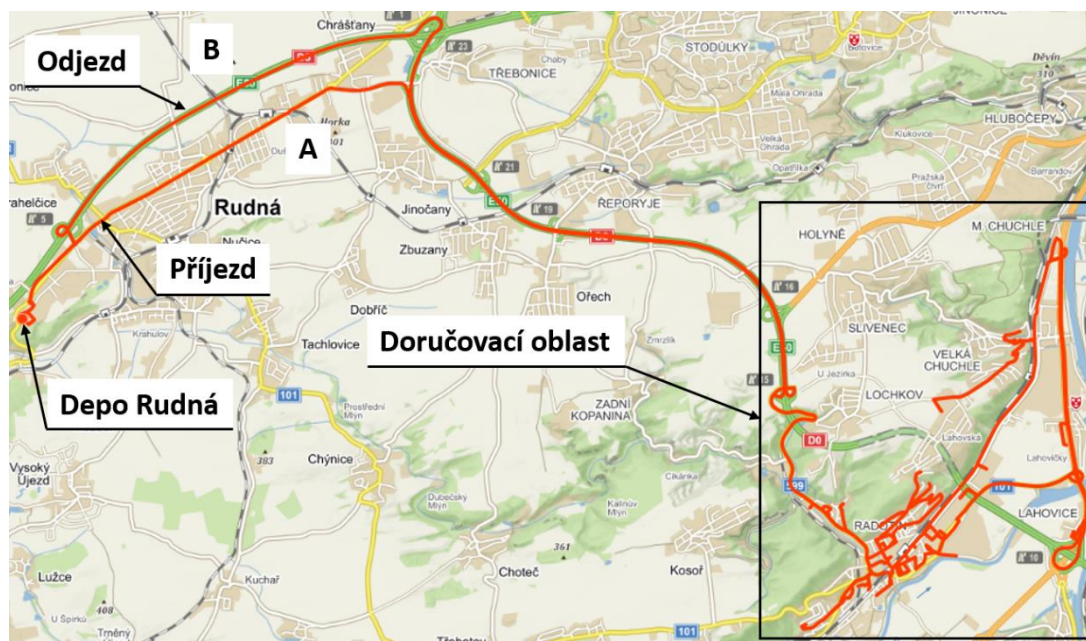
6.3.3 Příměstský cyklus

Denní nájezdy Příměstského cyklu se pohybují od 77 do 88 km. Tyto hodnoty jsou tedy menší než denní nájezdy Mimoměstského cyklu, ale zároveň větší než velikost denních nájezdů Městského cyklu. V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé denní nájezdy s počáteční hmotností nákladu.

Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Příměstského cyklu		
	Denní nájezd [km]	Hmotnost nákladu [kg]
PMC1	81,0	230,1
PMC2	87,5	357,1
PMC3	77,3	313,8

Tabulka 23 Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Příměstského cyklu

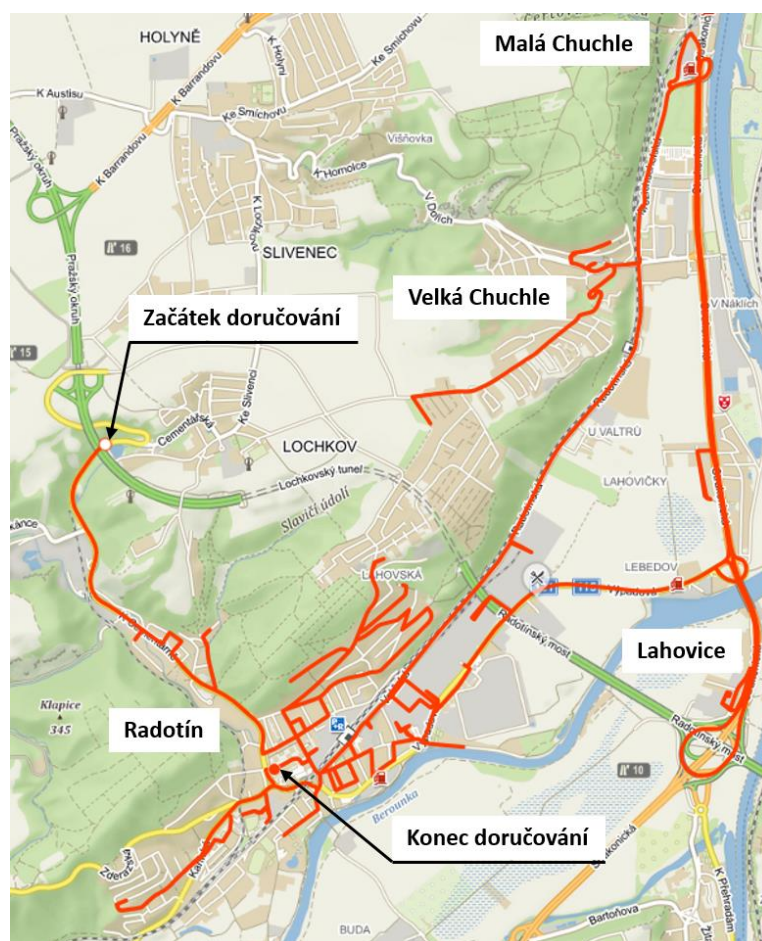
Počáteční hmotnost nákladu je tedy průměrně větší než u Mimoměstského cyklu a menší než u cyklu Městského. Způsob přejezdu mezi depem Rudná a doručovací oblastí je ve všech případech totožný. V případě příjezdu do doručovací oblasti nejprve dodávka projíždí centrem obce Rudná a poté najíždí na dálnici směřující do doručovací oblasti – trasa A. Odjezd je naopak realizován z větší části po dálnici a dodávka při návratu do centra obce Rudná nezajíždí – trasa B. Příjezd i odjezd je tedy realizován z části po Pražském okruhu. Na následující mapě je znázorněn denní nájezd PMC2.



Obrázek 38 Příměstský cyklus PMC2 [82]

Doručovací oblast se skládá z Radotína, Lahovice, Velké a Malé Chuchle s přilehlým okolím. Doručování začíná v oblasti výjezdu z Pražského okruhu a následně předávání balíků pokračuje v části Radotína. Posléze zaměstnanec České pošty zajíždí do městských čtvrtí Lahovice, Malá Chuchle a Velká Chuchle. Pokud nejsou v těchto třech zmiňovaných městských částech předány balíky zákazníkovi, jsou uloženy na místní poště ve Velké Chuchli. Nakonec dodávka zajíždí do zbylé části Radotína. Doručování je ukončeno na pobočce České pošty v Radotíně, kde jsou uschovány nepředané balíky pro zákazníky s doručovací adresou v Radotíně. Poté se dodávka vrací zpět do depa.

Hodnota součinitele rotačních hmot je uvažována pro tuto část doručování 1,2. Pro příjezd a odjezd je ve výpočetním programu velikost součinitele nastavena na hodnotu 1,1. Další obrázek znázorňuje doručovací oblast nájezdu PMC2.



Obrázek 39 Doručovací oblast PMC2 [82]

Podobně jako u Mimoměstského cyklu nebyla v doručovací oblasti zvolena vždy ta samá trasa. Způsob pohybu dodávky v daných městských částech vždy závisel na konkrétních

doručovacích adresách v daném dni. I v tomto případě docházelo k opětovným pokusům o předání balíků.

Podobně jako v předchozích případech lze denní nájezd Příměstského cyklu rozdělit na výše popsané tři části. Na část příjezdu, Rudná – výjezd z Pražského okruhu. Dále na část doručování, výjezd z Pražského okruhu – pobočka České pošty v Radotíně. Zbýlý úsek tvoří odjezd, pobočka České pošty v Radotíně – Rudná. Následující tabulka zobrazuje rozdělení denního nájezdu na výše zmíněné části.

Rozdělení denního nájezdu Příměstského cyklu				
	Denní nájezd [km]	Příjezd [km]	Doručování [km]	Odjezd [km]
PMC1	81,0	15,5	44,7	20,8
PMC2	87,5	15,5	51,2	20,8
PMC3	77,3	15,5	41,0	20,8

Tabulka 24 Rozdělení denního nájezdu Příměstského cyklu

Na rozdíl od Mimoměstského a Městského cyklu je počet kilometrů nutných pro doručování větší než součet počtu kilometrů části příjezdu a odjezdu. Naměřená délka příjezdu a odjezdu je pro jednotlivé nájezdy stejná. Jak již bylo zmíněno pro příjezd i odjezd byla použita vždy ta samá trasa a doručování začalo i skončilo v jednotlivých dnech ve stejných místech. Zvýšení počtu kilometrů denního nájezdu je tedy ve všech případech způsoben větším počtem kilometrů v části doručování. V další tabulce jsou již obsaženy hodnoty energetické náročnosti na kolech vozidla pro jednotlivé denní nájezdy a podobně jako v předchozích případech je v této tabulce též provedeno rozdělení energetické náročnosti na výše popsané části.

Energetická náročnost na kolech vozidla Příměstského cyklu				
	Denní nájezd [kWh]	Příjezd [kWh]	Doručování [kWh]	Odjezd [kWh]
PMC1	21,4	4,0	10,3	7,1
PMC2	24,9	4,2	13,2	7,5
PMC3	20,7	3,7	10,2	6,8

Tabulka 25 Energetická náročnost na kolech vozidla Příměstského cyklu

Nejvíce energeticky náročný nájezd a zároveň nájezd s největším počtem kilometrů je PMC2, pro který se hodnota energetické náročnosti rovná 24,9 kWh. Následuje nájezd

PMC1 s velikostí potřebné energie na kole vozidla 21,4 kWh. Nejmenší velikost energie 20,7 kWh náleží PMC3. Pro část příjezdu se hodnoty energie pohybují okolo 4 kWh, pro část odjezdu naopak okolo 7,1 kWh. Oproti Městskému cyklu nejsou v těchto částech velké rozdíly. Nájezdy PMC1 a PMC3 se vyznačují energetickou náročností na kolech pro část doručování přibližně 10 kWh a tedy je tato hodnota menší než pro nájezd PMC2, pro který se velikost energie pro část doručování rovná 13,2 kWh. Pro další analýzu je energie opět bilancována v jednotkách kWh · km⁻¹. Toto bilancování je provedeno pro celý denní nájezd a zároveň pro jednotlivé části.

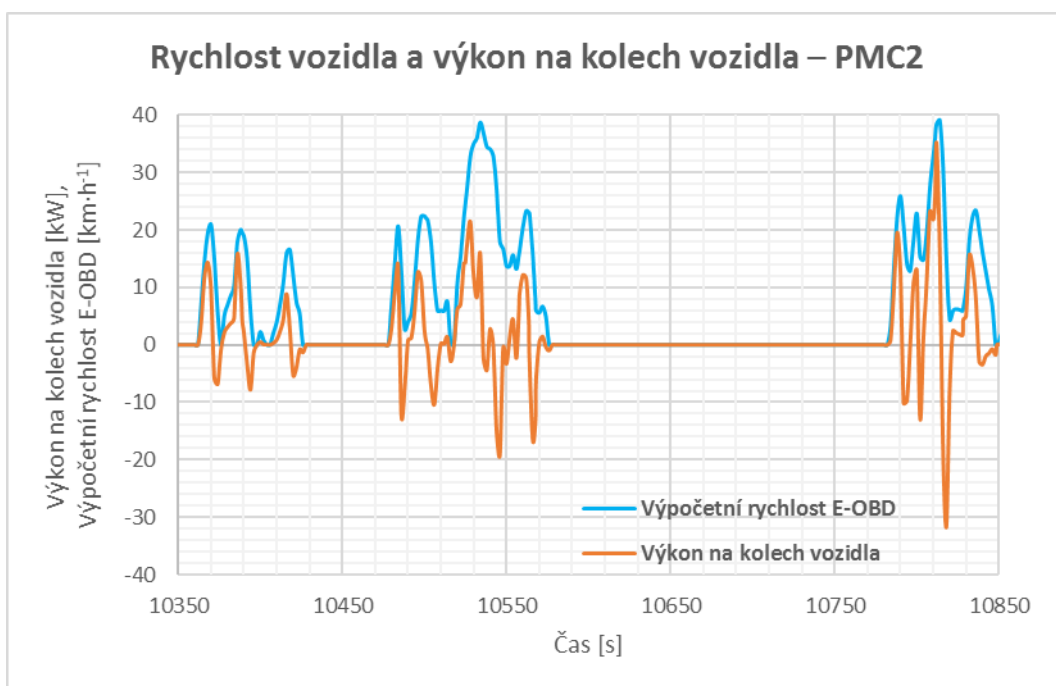
Spotřeba energie na kolech vozidla Příměstského cyklu				
	Denní nájezd [kWh · km ⁻¹]	Příjezd [kWh · km ⁻¹]	Doručování [kWh · km ⁻¹]	Odjezd [kWh · km ⁻¹]
PMC1	26,4	25,8	23,0	34,1
PMC2	28,5	27,1	25,8	36,1
PMC3	26,8	23,9	24,9	32,7

Tabulka 26 Spotřeba energie na kolech vozidla Příměstského cyklu

Na nájezdu PMC2 je vidět změna stylu jízdy řidiče z důvodu většího počtu doručovacích adres v daném dni. V tento denní nájezd se zajíždělo přibližně k 70 zákazníkům. Z tohoto důvodu zaměstnanec České pošty zvolil dynamičtější styl jízdy, aby rozvážka nepřekročila pracovní dobu. Velikost spotřeby energie na kolech pro celý denní nájezd se poté rovná 28,5 kWh · km⁻¹, u ostatních nájezdů vychází hodnota okolo 26,6 kWh · km⁻¹. S tímto faktem posléze souvisí i energeticky náročnější návrat do depa Rudná, jelikož výsledný čas doručování nakonec tuto pracovní dobu přesáhl. Při srovnání příjezdu a odjezdu je opět třeba uvažovat klesající profil vozovky v případě příjezdu a stoupající profil v případě odjezdu. Pro část příjezdu spotřeba energie na kolech nepřesáhla hodnotu 29 kWh · km⁻¹, naopak v případě odjezdu byla velikost spotřeby na kolech větší než 32 kWh · km⁻¹. V části odjezdu je více zastoupena jízda po dálnici, při které je dosahováno větších rychlostí. Průběh doručování v jednotlivých dnech byl více podobný Mimoměstskému cyklu, tedy mezi jednotlivými doručovacími adresami byla větší vzdálenost. Tomu odpovídá i podobná spotřeba energie na kolech vozidla těchto dvou cyklů v části doručování. Pro Příměstský cyklus se tato hodnota pohybuje od 23 do 26 kWh · km⁻¹.

Ve srovnání s ostatními cykly energetická bilance v jednotkách $kWh \cdot km^{-1}$ pro celý denní nájezd nabývá průměrných hodnot. Největší spotřeba energie na kolech vozidla tedy byla vypočtena v případě Městského cyklu, naopak nejmenší hodnoty energetické bilance v $kWh \cdot km^{-1}$ vychází v případě Mimoměstského cyklu.

V následujícím grafu je ukázka časového průběhu rychlosti vozidla a výkonu na kolech vozidla nájezdu PMC2 v části doručování. Graf zobrazuje časté brzdění a akceleraci. Na rozdíl od části příjezdu a odjezdu nebylo dosahováno velkých hodnot rychlostí a výkonů na kolech vozidla.



Obrázek 40 Rychlost vozidla a výkon na kolech vozidla – PMC2

6.3.4 Shrnutí energetické bilance naměřených cyklů

Z naměřených dat bylo zjištěno, že nejvíce energetický náročný druh trasy je Mimoměstský cyklus s nejdelšími denními nájezdy. Naopak nejméně energeticky náročný je Městský cyklus s nejkratšími nájezdy. Následující tabulka zobrazuje rozpětí energetické náročnosti na kolech vozidla pro každý druh cyklu.

Druh cyklu	Energetická náročnost na kolech vozidla [<i>kWh</i>]
Mimoměstský	32,4 až 37,3
Městský	13,1 až 17,5
Příměstský	20,7 až 24,9

Tabulka 27 Shrnutí energetické bilance naměřených cyklů

Výsledná hodnota energetické náročnosti je ovlivněna způsobem provozu vozidla a stylem jízdy řidiče.

Styl jízdy jednotlivých řidičů byl velmi odlišný. Nejmírnější způsob jízdy byl aplikován u řidiče Mimoměstského cyklu, naopak nejdynamičtější u řidiče Městského cyklu. Ovšem změna způsobu jízdy v jednotlivých dnech byla patrná i u jednotlivých řidičů. Tento fakt byl způsobem větším počtem doručovacích adres či snahou o rychlý návrat z doručovací oblasti do depa Rudná.

Podstatnou část energie denních nájezdů tvoří přejezd mezi depem Rudná a doručovací oblastí. Nejvíce je tento fakt pozorovatelný u Městského cyklu. Pouze pro Příměstský cyklus tvoří energetická náročnost doručování větší část z celkové energie denního nájezdu. Zvolení rozdílného způsobu příjezdu či odjezdu může mít vliv na hodnotu energetické náročnosti. U všech denních nájezdů se nejméně jednou dodávka pohybovala po dálnici. Tento způsob přejezdu může podstatně zvýšit výslednou hodnotu energetické náročnosti na kolech vozidla. Energetická náročnost v části doručování je naopak ovlivněna častým zastavováním.

V jednotlivých dnech byla dále zaznamenána proměnlivá počáteční hmotnost nákladu. Měnila se poloha a počet doručovacích adres i množství samotných balíků. To mělo za následek rozdílný úbytek hmotnosti nákladu. I tato skutečnost způsobila různé hodnoty energetické náročnosti dílčích denních nájezdů.

6.4 Citlivostní analýza vstupních parametrů

Ve výpočtu energetické náročnosti na kolech vozidla byly zadány odhadované velikosti součinitele valivého odporu, odporu vzduchu a rotačních hmot. V této kapitole je provedena citlivostní analýza těchto vstupních parametrů. Tyto parametry mohou ovlivnit výsledné hodnoty energetických náročností. Při jednotlivých analýzách je ve výpočtu změněn pouze konkrétní analyzovaný parametr. Pro rozbor vstupních parametrů byl vybrán konkrétní denní nájezd Mimoměstského cyklu – MMC2 a Městského cyklu – MC2. Tyto dva denní nájezdy reprezentují nejvíce energeticky náročnou trasu nejdelšího a nejkratšího druhu cyklu. Jedná se tedy o dva extrémní případy.

6.4.1 Citlivostní analýza součinitele valivého odporu

Jak již bylo zmíněno, hodnota součinitele valivého odporu f se může měnit se stavem pneumatiky a kvalitou vozovky. V následující tabulce jsou zobrazeny výsledky energetické náročnosti na kolech vozidla pro hodnotu $f = 0,015$, která byla použita v předchozích výpočtech. Citlivostní analýza byla provedena pro hodnoty součinitele valivého odporu 0,01 a 0,02. V dvou spodních řádcích jsou zobrazeny energetické náročnosti pro MMC2 a MC2. Jednotlivé sloupce se tedy liší rozdílným vstupním parametrem f .

Energetická náročnost na kolech vozidla [kWh]			
f [-]	0,01	0,015	0,02
MMC2	34,2	37,3	40,5
MC2	16,3	17,5	18,8

Tabulka 28 Citlivostní analýza součinitele valivého odporu

Z tabulky je patrné, že se hodnoty pro $f = 0,01$ a $0,02$ liší v případě MMC2 o přibližně $3,2 kWh$, tedy o 8,6%. V případě MC2 je rozdíl přibližně $1,3 kWh$, tedy 7,4 %. Výpočet je tedy velmi citlivý na tento vstupní parametr.

6.4.2 Citlivostní analýza součinitele odporu vzduchu

Součinitel odporu vzduchu c_x závisí na tvaru vozidla. Velikost tohoto součinitele lze tedy uvažovat během provozu vozidla za konstantní. Ve výpočetním programu byla hodnota tohoto vstupního programu uvažována 0,45. Pro citlivostní analýzu byly uvažovány hodnoty 0,4 a 0,5.

Energetická náročnost na kolech vozidla [<i>kWh</i>]			
c_x [–]	0,4	0,45	0,5
MMC2	35,9	37,3	38,8
MC2	16,6	17,5	18,4

Tabulka 29 Citlivostní analýza součinitele odporu vzduchu

Velikost energetické náročnosti na kolech vozidla nájezdu MMC2 pro $c_x = 0,4$ a $0,5$ se tedy přibližně liší o $1,5 kWh$ oproti výpočtu s hodnotou součinitele odporu vzduchu $0,45$. V procentuálním vyjádření tento rozdíl činí $4,0\%$. V případě MC2 je rozdíl $0,9 kWh$, tedy $5,1\%$. Oproti součiniteli valivého odporu je závislost výpočtu na tento vstupní parametr menší. U nájezdu Mimoměstského cyklu MMC2 je tento fakt výraznější. Pro nájezd Městského cyklu MC2 není pokles závislosti tak velký. Důvodem je významné zastoupení dálničního provozu s velkými hodnotami rychlosti, při kterých podstatně roste velikost odporu vzduchu.

6.4.3 Citlivostní analýza součinitele rotačních hmot

Doposud byl výpočet energetické náročnosti na kolech vozidla proveden za předpokladu dvou konstantních hodnot součinitele rotačních hmot $\delta = 1,1$ a $1,2$. V této kapitole je provedeno srovnání toho zjednodušeného předpokladu s výpočtem, který respektuje hodnoty součinitele rotačních hmot pro jednotlivé rychlostní stupně. Pro tento výpočet je nutné určit aktuální zařazený rychlostní stupeň po celou dobu jízdy, tedy stanovit okamžitý poměr mezi otáčkami motoru a kol vozidla. Každý rychlostní stupeň převodovky je charakterizován převodovým poměrem převodky i_p . Tento převodový poměr lze vypočítat jako poměr počtu zubů hnaného a hnacího ozubeného kola. Vynásobením převodovým poměrem převodovky i_p stálým převodem rozvodovky i_r je získán celkový převod i_c . Vztah mezi otáčkami motoru a kola lze vyjádřit dle následujícího vztahu.

$$i_c = \frac{n_m}{n_k} \quad (33)$$

Otáčky motoru n_m byly měřeny pomocí systému vozidla a dále byl naměřený průběh otáček upravován, jak již bylo zmíněno v kapitole Měření a zpracování dat. Hodnota počtu zubů ozubených kol a stálého převodu není pro měřenou naftovou dodávku Peugeot Boxer známa. Dále během měření nedocházelo ke snímání otáček kol. Pro tuto analýzu

je tedy nutné provést zjednodušení. Pro úhlovou rychlost otáčení kol ω_k platí následující vztah.

$$\omega_k = \frac{v}{r_v} \quad (34)$$

Ve vztahu vystupuje rychlost vozidla v a kinematický parametr r_v , který je v české literatuře označován jako valivý poloměr kola [77]. V tomto zjednodušeném výpočtu je hodnota poloměru kola uvažována po celou dobu jízdy konstantní a určena na základě označení pneumatik, tedy $r_k = 0,341 \text{ m}$. Po zavedení této podmínky lze úhlovou rychlost otáčení kol $\omega_{k,ideal}$ vypočítat dle vztahu.

$$\omega_{k,ideal} = \frac{v}{r_k} \quad (35)$$

Pro rychlost vozidla v byla použita data získaná s využitím diagnostického rozhraní vozidla. Závislost mezi úhlovou rychlostí a otáčkami kol $n_{k,ideal}$ je poté určena vztahem.

$$\omega_{k,ideal} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{k,ideal}}{60} \quad (36)$$

Úměrnost i_{m-k} mezi změřenými otáčkami motoru a zidealizovanými otáčkami kola je poté rovna.

$$i_{m-k} = \frac{n_m}{n_{k,ideal}} \quad (37)$$

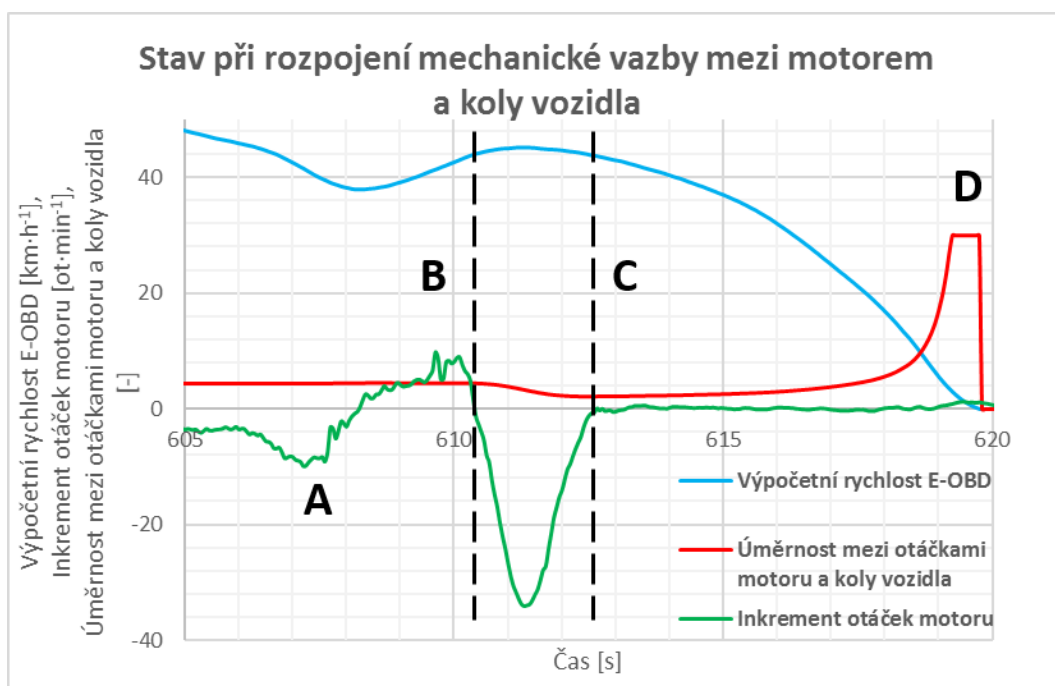
Na základě tohoto vztahu a poznámek z měření byly pro převodové stupně odečteny hodnoty i_{m-k} . Úměrnost i_{m-k} je ovšem veličinou vypočítanou z naměřených hodnot rychlosti vozidla a otáček motoru. Z tohoto důvodu není pro daný rychlostní stupeň její hodnota v čase konstantní. Ve výpočetním programu tedy byly zadány intervaly hodnot i_{m-k} , ve kterých lze daný převodový stupeň uvažovat. Kromě prvního převodového stupně nejsou tyto intervaly velké. První převodový stupeň byl jednotlivými řidiči použit čistě pro rozjezd, při kterém je motor kvůli sešlápnuté spojce částečně rozpojen s koly vozidla a i_{m-k} tedy neodpovídá poměru otáček motoru a kol vozidla. Z tohoto důvodu by bylo určení hodnoty i_{m-k} pro první převodový stupeň nepřesné. Ve výpočetním programu jsou hodnoty i_{m-k} větší než pro druhý převodový stupeň automaticky přiřazeny k prvnímu převodovému stupni. Touto podmínkou jsou rozjezdy uvažovány vždy pomocí prvního rychlostního stupně. Rozjezd pomocí zpátečky je zanedbán. Dalším krokem je vymezení platnosti i_{m-k} . Tedy omezení platnosti této veličiny pro stavy,

při kterých je spalovací motor zcela mechanicky rozpojen s koly a pohyb kol tedy není svázán s otáčením klikového hřídele. Při nedodefinování dalších podmínek by výpočetní program mylně vyhodnocoval zařazené rychlostní stupně.

V případě rozpojení hnacího řetězce nastává rychlý pokles otáček motoru. Právě tento strmý pokles otáček ve výpočetním programu slouží k rozpoznání stavu, kdy je motor mechanicky rozpojen s koly vozidla. V prostředí programu DIAdem byl vykreslen časový průběh inkrement otáček motoru Δn_m získaný jako rozdíl po sobě naměřených hodnot otáček.

$$\Delta n_{mi} = n_{m,i} - n_{m,i-1} \quad (38)$$

Kde $n_{m,i}$ je velikost otáček motoru v časovém okamžiku i a $n_{m,i-1}$ představuje hodnotu otáček motoru v předešlém naměřeném stavu motoru. Jedná se tedy o dvě sousední naměřené hodnoty s časovým krokem 0,05 s. V programu DIAdem byla tedy analyzována a empiricky určena limitní hodnota $\Delta n_{m,lim}$. Pokud inkrement Δn_m tuto hodnotu přesáhne, je nastaven aktuální převodový stupeň na hodnotu logické nuly znamenající rozpojený stav hnacího řetězce. Další obrázek zobrazuje případ, kdy řidič před zastavením zařadil neutrál.



Obrázek 41 Stav při rozpojení mechanické vazby mezi motorem a koly vozidla

V grafu je červenou křivkou znázorněn časový průběh veličiny i_{m-k} , modrá křivka vykresluje rychlost vozidla a zelená křivka zachycuje průběh přírůstku otáček motoru.

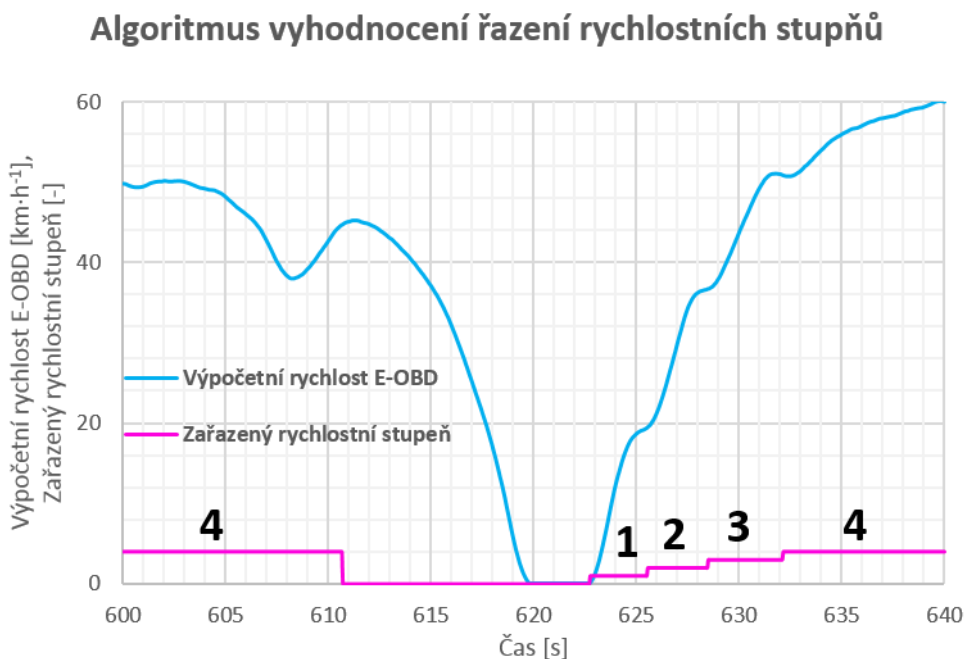
Čím má inkrement otáček větší zápornou hodnotu, tím rychleji nastává pokles otáček. Až do bodu B je i_{m-k} přibližně konstantní a její hodnota odpovídá zařazenému čtvrtému rychlostnímu stupni. Posléze Řidič tento rychlostní stupeň vyřadil v okolí bodu B a zastavil bez zařazeného rychlostního stupně. Za bodem B hodnota i_{m-k} začíná klesat. Tento fakt je dán tím, že rychlost jízdy a tedy rychlost otáčení kol se téměř nemění, zatímco otáčky motoru výrazně klesají. Pokud by nebyla v tom místě omezena platnost veličiny i_{m-k} limitní hodnotou $\Delta n_{m,lim}$ výpočetní systém by tento stav vyhodnotil jako jízdu při pátém či šestém zařazeném stupni, pro který hodnota i_{m-k} nabývá menších hodnot.

Při volbě $\Delta n_{m,lim}$ je třeba uvažovat zpomalování při zařazeném rychlostním stupni. Pokud by velikost této limitní veličiny v absolutních číslech byla nastavena na příliš nízkou hodnotu, výpočetní program by vyhodnocoval prudší zpomalování vždy jako jízdu na neutrální. Tedy v případě okolí bodu A by došlo k mylnému vyřazení.

Za bodem C dochází k opačné situaci. Otáčky motoru se již udržují na konstantní hodnotě volnoběžných otáček a rychlost jízdy klesá. V tomto případě začíná růst hodnota i_{m-k} . Bez další podmínky by ve výpočetním programu postupně docházelo k mylnému vyhodnocení převodů s větší hodnotou i_{m-k} . V bodě D nabývá i_{m-k} velmi vysokých hodnot. Rychlost jízdy v bodě D je již prakticky nulová, zatímco velikost otáček motoru odpovídá volnoběžným hodnotám. Pro vizualizaci je v tomto bodě velikost i_{m-k} omezena hraniční hodnotou. Pro stav mezi body C a D je tedy nutné přidat další podmínku omezující platnost úměrnosti mezi otáčením klikového hřídele a kol vozidla. Pro tuto podmínku je využit zmíněný fakt, že v této oblasti se otáčky motoru téměř či zcela rovnají velikosti volnoběžných otáček. Tedy pokud aktuální otáčky motoru při zpomalování vozidla poklesnou pod stanovenou hodnotu, je ve výpočetním programu nastavena opět logická nula. Tato podmínka musí zachytit stav, při kterém inkrement otáček motoru již nabývá v absolutní velikosti hodnoty menší než $\Delta n_{m,lim}$.

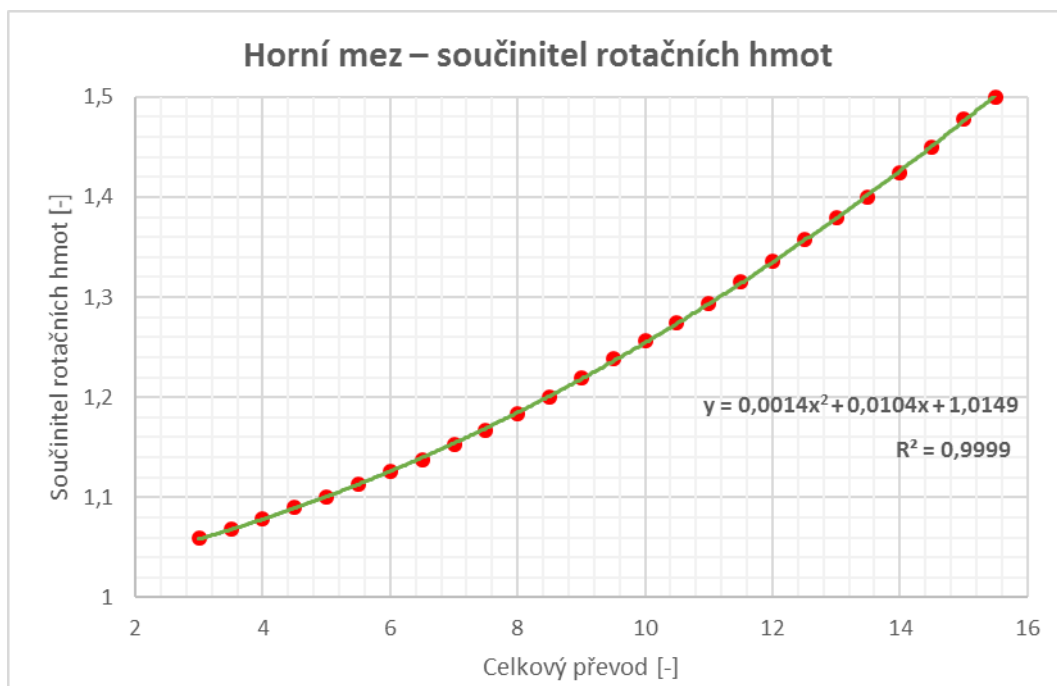
Podobným způsobem jsou zachyceny další situace, mezi které například patří zrychlování z kopce při vyřazeném rychlostním stupni. Dalším zjednodušením této analýzy je spojitě krátkodobé řazení rychlostních stupňů. Tedy například při řazení z prvního rychlostního stupně na druhý je ve výpočetním programu nastavena bez časového zpoždění hodnota z logické 1 charakterizující první převodový stupeň na logickou 2, která naopak symbolizuje druhý převodový stupeň. Další obrázek zobrazuje vyhodnocení řazení

převodových stupňů. V grafu je zobrazená předešlá situace a dále je v tomto obrázku zachycen rozjezd vozidla s řazením prvního, druhého, třetího a čtvrtého rychlostního stupně. Každému zařazenému rychlostnímu stupni připadá příslušná logická hodnota. Tedy například logické číslo 4 znamená čtvrtý rychlostní stupeň.



Obrázek 42 Algoritmus vyhodnocení řazení rychlostních stupňů

Výstupem toho výpočetního programu, ve kterém je naprogramován algoritmus vyhodnocení řazení rychlostních stupňů, jsou časové okamžiky změn logických hodnot vyjadřující jednotlivé převodové stupně společně s údajem o zařazeném rychlostním stupni. Tedy pomocí tohoto programu lze určit v libovolném čase zařazený rychlostní stupeň. V dalším kroku je nutné každému převodovému stupni definovat hodnotu součinitele rotačních hmot δ . Jak již bylo zmíněno, pro určení tohoto součinitele je nutné znát kromě převodových poměrů převodovky a stálého převodu také např. moment setrvačnosti spalovacího motoru, převodovky a kol vozidla. Tyto fyzikální vlastnosti komponent ovšem nejsou pro Peugeot Boxer dostupné. Z tohoto důvodu jsou tyto hodnoty součinitele δ odhadnuty na základě Obrázku 31, ve kterém je graficky znázorněna závislost součinitele rotačních hmot na celkovém převodovém převodu. Pro tuto analýzu je použita vyznačená horní mez součinitele rotačních hmot. Na této horní mezi byly vyznačeny body a následně odečteny hodnoty celkového převodu a součinitele rotačních hmot. Posléze byla těmito body proložena křivka druhého stupně a pomocí MS Excel určena funkční závislost součinitele rotačních hmot na celkovém převodu.



Obrázek 43 Horní mez – součinitel rotačních hmot

Pro určení velikosti tohoto součinitele byly jako vstupní data této funkce použity hodnoty i_{m-k} pro druhý až šestý rychlostní stupeň. Velikost součinitele rotačních hmot pro první rychlostní stupeň byla nastavena na maximální hodnotu původní horní meze a pro jízdu s rozpojeným hnacím řetězcem byl součinitel odhadnut hodnotou 1,045. Následující tabulka zobrazuje hodnoty součinitele rotačních hmot pro jednotlivé rychlostní stupně.

Hodnoty součinitele rotačních hmot		
Rychlostní stupeň	$i_{m-k}[-]$	$\delta [-]$
1	–	1,50
2	11,20	1,31
3	6,75	1,15
4	4,45	1,09
5	3,40	1,07
6	2,97	1,06
N	–	1,045

Tabulka 30 Hodnoty součinitele rotačních hmot

Posléze jsou tato data vložena do výpočetního programu energetické náročnosti na kolech vozidla. V jednotlivých okamžicích změn převodových stupňů jsou opět hodnoty rychlosti vozidla dopočteny pomocí lineární interpolace, aby byla zachována hodnota konstantního zrychlení v časovém kroku 2 s. Další tabulka zobrazuje výsledky

energetické náročnosti na kolech vozidla s uvažováním řazení rychlostních stupňů a zjednodušené varianty s konstantní hodnotou δ pro vymezené části denního nájezdu. V tabulce jsou opět uvedeny výsledné hodnoty pro MMC2 a MC2.

Energetická náročnost na kolech vozidla [<i>kWh</i>]		
δ [-]	Varianta s uvažováním řazení	Zjednodušená varianta
MMC2	37,6	37,3
MC2	17,8	17,5

Tabulka 31 Citlivostní analýza součinitele rotačních hmot

Velikost energetické náročnosti nájezdu MMC2 respektující řazení rychlostní stupňů se rovná 37,6 *kWh* a je větší o 0,3 *kWh* než varianta s konstantní hodnotou $\delta = 1,1$ a $\delta = 1,2$ pro vymezené části denního nájezdu. Tento rozdíl v procentech nabývá v absolutní hodnotě 0,8 %. Pro nájezd MC2 velikost energetické náročnosti s uvažováním řazení je rovna 17,8 *kWh* a je tedy opět větší o 0,3 *kWh*. V tomto případě rozdíl v procentech v absolutní hodnotě činí 1,7 %.

Hodnoty součinitele rotačních hmot pro jednotlivé rychlostní stupně jsou pouze odhadnuté. Z tohoto důvodu je provedena citlivost na změnu δ pro první a druhý převodový stupeň, pro které velikost součinitele rotačních hmot nabývá největších hodnot. Při změně velikosti součinitele rotačních hmot pro první převodový stupeň na hodnotu 2 a pro druhý převodový stupeň na hodnotu 1,4 vzniká rozdíl oproti zjednodušené variantě 2,1 % pro MMC2 a 3,4 % v případě MC2. Je tedy vidět, že i po značném zvětšení hodnoty δ pro dva převodové stupně s největší hodnotou součinitele rotačních hmot je vzniklý rozdíl oproti vlivu součinitele valivého odporu a odporu vzduchu menší. Největší odchylka při vyhodnocení energetické náročnosti na kolech vozidla tedy může vzniknout při odhadu součinitele valivého odporu.

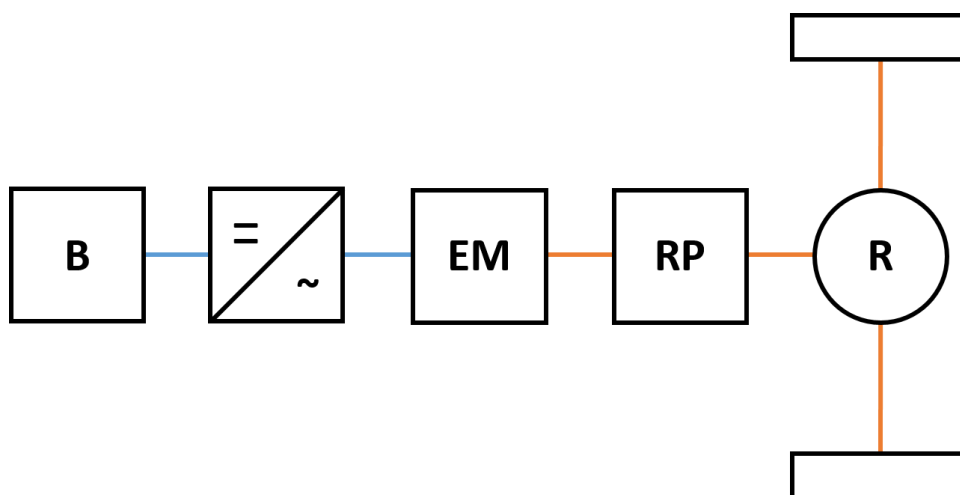
7 Analýza použitelnosti elektromobilu

Cílem následujících dvou hlavních kapitol je nalezení vhodného druhu pohonu a parametrů vozidla, které by umožňovalo rozvážku na všech změřených rozvážkových trasách depa Rudná, a zároveň by byl umožněn čistě elektrický provoz bez použití spalovacího motoru v definované části doručování. Během doručování se dodávka pohybuje převážnou dobu v zastavěných oblastech s častým zastavováním a rozjížděním. Při použití konvenčního vozidla se spalovacím motorem pracuje v této části denního nájezdu spalovací motor podstatnou dobu mimo oblast optimální měrné spotřeby paliva. Tato skutečnost vede k vyšším provozním nákladům. Dalším faktorem nahrazení konvenčního vozidla elektromobilem či elektromobilem s prodlužovačem dojezdu může být v budoucnu vznik ekologických zón či snaha doručovatelských firem bezemisního provozu v zastavěných oblastech. Ve výpočtu jsou zavedeny zjednodušené předpoklady, které budou v textu této práce popsány. Pro reálné vozidlo by musel být návrh parametrů upřesněn. Výpočet je proveden v prostředí programu MS Excel.

Jak naznačuje název této kapitoly, nejprve je analyzováno použití elektromobilu. Pro smysluplné posouzení použitelnosti elektromobilu v rámci provozu depa Rudná je vypočtena jmenovitá kapacita baterie. Pro výpočet jmenovité kapacity baterie je třeba vytvořit model hnacího ústrojí elektromobilu a definovat jednotlivé účinnosti pohonných agregátů. Dále je nutné ve výpočetním programu nastavit technické parametry dodávkového elektromobilu v podobě pohotovostní a celkové hmotnosti vozidla. Ve výpočetním programu je též nezbytné definovat vstupní parametry v podobě součinitele valivého odporu, odporu vzduchu a součinitele rotačních hmot. Po zavedení těchto veličin je proveden samotný návrh trakční baterie elektromobilu s uvažováním zimního provozu a poklesu nominální kapacity vlivem stárnutí baterie. Vypočtená velikost baterie je posléze porovnána se jmenovitými kapacitami baterií, které jsou instalovány v prodáváných dodávkových elektromobilech.

7.1 Výpočetní model elektromobilu

V následujícím schématu je zobrazen výpočetní model elektromobilu, který se skládá z lithium-iontové baterie, měniče, trakčního elektromotoru, redukčního převodu a rozvodovky. V současné době je pro pohon kol často používán synchronní elektromotor s permanentními magnety.



Obrázek 44 Výpočetní model elektromobilu

Vstupní veličinou výpočtu je celková energie na kolech dodávkového elektromobilu $E_{kolo_{bev}}$ v jednotlivých časových krocích výpočtu. Tato energie je vypočtena stejným způsobem jako v případě naftové dodávky Peugeot Boxer s respektováním technických parametrů elektrického vozidla. Prvním parametrem je pohotovostní hmotnost dodávkového elektromobilu. Tento údaj je určen na základě pohotovostní hmotnosti naftové dodávky Peugeot Boxer, ze které jsou virtuálně odstraněny části pohonného ústrojí, které nejsou v čistě elektrické verzi obsaženy. Naopak do dodávkového elektromobilu jsou zakomponovány hmotnosti agregátů elektrického hnacího ústrojí v podobě trakční baterie, měniče a elektromotoru. Též je uvažována hmotnost redukčního převodu mezi elektromotorem a koly vozidla. V naftové a čistě elektrické verzi jsou uvažovány pouze hlavní části hnacího ústrojí.

Stanovení pohotovostní hmotnosti elektromobilu			
Komponenty – Naftová verze		Komponenty – Elektromobil	
Naftový motor	130 kg [83]	Trakční baterie	580 kg [84] [85]
Stupňová převodovka	50 kg [83]	Elektromotor	40 kg [86]
		Měnič	40 kg [86]
		Redukční převod	15 kg [83]

Tabulka 32 Stanovení pohotovostní hmotnosti elektromobilu [83] [84] [85] [86]

V dodávkovém elektromobilu je uvažována hmotnost trakční baterie z osobního vozidla Audi e-tron 50, která se vyznačuje jmenovitou kapacitou 71,0 kWh [84] [85], naopak využitelná kapacita je rovna 64,7 kWh [84] [85]. Kapacita této baterie byla předběžně

zvolena z důvodu energetické náročnosti denních nájezdů vozidel České pošty, dále s ohledem na vyhřívání kabiny řidiče v zimním provozu a také na stárnutí baterie, které má za následek pokles nominální kapacity.

Hmotnost komponent naftové dodávky je tedy $m_{komp_nafta} = 180 \text{ kg}$ a hmotnost agregátů elektrické dodávky $m_{komp_bev} = 675 \text{ kg}$. Pro pohotovostní hmotnost dodávkového elektromobilu m_{poh_bev} poté platí.

$$m_{poh_bev} = m_{poh} + m_{komp_bev} - m_{komp_nafta} \quad (39)$$

Pohotovostní hmotnost dodávkového elektromobilu je tedy rovna $m_{poh_bev} = 2470 \text{ kg}$.

Celková hmotnost dodávkového elektromobilu m_{bev} je v daném časovém okamžiku posléze vypočtena dle následujícího vztahu.

$$m_{bev} = m_{poh_bev} + m_{zatižení} \quad (40)$$

Kde $m_{zatižení}$ je definováno podle vztahu (4). Veličina $m_{zatižení}$ je tedy dána součtem hmotnosti řidiče $m_{řidič}$, hmotnosti spolujezdce $m_{spolujezdec}$ a aktuální hmotností balíků $m_{balík}$. V celkové hmotnosti elektromobilu je tedy ponechána hmotnost spolujezdce v podobě autora této práce, který není při běžné rozvážce usazen ve vozidle. Tato hmotnost je ve výsledné hmotnosti dodávkového elektromobilu započtena s ohledem na další komponenty elektrické výzbroje, které nebyly ve veličině označené jako m_{komp_bev} uvažovány.

Velikost vstupních parametrů v podobě součinitele odporu vzduchu c_x a čelní plochy S_x je ve výpočtu definována stejnou hodnotou jako pro naftovou dodávku. Pro součinitel valivého odporu f jsou uvažovány, jak bude dále vysvětleno, dvě hodnoty $f = 0,01$ a $0,015$. Dále je nutné definovat součinitel rotačních hmot elektromobilu. Hodnota tohoto parametru je odhadnuta na základě velikosti momentu setrvačnosti elektromotoru I_{em} a kol vozidla $\sum I_{ki}$ dle následujícího vztahu.

$$\delta_{bev} = 1 + \frac{I_{em} \cdot i_c^2}{m_{poh_bev} \cdot r_d^2} + \frac{\sum I_{ki}}{m_{poh_bev} \cdot r_d^2} \quad (41)$$

Velikost momentu setrvačnosti trakčního elektromotoru byla též určena odhadem na základě momentu setrvačnosti synchronního elektromotoru o jmenovitém výkonu 112 kW [86], který byl instalován v reálném dodávkovém elektromobilu. Moment

setrvačnosti tohoto elektromotoru je roven $0,054 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ [86]. Pro konkrétní elektrický stroj by samozřejmě musela být tato hodnota upřesněna. Dále je předpokládáno, že zlomek obsahující moment setrvačnosti kol vozidla $\sum I_{ki}$ ve výše uvedeném vztahu přispívá k výsledné velikosti součinitele rotačních hmot hodnotou 0,045. Ve vztahu dále vystupuje dynamický poloměr kola r_d . Dynamický poloměr kola je závislý na svislém zatížení, z tohoto důvodu se velikost tohoto parametru během jízdy mění. Pro přibližné určení součinitele rotačních hmot elektromobilu δ_{bev} jsou zavedeny následující zjednodušené předpoklady. Prvním předpokladem je rovnost dynamického poloměru kola elektromobilu a naftové dodávky Peugeot Boxer. Dále je v tomto vztahu nahrazen dynamický poloměr kola r_d konstantním poloměrem kola $r_k = 0,341 \text{ m}$. Velikost r_k byla určena na základě označení pneumatik naftové dodávky Peugeot Boxer. Po zavedení těchto předpokladů a při respektování pohotovostní hmotnosti elektromobilu $m_{poh_{bev}}$ nepřesahuje součinitel rotačních hmot elektromobilu δ_{bev} hodnotu 1,1 ani po nastavení velkých hodnot celkového převodu, například $i_c = 15$. Součinitel rotačních hmot elektromobilu je tedy ve výpočtu nastaven na hodnotu $\delta_{bev} = 1,1$. Celková energie na kolech v daném časovém kroku výpočtu se tedy vypočte stejným způsobem jako v případě naftové dodávky s respektováním těchto vstupních parametrů.

V případě kladné celkové hodnoty energie na kolech elektrické dodávky $E_{kolo_{bev}} > 0$ v daném časovém okamžiku je vozidlo ve fázi pohonu. V tomto okamžiku se z baterie spotřebovává elektrická energie, která dále prochází přes trakční měnič. Trakční měnič převádí stejnosměrné napětí baterie na požadované střídavé napětí elektromotoru. Elektrický motor posléze přeměňuje elektrickou energii na trakční práci, které se na kola vozidla dále přenáší pomocí redukčního převodu a rozvodovky. Pro fázi pohonu platí pro spotřebovanou energii baterie $E_{baterie_{bev}}$ následující vztah.

$$E_{baterie_{bev}} = \frac{E_{kolo_{bev}}}{\eta_r \cdot \eta_{rp} \cdot \eta_{em} \cdot \eta_{mt} \cdot \eta_{b_{vyb}}} \quad (42)$$

Ve jmenovateli postupně vystupuje účinnost rozvodovky η_r , redukčního převodu η_{rp} , elektromotoru η_{em} , trakčního měniče η_{mt} a účinnost vybíjení baterie $\eta_{b_{vyb}}$.

Ve výpočtu jsou uvedené účinnosti zadány pomocí konstantní hodnoty. Ve skutečnosti jsou všechny tyto popsány veličiny proměnlivé. Například lze určit okamžitou účinnost elektromotoru pomocí charakteristického pole účinnosti a definováním požadovaného hnacího momentu a otáček v jednotlivých krocích výpočtu. Pole účinnosti je ovšem

vlastností konkrétního elektromotoru. Ve výpočtu ovšem není uvažován konkrétní elektromotor, z tohoto důvodu je ve výpočetním programu definována průměrná hodnota účinnosti. Pro reálné vozidlo s konkrétním elektromotorem by musel být výpočet zpřesněn. Podobný závěr platí i pro účinnosti ostatních komponent hnacího ústrojí.

Pokud aktuální hodnota energie na kolech elektrické dodávky nabývá záporných hodnot $E_{kolo_bev} < 0$, je naopak možné část této brzděné energie rekuperovat do baterie. V tomto případě je využit vztah.

$$E_{baterie_bev} = E_{kolo_bev} \cdot \eta_{rek} \quad (43)$$

Kde η_{rek} je účinnost rekuperace, pomocí které je definován vztah mezi zápornou brzděnou energií na kolech elektrické dodávky a částí této energie uložené v trakční baterii. Hodnota účinnosti rekuperace je převzata ze zdroje [87]. Velikost této účinnosti je opět dána součinem dílčích účinností rozvodovky, redukčního převodu, elektromotoru pracujícím v generátorovém režimu, trakčního měniče a účinností nabíjení baterie. Mimo tyto ztráty je v této účinnosti též zakomponováno rozdělení brzděného účinku vozidla mezi elektrický stroj a mechanické brzdy. Při aplikaci mechanických brzd dochází k disipaci kinetické energie dodávky v energii tepelnou, která nemůže být dále pro pohon vozidla využita.

Potřebná celková energie baterie pro uskutečnění denního nájezdu je poté dána součtem dílčích energií vypočtených v jednotlivých časových intervalech výpočtu.

Následující tabulka zobrazuje uvažované hodnoty účinností jednotlivých komponent hnacího ústrojí.

Účinnosti komponent elektromobilu	
Název technické veličiny	Hodnota [–]
Účinnost rozvodovky η_r	0,98 [88]
Účinnost redukčního převodu η_{rp}	0,98 [77]
Účinnost elektromotoru η_{em}	0,90 [54]
Účinnost trakčního měniče η_{mt}	0,98 [86]
Účinnost vybíjení baterie η_{b_vyb}	0,95 [86]
Účinnost rekuperace η_{rek}	0,61 [87]

Tabulka 33 Účinnosti komponent elektromobilu [54] [77] [86] [87] [88]

7.2 Návrh kapacity trakční baterie

Předpokladem návrhu požadované kapacity baterie je tedy schopnost provozu dodávky v čistě elektrickém režimu v části doručování. V případě elektromobilu je tedy nezbytné využívat elektrickou energii z baterie po celou dobu jízdy. Zároveň je trakční baterie jediným zdrojem energie pro pohon dodávky. Navržený dodávkový elektromobil též musí umožnit rozvážku v Mimoměstském, Příměstském a Městském cyklu během definované životnosti baterie. Z tohoto důvodu je pro návrh použit nejvíce energeticky náročný nájezd MMC2. Dále je též analyzován nájezd MMC3. Tento denní nájezd sice pro naftovou dodávku Peugeot Boxer vyšel méně energeticky náročný, ale celková doba rozvážky trvala déle. Výsledná hodnota požadované energie baterie nájezdu MMC3 může být větší než pro MMC2 z důvodu větší hodnoty potřebné energie pro vytápění kabiny řidiče v zimním provozu.

Následující tabulka v dolních dvou řádcích zobrazuje potřebnou energii baterie pro trakci elektromobilu pro denní nájezdy MMC2 a MMC3. Tato veličina je označena jako $E_{C_baterie_bev_trakce}$. Pro výpočet byly uvažovány dvě hodnoty součinitele valivého odporu. Jednotlivé sloupce se tedy mezi sebou liší o hodnotu vstupní veličiny f .

Celková energie baterie pro trakci elektromobilu [kWh]		
f [-]	0,01	0,015
MMC2	40,0	45,5
MMC3	37,7	43,7

Tabulka 34 Celková energie baterie pro trakci elektromobilu

V kapitole pojednávající o citlivostní analýze neznámých vstupních parametrů výpočtu energetické náročnosti na kolech vozidla byla zjištěna největší citlivost výsledku právě na součinitel valivého odporu. Tento fakt je viditelný i z uvedené tabulky. Hodnoty potřebné energie baterie pro trakci denního nájezdu MMC2 vychází pro hodnotu $f = 0,015$ o 5,5 kWh větší než v případě $f = 0,01$. Pro MMC3 s nejdelším denním nájezdem je vzniklý rozdíl 6 kWh . U elektromobilů mohou být použity pneumatiky vykazující nižší valivý odpor. Tyto pneumatiky by mohly být při ideálním stavu vozovky a pneumatiky charakterizovány uvedenou nižší hodnotou součinitele valivého odporu $f = 0,01$. Předpokladem výpočtu jmenovité kapacity baterie je ovšem celoroční provoz vozidla. Z tohoto důvodu je pro další postup uvažována vypočtená energie baterie pro hodnotu

$f = 0,015$. Tato velikost součinitele valivého odporu reprezentuje zhoršenou kvalitu vozovky vlivem klimatických podmínek v zimním období.

Dalším faktorem, který je třeba v zimním období zohlednit, je výkon baterie pro vyhřívání kabiny řidiče v případě snížených venkovních teplot. V okamžiku přejezdu mezi doručovací oblasti a depem Rudná sedí zaměstnanec České pošty po celou dobu ve vozidle, zatímco v části doručování dochází k častému nastupování a vystupování z vozidla. V tomto úseku denního nájezdu je zaměstnanec České pošty podstatnou dobu mimo vozidlo a je tedy vhodně oblečen vzhledem k venkovním teplotám.

Pro část příjezdu a odjezdu je zadán zvýšený výkon baterie pro tepelný komfort kabiny řidiče. V případě doručování není naopak uvažováno toto tepelné pohodlí. Pro tuto část denního nájezdu je zadána nižší hodnota výkonu baterie pro odmlžení čelního skla a dobrého výhledu řidiče. Ve výpočtu je tedy pro část příjezdu a odjezdu zadána hodnota výkonu baterie pro topení vzhledem k velikosti kabiny poněkud menší než bývá u osobních vozidel $P_{bat_top} = 2\,000\text{ W}$ a v případě doručování je tento výkon nastaven na $P_{bat_top} = 1\,000\text{ W}$. Zároveň je výkon pro vyhřívání kabiny řidiče ve výpočetním programu uvažován v okamžiku, kdy byl řidič usazen v dodávce.

Potřebná energie baterie pro vyhřívání kabiny řidiče je poté rovna.

$$E_{baterie_bev_top} = P_{bat_top} \cdot (t_k - t_p) \tag{44}$$

Kde tedy t_p je počáteční a t_k koncový bod časového intervalu. Celková energie baterie pro vyhřívání kabiny řidiče $E_{C_baterie_bev_top}$ je poté dána součtem dílčích intervalů. V další tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty celkové energie baterie pro vyhřívání kabiny řidiče.

Celková energie baterie pro vyhřívání kabiny elektromobilu [kWh]	
MMC2	5,3
MMC3	6,0

Tabulka 35 Celková energie baterie pro vyhřívání kabiny elektromobilu

Celková energie baterie pro trakci a vyhřívání kabiny řidiče jednotlivých denních nájezdů je rovna.

$$E_{C_baterie_bev} = E_{C_baterie_bev_trakce} + E_{C_baterie_bev_top} \tag{45}$$

Následující tabulka zobrazuje hodnoty celkové energie baterie pro trakci a vyhřívání kabiny řidiče pro nájezdy MMC2 a MMC3.

Celková energie baterie pro trakci a vyhřívání kabiny elektromobilu [kWh]	
MMC2	50,8
MMC3	49,7

Tabulka 36 Celková energie baterie pro trakci a vyhřívání kabiny elektromobilu

Takto uvažována energie baterie pro MMC2 je rovna 50,8 kWh a tedy je tato hodnota větší než pro nájezd MMC3, pro který je velikost této energie rovna 49,7 kWh. Dále je vidět, že potřebná energie baterie se při zhoršených okolních podmínkách značně navyšuje. Bez použití topení a při uvažování součinitele valivého odporu $f = 0,01$, který charakterizuje dobrý stav povrchu vozovky a pneumatiky, vychází potřebná energie baterie pouze 40,0 kWh pro nájezd MMC2. Tedy vzniklý rozdíl mezi ideálním stavem a zhoršenými klimatickými podmínkami dosahuje hodnoty 10,8 kWh. V dalších krocích je použita hodnota celkové energie baterie pro trakci a topení nájezdu MMC2.

K této energii je dále nutné připočítat energetickou rezervu pro provoz dodávky bez komplikací během celé definované životnosti. Při rozvážce či během přejezdu vozidla mezi depem Rudná a doručovací oblastí mohou nastat neobvyklé situace v podobě zvýšené hmotnosti nákladu, delšího nájezdu v části doručování či může řidič zvolit pro přesun do doručovací oblasti delší druh trasy z důvodu uzavírek. Pro další postup je uvažována 10 % rezerva.

$$E_{rezerva} = 0,1 \cdot E_{C_baterie_bev} \quad (46)$$

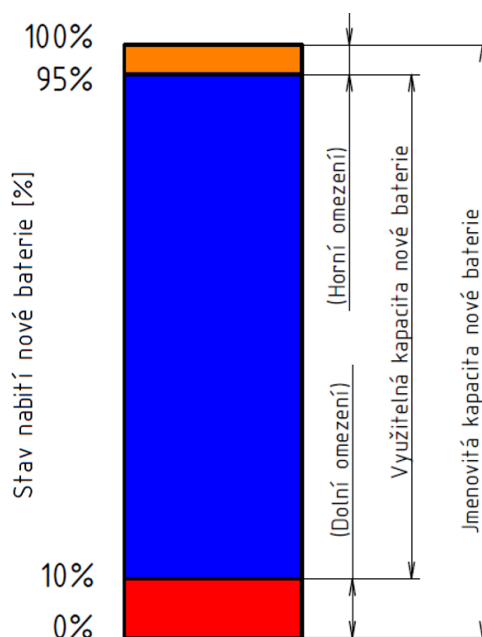
Hodnota energetické rezervy je tedy rovna přibližně 5,1 kWh. Součet celkové energie pro trakci a vyhřívání kabiny $E_{C_baterie_bev}$ a energetické rezervy $E_{rezerva}$ je poté rovna veličině, která je označena jako Využitelná kapacita staré baterie. Význam této veličiny bude vysvětlen v následujících řádcích.

$$E_{stara_baterie_bev_vyuz} = E_{C_baterie_bev} + E_{rezerva} \quad (47)$$

Hodnota této veličiny je tedy rovna 55,9 kWh.

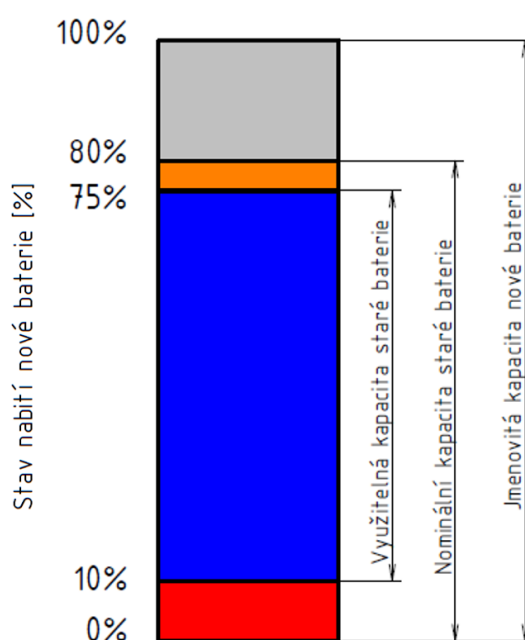
Tímto výpočtem byla vypočtena část energie baterie, kterou lze skutečně použít pro pohon vozidla či pro vytápění kabiny řidiče. Dále je třeba zohlednit skutečnost, že nelze zcela využít celkovou kapacitu baterie. Trakční baterie nelze provozovat ve stavu

hlubokého vybití pod 10 % [86]. Pokud by baterie v tomto stavu pracovala, měl by tento provoz závažný dopad na její životnost. Dále je třeba zohlednit fakt, že se u vozidel běžně nedobíjí na 100 % [86], ale pouze kolem 95 % [86] stavu nabití baterie. Důvodem je ponechání volného místa v baterii pro rekuperaci [86]. Na plnou kapacitu se baterie nabíjejí při bilancování, kdy je zarovnán stav nabití jednotlivých bateriových článků [86]. Bilancování provádí Battery Management jednou za týden až čtrnáct dní provozu [86]. Při řešení této problematiky je tedy třeba rozlišit uživatelský stav nabití baterie a technický stav nabití baterie [89]. Technický stav nabití baterie představuje skutečný stav nabití. Na přístrojové desce je řidiči naopak zobrazen uživatelský údaj nabití baterie, který je vůči technickému stavu přepočítáván. Při návrhu kapacity baterie budou používány následující pojmy. Nová instalovaná baterie je v textu popisována jako nová baterie. Zatímco označení stará baterie je použito pro baterii, jejíž nominální kapacita vlivem nevratných degradačních změn poklesla na definovanou úroveň. Dle studie [90] po vyřazení vozidel z provozu zbývá v lithium-iontové baterii přibližně 80 % [90] původní jmenovité kapacity. Tento uvedený pokles kapacity lze též považovat za konec životnosti baterie [91]. Pro nominální kapacitu nové baterie je použit výraz Jmenovitá kapacita nové baterie, naopak v případě staré baterie je využit termín Nominální kapacita staré baterie. Označení Využitelná kapacita staré i nové baterie symbolizuje tu část energie baterie, kterou lze použít při respektování dolní i horní hranice využitelnosti baterie. Následující obrázek zobrazuje výše uvedené pojmy pro novou baterii.



Obrázek 45 Využitelnost energie nové baterie

Pro další postup je uvažováno, že dodávku s navrhovanou lithium-iontovou baterií nelze provozovat pod 10 % jmenovité kapacity baterie. Dále je zaveden zjednodušený předpoklad, že energetický rozestup mezi aktuální nominální kapacitou baterie a běžným maximálním stavem nabití v absolutních hodnotách energie je vypočten jako 5 % Jmenovité kapacity nové baterie. Dále dodávka s touto baterií musí zvládnout rozvážku MMC2 při uvedených podmínkách zimního provozu a s 10 % rezervou i po poklesu Nominální kapacity staré baterie na 80 % původní jmenovité kapacity. Následující obrázek schematicky zobrazuje výše uvedené podmínky pro návrh jmenovité kapacity baterie.



Obrázek 46 Návrh baterie dodávkového elektromobilu

Ze zobrazeného obrázku je vidět, že Využitelná kapacita staré baterie $E_{stara_baterie_bev_vyuz}$ tvoří při takto definovaných podmínkách 65 % původní Jmenovité kapacity nové baterie. Pro návrh Jmenovité kapacity nové baterie $E_{baterie_bev_jmenovita}$ platí.

$$E_{baterie_bev_jmenovita} = \frac{100}{65} \cdot E_{stara_baterie_bev_vyuz} \quad (48)$$

Hodnota Jmenovité kapacity nové baterie je tedy rovna $E_{baterie_bev_jmenovita} = 86,0 \text{ kWh}$. Výsledek tohoto návrhu je diskutován v další kapitole.

7.3 Zhodnocení použitelnosti elektromobilu

Návrhem bylo zjištěno, že při daných parametrech dodávkového elektromobilu a výše uvedených podmínek by bylo nutné instalovat trakční baterii o jmenovité kapacitě 86,0 kWh. Ovšem ve výpočtu byla uvažována hmotnost lithium-iontové baterie o instalované kapacitě pouze 71,0 kWh. Lze tedy očekávat, že by vypočtená baterie a tedy i samotná dodávka dosahovala větších hodnot hmotnosti. V současné době je instalována baterie o podobné kapacitě v osobním voze Audi e-tron 55. Tato baterie se vyznačuje jmenovitou kapacitou 95 kWh [92] a hmotností 700 kg [92]. Pohotovostní hmotnost dodávkového elektromobilu s touto baterií by byla rovna 2590 kg. Naopak maximální nosnost vozidla by v tomto případě byla rovna 910 kg. Po definování této pohotovostní hmotnosti do výpočetního programu a opětovném provedení výpočtu, který byl podrobně vysvětlen v minulé podkapitole, by bylo nutné instalovat v dodávkovém elektromobilu baterii o minimální jmenovité kapacitě 88,2 kWh.

Z tohoto výsledku je patrné, že by v dodávce musela být instalována baterie o velké jmenovité kapacitě a hmotnosti. Velká provozní hmotnost vozidla by posléze vedla na zvýšenou spotřebu elektrické energie a tedy vyšší provozní náklady. Samotná pořizovací cena dodávky s takto velkou baterií by byla pravděpodobně vysoká. Kapacita této baterie by nebyla na méně energeticky náročných trasách České pošty využívána.

Dále bylo průzkumem nabízených či brzy uvedených dodávek na český trh v kapitole 4 zjištěno, že nabízené kapacity baterií dodávek do 3500 kg se pohybují maximálně okolo 55 kWh. Tato baterie je instalována v automobilu Mercedes-Benz eSprinter. Dodávkové elektromobily o podobném přepravním objemu jako Peugeot Boxer lze též pořídit v podobě Volkswagen e-Crafter a Renault Master Z.E., ve kterých je zabudovaná baterie o jmenovité kapacitě pouze 35,8 a 33 kWh. Částečným řešením by bylo omezení dálničního provozu, minimalizace topného výkonu v zimním období a přechod na menší a lehčí vozidla typu Streetscooter, které provozuje německá pošta. V těchto vozech byla instalována baterie ve dvou verzích 21,6 a 42,24 kWh. Ovšem přechod na rozměrově menší vozidla by měl za následek pokles přepravního objemu, který by nemusel postačovat pro rozvážku České pošty.

Z výše uvedených důvodů se tedy dodávkový elektromobil nejeví jako vhodné vozidlo pro provoz depa Rudná.

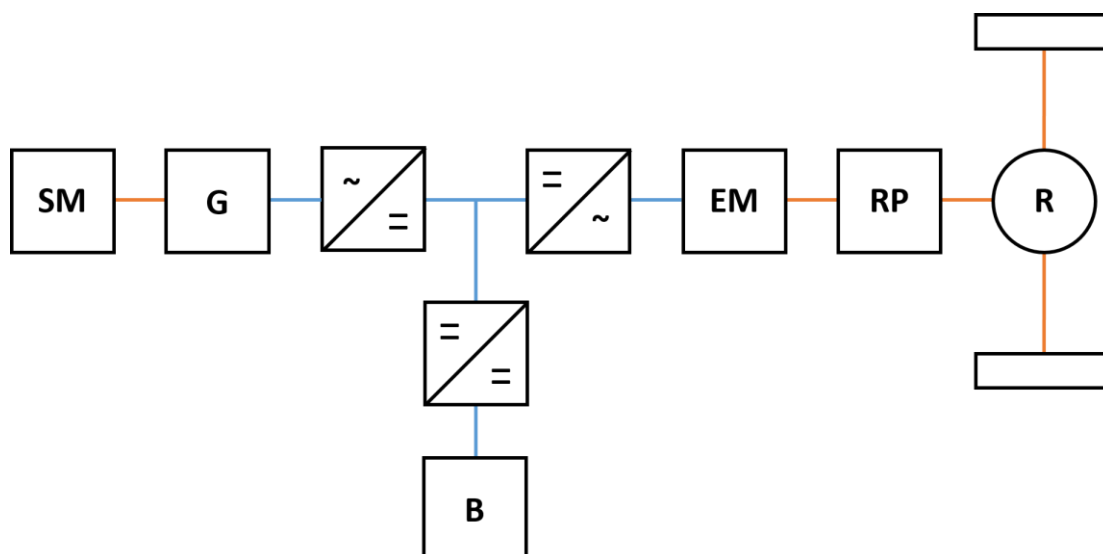
8 Elektromobil s prodlužovačem dojezdu a jeho vhodné parametry

V minulé kapitole bylo vyhodnoceno, že v případě provozu čistě elektrických dodávek by bylo nutné instalovat baterii o velké kapacitě. V kapitole pojednávající o energetické náročnosti naftové dodávky Peugeot Boxer bylo ovšem zjištěno, že podstatnou část energetické náročnosti denního nájezdu tvoří energie pro část příjezdu a odjezdu. Při použití spalovacího motoru pro tento úsek denního nájezdu by tedy bylo možné minimalizovat velikost trakční baterie a zároveň by bylo možné provozovat vozidlo v čistě elektrickém režimu během doručování. Tento koncept provozu vozidla umožňuje pohonné ústrojí elektromobilu s prodlužovačem dojezdu. Tato kapitola se tedy zabývá návrhem parametrů tohoto typu vozidla, které by splňovalo podmínky provozu depa Rudná, a zároveň byl umožněn provoz bez použití spalovacího motoru v části doručování.

Pro návrh vhodných parametrů hnacího ústrojí elektromobilu s prodlužovačem dojezdu (Range Extenderu) je tedy nejprve opět nutné vytvořit výpočetní model vozidla a definovat jeho technické parametry podobně jako u dodávkového elektromobilu. V druhé podkapitole je na základě uvedené podmínky čistě elektrického provozu v části doručování a chování modelu stanovena velikost jmenovité kapacity baterie a výkon spalovacího motoru Range Extenderu. V třetí části je podle vypočteného průběhu výkonu trakčního elektromotoru a s ohledem na provoz dodávek doporučen výkon trakčního elektromotoru. V poslední podkapitole je zhodnocena současná nabídka dodávek typu Range Extender pro podmínky depa Rudná.

8.1 Výpočetní model elektromobilu s prodlužovačem dojezdu

Základní schéma pohonu vozidla typu Range Extender bylo převzato ze zdroje [93]. Kola vozidla jsou poháněna trakčním elektromotorem přes stálý převod rozvodovky a jednostupňový redukční převod. Zdrojem elektrické energie trakčního elektromotoru je lithium-iontová baterie či spalovací motor. Podobně jako u elektromobilu může být pro pohon kol použit synchronní elektromotor s permanentními magnety.



Obrázek 47 Výpočetní model Range Extenderu

V případě přenosu energie z trakční baterie na kola vozidla, tedy v okamžiku kladné energie na kolech dodávky, je tok elektrické energie z trakční baterie veden přes oddělovací stejnosměrný měnič do stejnosměrného meziobvodu. Následně je stejnosměrné napětí převedeno na požadované střídavé napětí elektromotoru. Posléze je vzniklá mechanická energie přenesena na kola vozidla přes redukční a stálý převod rozvodovky. Pokud hodnota energie na kolech vozidla nabývá záporných hodnot, je tok energie veden opačným směrem. Spalovací motor je připojen na generátor elektrické energie v podobě střídavého proudu. Elektrický proud je následně usměrněn před vstupem do stejnosměrného obvodu přes usměrňovač generátoru. Pomocí této energie může být následně poháněn elektromotor, nabíjena baterie či lze pomocí této energie zároveň pohánět elektromotor a nabíjet trakční baterii.

Nejprve je nutné matematicky popsat jednotlivé toky energie, které mohou nastat při aplikaci modelu Range Extenderu na změřené denní nájezdy České pošty. Vstupní hodnotou tohoto výpočtu je energie na kolech Range Extenderu $E_{kolo_{re}}$. Velikost této energie závisí na aktuální celkové hmotnosti dodávky m_{re} , která je určena pomocí okamžitého zatížení dodávky $m_{zatížení}$ a pohotovostní hmotnosti Range Extenderu $m_{poh_{re}}$. Veličina $m_{poh_{re}}$ je definována podobně jako u elektromobilu pomocí pohotovostní hmotnosti naftové dodávky Peugeot Boxer m_{poh} . Z naftové verze jsou tedy opět virtuálně odstraněny části pohonného ústrojí $m_{komp_{nafta}}$, které nejsou u dodávky typu Range Extender obsaženy. Naopak jsou do Range Extenderu zakomponovány

hmotnosti agregátů m_{komp_re} , které jsou součástí pohonného ústrojí tohoto typu vozidla. Pro pohotovostní hmotnost Range Extenderu platí.

$$m_{poh_re} = m_{poh} + m_{komp_re} - m_{komp_nafta} \quad (49)$$

Celková hmotnost v daném časovém okamžiku m_{re} je poté vypočtena dle následujícího vztahu.

$$m_{re} = m_{poh_re} + m_{zatížení} \quad (50)$$

Celková hmotnost je tedy dána součtem pohotovostní hmotnosti Range Extenderu a aktuálního zatížení vozidla $m_{zatížení}$, které je definováno dle vztahu (4). Tedy k pohotovostní hmotnosti Range Extenderu je připočtena hmotnost řidiče $m_{řidič}$, spolujezdce v podobě autora této práce $m_{spolujezdce}$ a okamžitá hmotnost balíků $m_{balík}$. Hmotnost $m_{spolujezdce}$ je podobně jako u elektromobilu ve výpočtu ponechána s ohledem na další komponenty elektrické výzbroje, které nebyly ve veličině m_{komp_re} zohledněny. Pohotovostní hmotnost Range Extenderu m_{poh_re} společně s m_{komp_re} bude upřesněna v následující kapitole.

Vstupní veličiny v podobě součinitele odporu vzduchu c_x či čelní plochy vozidla S_x jsou podobně jako u elektromobilu též určeny na základě naftové dodávky Peugeot Boxer. Velikost součinitele valivého odporu je ve výpočtu zadána $f = 0,015$. Tedy při návrhu potřebné baterie Range Extenderu je použita velikost součinitele valivého odporu reprezentující zhoršenou kvalitu vozovky. Součinitel rotačních hmot je nastaven na hodnotu $\delta_{re} = 1,1$ podobně jako u elektromobilu.

V případě kladné energie na kolech Range Extenderu E_{kolo_re} je v jednotlivých časových krocích tato energie bilancována ve stejnosměrném meziobvodu s respektováním účinnosti stálého převodu rozvodovky η_r , redukčního převodu η_{rp} , elektromotoru η_{em} a trakčního měniče η_{mt} . Tato veličina je označena jako $E_{meziobvod_poh}$.

$$E_{meziobvod_poh} = \frac{E_{kolo_re}}{\eta_r \cdot \eta_{rp} \cdot \eta_{em} \cdot \eta_{mt}} \quad (51)$$

Spalovací motor o výkonu P_{sm} je schopný dodávat energii ve stejnosměrném meziobvodu o velikosti $E_{sm_meziobvod}$. Pro velikost této energie platí.

$$E_{sm_meziobvod} = P_{sm} \cdot (t_k - t_p) \cdot \eta_g \cdot \eta_{mg} \quad (52)$$

Kde t_k značí koncový a t_p počáteční bod daného intervalu. Energie spalovacího motoru je tedy v části meziobvodu snížena o účinnost generátoru η_g a měniče generátoru η_{mg} .

Pro pohon vozidla lze tedy využít energii z trakční baterie či spalovacího motoru. Tyto veličiny jsou ve stejnosměrném meziobvodu označeny v případě baterie jako $E_{baterie_meziobvod_poh}$ a $E_{sm_meziobvod_poh}$ v případě spalovacího motoru. Ve stejnosměrném meziobvodu tedy platí v jednotlivých časových krocích výpočtu následující rovnost energií.

$$E_{meziobvod_poh} = E_{baterie_meziobvod_poh} + E_{sm_meziobvod_poh} \quad (53)$$

Energie spalovacího motoru $E_{sm_meziobvod_poh}$ představuje část energie spalovacího motoru bilancovanou v meziobvodu, která je využita přímo pro pohon vozidla. Podobně veličina $E_{baterie_meziobvod_poh}$ označuje část energii baterie $E_{baterie}$ bilancovanou v meziobvodu, která je použita přímo pro pohon vozidla v daném časovém kroku výpočtu.

Pokud je energie pro pohon dodávky získána pouze pomocí trakční baterie, pro výkon spalovacího motoru platí $P_{sm} = 0$ a poté $E_{sm_meziobvod_poh} = 0$. Lze tedy napsat.

$$E_{baterie_meziobvod_poh} = E_{meziobvod_poh} \quad (54)$$

Baterie tedy musí pro pohon dodávky poskytnout energii o velikosti.

$$E_{baterie} = \frac{E_{meziobvod_poh}}{\eta_{mo} \cdot \eta_{b_vyb}} \quad (55)$$

Veličina $E_{baterie}$ tedy označuje velikost elektrické energie přímo v baterii. Ve jmenovateli vystupuje účinnost oddělovacího měniče η_{mo} a účinnost vybíjení baterie η_{b_vyb} .

V případě, že je spuštěn spalovací motor, mohou nastat následující případy. Pokud je $E_{meziobvod_poh} > E_{sm_meziobvod}$ je nutné z baterie odebírat energii, která je daná rozdílem těchto dvou energií. Veškerá energie spalovacího motoru je využita pro pohon.

$$E_{sm_meziobvod_poh} = E_{sm_meziobvod} \quad (56)$$

Pro energii $E_{baterie_meziobvod_poh}$ poté platí.

$$E_{baterie_meziobvod_poh} = E_{meziobvod_poh} - E_{sm_meziobvod_poh} \quad (57)$$

A přímo z baterie je tedy nutné pro pohon vozidla odvést energii o velikosti.

$$E_{baterie} = \frac{E_{meziobvod_poh} - E_{sm_meziobvod_poh}}{\eta_{mo} \cdot \eta_{b_vyb}} \quad (58)$$

Naopak při $E_{meziobvod_poh} < E_{sm_meziobvod}$ je spalovací motor schopen dodávat veškerou potřebnou energii trakčnímu elektromotoru a zároveň přebytkem energie nabíjet baterii. V tomto případě je ze spalovacího motoru odvedena energie pro pohon vozidla o velikosti.

$$E_{sm_meziobvod_poh} = E_{meziobvod_poh} \quad (59)$$

V této fázi není pro pohon vozidla odebírána energie z trakční baterie, ale naopak je do baterie ukládán přebytek energie spalovacího motoru v meziobvodu s respektováním účinnosti hnacího ústrojí.

$$E_{baterie} = (E_{meziobvod_poh} - E_{sm_meziobvod}) \cdot \eta_{mo} \cdot \eta_{b_nab} \quad (60)$$

Kde η_{b_nab} je účinnost nabíjení baterie. Pro tento případ má takto uložená energie v baterii záporné znaménko jako při rekuperaci brzděné energie.

Dále může nastat $E_{sm_meziobvod} = E_{meziobvod_poh}$. V tomto případě spalovací motor poskytuje v plném rozsahu energii elektromotoru a z baterie tedy není odebírána či ukládána energie.

$$E_{baterie} = 0 \quad (61)$$

Dosud byly vyšetřeny případy, ve kterých byla hodnota energie na kolech Range Extenderu kladná. V případě rekuperace části brzděné energie je použit stejný vztah mezi zápornou energií na kolech a energií uloženou v baterii jako v případě elektromobilu. Pro následující výpočet výkonu elektromotoru ve fázi brzdění je takto uložená energie v baterii označena též jako E_{rek} .

$$E_{rek} = E_{baterie} = E_{kolo_re} \cdot \eta_{rek} \quad (62)$$

Spalovací motor prostřednictvím generátoru může v této fázi nabíjet baterii o velikosti.

$$E_{baterie} = -P_{sm} \cdot (t_k - t_p) \cdot \eta_g \cdot \eta_{mg} \cdot \eta_{mo} \cdot \eta_{b_nab} \quad (63)$$

Ve výpočetním programu je též omezeno nabíjení plně nabité baterie. V tomto případě tedy nelze nabíjet baterii spalovacím motorem ani rekuperovat. Brzdný výkon je plně pokryt mechanickými brzdami. Ve výpočetním modelu je dále předpokládáno, že baterie není při nabíjení omezena maximální velikostí výkonu. Ve skutečnosti se každý druh baterie vyznačuje maximálním napájecím proudem a tedy výkonem. Výkon elektromotoru v motorickém režimu je roven.

$$P_{em} = \frac{E_{kolo_re}}{\eta_r \cdot \eta_{rp} \cdot (t_k - t_p)} \quad (64)$$

V tomto případě se jedná o mechanický výkon na výstupním hřídeli elektromotoru. Případně lze výkon elektromotoru ve fázi pohonu zpětně vypočítat pomocí bilancovaných energií v meziobvodu.

$$P_{em} = \frac{(E_{baterie_meziobvod_poh} + E_{sm_meziobvod_poh}) \cdot \eta_{mt} \cdot \eta_{em}}{(t_k - t_p)} \quad (65)$$

V okamžiku záporné energie na kolech vozidla je třeba zohlednit fakt, že je ve výpočtu uvažována ztráta brzdné energie v podobě tepelné energie mechanických brzd. Z tohoto důvodu část záporné energie na kolech vozidla neprochází hnacím ústrojím. Výkon elektrického stroje pracující v generátorovém režimu je tedy dopočítán zpětně pomocí energie uložené v baterii pomocí rekuperace.

$$P_{em} = \frac{E_{rek}}{\eta_{b_nab} \cdot \eta_{mo} \cdot \eta_{mt} \cdot (t_k - t_p)} \quad (66)$$

V generátorovém režimu se jedná o elektrický výkon v elektrické části soustavy mezi elektromotorem pracujícím v generátorovém režimu a trakčním měničem. Podobně jako u dodávkového elektromobilu jsou ve výpočetním programu použity konstantní hodnoty účinností. Následující tabulka zobrazuje použité hodnoty.

Účinnosti komponent Range Extenderu	
Název technické veličiny	Hodnota [–]
Účinnost rozvodovky η_r	0,98 [88]
Účinnost redukčního převodu η_{rp}	0,98 [77]
Účinnost elektromotoru η_{em}	0,90 [54]
Účinnost trakčního měniče η_{mt}	0,98 [86]
Účinnost oddělovacího měniče η_{mo}	0,98 [86]
Účinnost měniče generátoru η_{mg}	0,98 [86]
Účinnost vybíjení baterie η_{b_vyb}	0,95 [86]
Účinnost nabíjení baterie η_{b_nab}	0,95 [86]
Účinnost rekuperace η_{rek}	0,61 [87]
Účinnost generátoru η_g	0,95 [54]

Tabulka 37 Účinnosti komponent Range Extenderu [54] [77] [86] [87] [88]

V jednotlivých časových krocích výpočtu je na základě uvedených vztahů dopočítáván aktuální stav nabití baterie a výkon elektromotoru.

Těmito rovnicemi bylo popsáno základní chování modelu Range Extenderu. Pro další postup je třeba zohlednit vhodné využití spalovacího motoru, pomocí kterého by byla minimalizována jmenovitá kapacita baterie. Z naměřených jízdních nájezdů České pošty bylo zanalyzováno, že podstatná část energie na kolech vozidla připadá na část příjezdu a odjezdu. Z tohoto důvodu je pro vozidla České pošty vhodný přepínatelný systém jízdních režimů, který je například aplikován u dodávky Ford Transit Custom Plug-In Hybrid. Jak již bylo zmíněno, v této dodávce lze nastavit režim čistě elektrický, režim udržování či zvýšení stavu nabití baterie či lze nastavit mód, při kterém se řídicí jednotka snaží o nejlepší využití energie baterie a spalovacího motoru. Pro další postup je předpokládáno, že dodávku lze provozovat čistě elektricky a dále dodávka disponuje možností použití spalovacího motoru pro udržování či zvýšení hladiny nabití baterie dle požadavku řidiče.

Pro nejdelší nájezdy může být v části příjezdu vhodný režim, při kterém systém vozidla udržuje hladinu nabití baterie na vysoké úrovni, a tedy uchovává elektrickou energii v baterii pro část doručování. Pro část odjezdu je třeba zohlednit aktuální stav nabití baterie po skončení doručování. V případě, že se stav nabití baterie blíží ke spodní hranici využitelnosti baterie, je vhodné okamžité zapnutí spalovacího motoru s cílem navýšit

a posléze udržovat stav nabití baterie na přijatelné úrovni. Tato přijatelná hladina nabití by měla řidiči poskytovat dostatečnou energetickou rezervu v případě výkonnostních špiček, pro které je samotný výkon spalovacího motoru nedostačující. Zároveň je ovšem neefektivní použít spalovací motor pro zvýšení hladiny na úroveň, která je blízka stavu plného nabití. Po skončení doručování se stále ještě dostatečnou zbývající kapacitou baterie je též okamžité spuštění spalovacího motoru nevýhodné. V tomto případě postačuje spustit spalovací motor v pozdější fázi odjezdu, kdy stav nabití baterie poklesne k nižší úrovni.

Současně je účelné omezit nabíjení baterie spalovacím motorem při návratu do depa, neboť lze předpokládat, že v depu bude vozidlo připojeno pomocí speciálního nabíjecího zařízení k elektrické síti. Nabíjení baterie z elektrické sítě je výrazně levnější než nabíjení pomocí spalovacího motoru.

Součástí hybridních vozidel jsou automatické řídicí algoritmy, pomocí kterých je pohonné soustrojí vozidla řízeno pro splnění požadavků řidiče. Je tedy sledována požadovaná rychlost vozidla či udržení aktuálního stavu nabití baterie. Zároveň se tyto algoritmy starají o ekonomický provoz vozidla, tedy v každém časovém okamžiku se systém vozidla stará o maximální možnou účinnost hnacího řetězce. U jednotlivých výrobců lze očekávat rozdílný způsob řízení hybridních vozidel.

Pro návrh optimálních parametrů Range Extenderu je vytvořen zjednodušený model, který umožňuje pro část příjezdu a odjezdu uvést do činnosti spalovací motor s cílem udržovat hladinu nabití baterie na zvolené úrovni. Pomocí vytvořeného modelu lze tedy simulovat přání řidiče udržovat hladinu nabití baterie či ji naopak nejprve zvýšit a následně udržovat. Tohoto požadavku je dosaženo definováním spodní a horní meze intervalu, ve které se má hladina nabití baterie pohybovat. Spalovací motor je tedy uveden do činnosti v okamžiku, kdy se stav nabití baterie nachází pod definovanou spodní mezí. Po dosažení horní meze nastaveného intervalu je spalovací motor vypnut. Velikost rozsahu mezi horní a spodní mezí je definována jako 5 % jmenovité kapacity baterie. Tato hodnota představuje kompromis mezi udržováním dané hladiny baterie a frekvencí spínání spalovacího motoru.

Spalovací motor je nastaven do bodu optimální měrné spotřeby paliva. Pomocí takto nastaveného pracovního bodu lze kromě minimalizace zmíněné spotřeby paliva dále optimalizovat pole účinnosti generátoru a tedy dosáhnout zvýšené celkové účinnosti

vzájemné spolupráce spalovacího motoru a generátoru. Pokud je takto vyprodukovaná energie spalovacího motoru větší než energie nutná pro trakci, je přebytek této energie s uvažováním účinností příslušných komponent hnacího ústrojí uložen do baterie. V opačném případě, kdy energie spalovacího motoru je menší než energie nutná pro trakci, je z baterie odebírána energie o požadované velikosti. Tyto energetické toky jsou popsány výše uvedenými vztahy výpočetního modelu Range Extenderu. Jedná se tedy o zjednodušený model, ve skutečnosti by systém vozidla dále mohl reagovat na aktuální spotřebu energie, rychlost vozu či provozní stav spalovacího motoru a trakční baterie. Na základě těchto informací by řídicí jednotka vozidla upravovala dobu zapnutí či vypnutí spalovacího motoru a popřípadě měnila pracovní bod spalovacího motoru.

Ve výpočtu je podobně jako u elektromobilu uvažováno, že se trakční baterie běžně nabíjí maximálně okolo 95 % nominální kapacity baterie. Pokud by spalovací motor pomocí generátoru nabíjel trakční baterii při stavu téměř plného nabití, účinnost nabíjení baterie by poklesla vlivem růstu vnitřních odporů jednotlivých bateriových článků [86]. Z tohoto důvodu není vhodné nabíjet baterii v blízkosti stavu plného nabití pomocí spalovacího motoru.

Opačná situace nastává při nízkém stavu nabití baterie v okamžiku, kdy zbývající energie baterie dosáhne minimálního technicky přípustného stavu. V tomto případě je zapnutí funkce spalovacího motoru pro další pokračování v jízdě nezbytné. Ve výpočetním programu se tedy automaticky spustí spalovací motor s cílem nabít baterii, pokud stav nabití baterie dosáhne minimálního technicky přípustného stavu. Hodnota minimálního technicky přípustného stavu, jak bude dále vysvětleno, je uvažována podobně jako u elektromobilu 10 % jmenovité kapacity baterie. Spalovací motor je posléze zapnut až do okamžiku dosažení 15 % stavu nabití baterie. Pokud by i přes zapnutí spalovacího motoru dále poklesl stav nabití baterie, systém vozidla by řídicí omezil maximální výkon vozidla. Toto omezení ovšem nelze pomocí výpočetního programu definovat, protože vstupem výpočetního programu je naměřený a následně upravený profil rychlosti vozidla ovlivňující okamžitý výkon. Při návrhu jmenovité kapacity baterie je ovšem snaha udržet bezpečný odstup od minimálního technicky přípustného stavu a zcela se vyhnout automatickému spuštění spalovacího motoru při dosažení minimálního technicky přípustného stavu.

8.2 Velikost kapacity trakční baterie a výkonu spalovacího motoru

8.2.1 Návrh jmenovité kapacity baterie a výkonu spalovacího motoru

Ve vytvořeném modelu Range Extenderu je nutné předem definovat jmenovitou kapacitu baterie společně s výkonem spalovacího motoru v bodě optimální měrné spotřeby. Poté je model s těmito vstupními parametry aplikován na kritické denní nájezdy a následně je sledován průběh stavu nabití baterie. Tedy je zpětně analyzováno, zda při zvolených parametrech modelu nedochází k provozu baterie v nepřipustných hodnotách stavu nabití. Na jmenovité kapacitě totiž závisí počáteční množství energie uložené v baterii při běžném nabíjení, nominální kapacita baterie na hraně definované životnosti či minimální přípustný stav nabití baterie. Velikostí výkonu spalovacího motoru v pracovním bodě lze naopak ovlivnit, jakou mírou je schopen spalovací motor podporovat vozidlo v jízdě. Pokud bylo výpočtem zjištěno, že zadaná jmenovitá kapacita baterie či výkon spalovacího motoru nepostačuje pro bezpečný provoz na kritických trasách během celé definované životnosti, byly tyto parametry změněny a celý proces se znovu opakoval. Hledané veličiny v podobě jmenovité kapacity baterie a výkonu spalovacího motoru v bodě optimální měrné spotřeby paliva byly ve výpočetním programu nastavovány dle parametrů skutečných komponent. Výhodou tohoto řešení je reálná dostupnost těchto pohonných agregátů. Při změně těchto veličin byla též upřesňována pohotovostní hmotnost dodávky na základě použité baterie či spalovacího motoru. Uvedený postup se opakoval do okamžiku nalezení optimálního řešení.

V nastaveném pracovním bodě spalovacího motoru není požadavkem, aby spalovací motor samostatně vyrovnával výkonnostní špičky vznikající například při jízdě po dálnici. V tomto případě musí spalovací motor poskytnout dostatečný výkon pro bezpečný průjezd, tedy aby v případě výkonnostních špiček stav nabití baterie nepoklesl pod minimální technicky přípustný stav. Při méně dynamické jízdě musí spalovací motor svým výkonem udržovat stav nabití baterie na zvolené úrovni a v případě přání řidiče stav nabití baterie zvýšit. Vhodné řešení bylo nalezeno v atmosférickém tříválcovém benzínovém motoru s označením 1,0 MPI Evo, který se v současnosti montuje do osobních vozidel VW Polo a Seat Ibiza [94]. Též bude tento motor zabudován

do nové generace Škody Fabia IV [94]. Maximální výkon dosahuje hodnoty 59 kW [95] a v bodě optimální měrné spotřeby je velikost výkonu rovna $27,6 \text{ kW}$ [95]. Nastavený pracovní bod spalovacího motoru tedy umožňuje samotné dodávce dosažení rychlosti přibližně $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ při 4 % stoupání či jízdu po rovině rychlostí téměř $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Uvedené hodnoty rychlosti byly vypočteny na základě již popsané energetické bilance hnacího traktu Range Extenderu (výpočetní program „Vykon_Range_Extender“).

Předpokladem určení optimální kapacity baterie je tedy celoroční čistě elektrický provoz v části doručování během definované životnosti, tedy do poklesu nominální kapacity baterie na 80 % původní jmenovité kapacity. Pro metodiku nalezení optimálních parametru kapacity baterie byly opět zadány nejméně příznivé vstupní parametry. Jak již bylo řečeno, součinitel valivého odporu je opět nastaven na hodnotu $f = 0,015$. Dále je ve výpočtu předpokládáno, že řidič ponechá v činnosti elektrické topení i po zapnutí spalovacího motoru. Tedy je uvažován výkon baterie pro vyhřívání kabiny řidiče podobně jako pro elektromobil. Řidič by mohl elektrické topení po rozběhu spalovacího motoru vypnout, při tomto návrhu se ovšem uvažuje tento kritický případ. Na základě zmíněných podmínek a chování modelu bylo nalezeno optimální řešení v podobě jmenovité kapacity trakční baterie nejnovější verze osobního vozidla BMW i3, která je rovna $42,24 \text{ kWh}$ [57]. Dle výrobce lze z této baterie využít $37,9 \text{ kWh}$ [57]. Trakční baterie je kromě tohoto osobního vozidla instalována i ve vozidlech německé pošty StreetScooter. Dokázání použitelnosti zvolených parametrů bude uvedeno v další kapitole. Pro kompletní definování všech vstupních hodnot je dále nutné na základě zvolené kapacity baterie a spalovacího motoru definovat pohotovostní hmotnosti dodávkového Range Extenderu.

Stanovení hmotnosti Range Extenderu			
Komponenty – Naftová verze		Komponenty – Range Extender	
Naftový motor	130 kg [83]	Trakční baterie	278 kg [57]
Stupňová převodovka	50 kg [83]	Elektromotor	40 kg [86]
		Měnič	3x40 kg [86]
		Redukční převod	15 kg [83]
		Generátor	40 kg [86]
		Benzínový motor	70 kg [83]

Tabulka 38 Stanovení hmotnosti Range Extenderu [57] [83] [86]

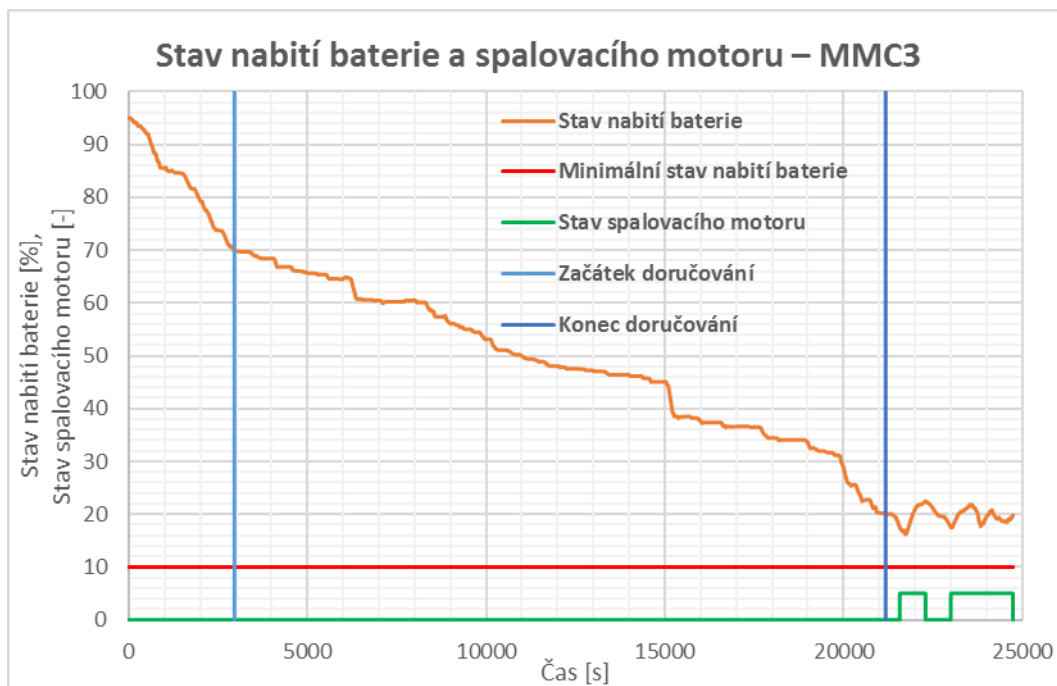
Podobně jako pro dodávkový elektromobil platí $m_{komp_nafta} = 180 \text{ kg}$ a hmotnost agregátů Range Extenderu je naopak rovna $m_{komp_re} = 563 \text{ kg}$. Dle výše uvedeného vztahu (49) platí pro pohotovostní hmotnost Range Extenderu $m_{poh_re} = 2358 \text{ kg}$, tedy je tato hmotnost o 232 kg menší než u elektromobilu s instalovanou baterií osobního vozidla Audi e-tron 55.

8.2.2 Ověření navržených parametrů

Následuje tedy samotné ověření navržených parametrů trakční baterie a spalovacího motoru. Dále je zobrazen možný způsob provozu dodávkového Range Extenderu během definované životnosti baterie. Tato analýza je provedena pro energeticky nejnáročnější či potenciálně kritické denní nájezdy jednotlivých naměřených cyklů. Zobrazené grafy znázorňují průběh stavu nabití baterie, který je pokaždé vztažen na původní nominální kapacitu baterie. Tato časová závislost je označena oranžovou barvou. Též je stav nabití baterie v textu této práce, pokud není daný stav výslovně konkretizován, vždy vztažen na původní jmenovitou kapacitu. V jednotlivých grafech je též znázorněn stav zapnutí či vypnutí spalovacího motoru zelenou křivkou. Pokud je spalovací motor zapnut, funkční hodnota nabývá nenulové velikosti. Vypnutý spalovací motor je naopak charakterizován nulovou hodnotou. V grafech je též zobrazen okamžik počátku či konce doručování společně s minimální technicky přípustnou hodnotou stavu nabití baterie. Výrobce udává, že z celkové kapacity baterie lze využít téměř 90 % nominální kapacity baterie. Ovšem dále nekonkretizuje horní a dolní hranici využitelnosti baterie, která byla podrobně popsána v kapitole pojednávající o návrhu trakční baterie elektromobilu. Z tohoto důvodu je uvažováno, že podobně jako u elektromobilu není vhodné provozovat baterii pod 10 % původní jmenovité kapacity a běžný maximální stav nabití baterie se pohybuje okolo již zmiňovaných 95 % aktuální nominální kapacity. Ve výpočetním programu je tedy uvažováno, že lze z baterie běžně využít o necelých 5 % méně, než udává výrobce. Minimální technicky přípustná hodnota stavu nabití baterie je vyznačena vodorovnou červenou úsečkou, naopak počátek či konec části doručování svislou modrou úsečkou.

První analyzovanou trasou je nejdelší denní nájezd mimoměstského cyklu MMC3. Pro tento případ byla vypočtena pro naftovou dodávku Peugeot Boxer největší hodnota součtu energetické náročnosti na kolech vozidla pro část příjezdu a doručování. Bez použití spalovacího motoru při příjezdu lze tedy očekávat pro tuto trasu nejnižší stav

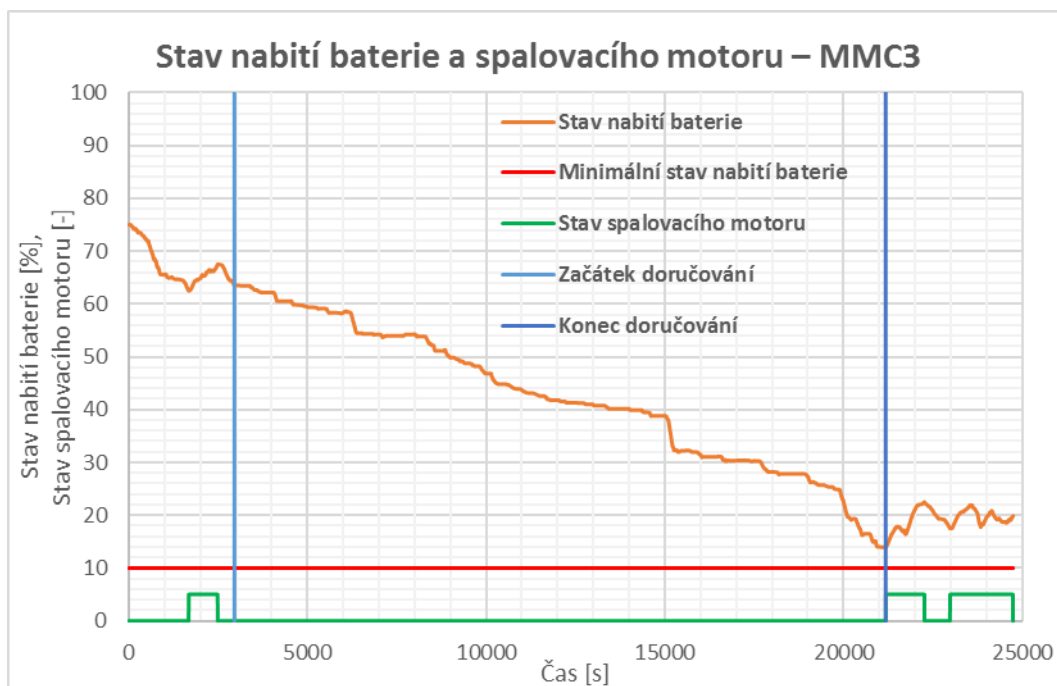
nabití baterie po skončení doručování ze všech naměřených jízdních nájezdů. Tento okamžik může být zároveň pro dimenzování baterie rozhodující. Následující graf znázorňuje výjezd dodávky s novou baterií.



Obrázek 48 Stav nabití nové baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MMC3

Dodávka je schopna čistě elektrického provozu v části doručování i bez zapnutí spalovacího motoru při příjezdu do doručovací oblasti. Dále je z grafu vidět, že vozidlo přijelo do této oblasti se zhruba 70 % nabitou baterií. Tento stav nabití baterie zaručuje přibližně 10 % rezervu vůči minimálnímu technicky přípustnému stavu po skončení doručování. Pomocí této energetické rezervy je zaručen dostatečný odstup od minimálního technického přípustného stavu nabití baterie během odjezdu do depa, při kterém je spalovacím motorem udržován stav nabití baterie kolem 20 %. Spalovací motor se tedy v tomto případě zapíná při poklesu stavu nabití baterie pod 17,5 % a vypíná se po dosažení 22,5%. Řidiči by tedy postačovalo zapnout spalovací motor pouze při odjezdu a udržovat v hybridním módu dostatečný odstup od minimálního technicky přípustného stavu nabití baterie. Řidič by tedy udržoval stav nabití baterie například kolem uvedených 20 %. Popřípadě by tento stav nabití baterie mohl být udržován samotnou řídicí jednotkou.

Následující obrázek zachycuje výjezd dodávky s baterií na hraně definované životnosti.

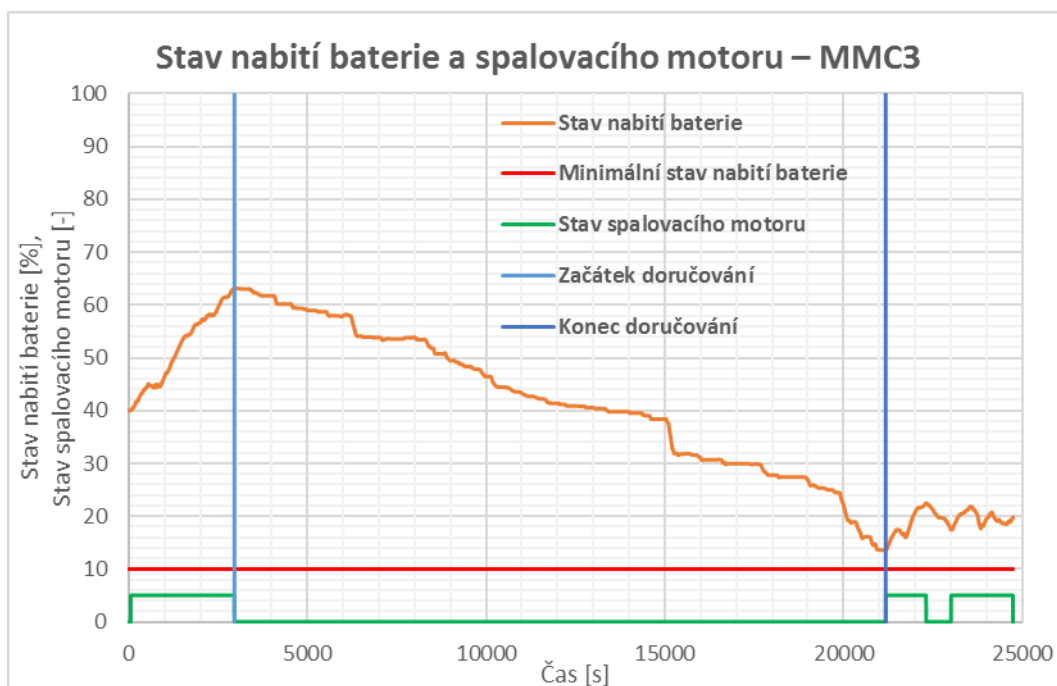


Obrázek 49 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MMC3

Při výjezdu z depa se starou baterií je naopak nutné v části příjezdu udržovat stav nabití minimálně kolem 65 %. Ve výpočetním programu je tedy v části příjezdu spalovací motor uveden do činnosti v okamžiku poklesu stavu nabití baterie na úroveň 62,5 % a je naopak vypnut po dosažení 67,5 %. Pro tento limitní případ je v baterii po skončení doručování zachován alespoň minimální energetický rozestup od hraničního stavu nabití baterie. Na začátku zpátečního odjezdu do depa je spalovacím motorem navýšen stav nabití baterie na uvedenou bezpečnou úroveň 20 % a poté je tato hladina nabití baterie spalovacím motorem udržována. Řidič by tedy nejprve spustil mód navýšení stavu nabití baterie, který by byl po dosažení bezpečné úrovně nabití přepnut na režim udržovací.

Během dlouholetého provozu vozidla, který by měl za následek pokles nominální kapacity baterie, by se doba zapnutého spalovacího motoru v části příjezdu zvětšovala. Dle dlouhodobých zkušeností pracovníka České pošty by byl během provozu upravován okamžik spuštění spalovacího motoru v této fázi denního nájezdu pro dosažení čistě elektrického provozu v části doručování. Pokud by byl v daný pracovní den zvýšený počet balíků a tedy potenciálně větší počet najetých kilometrů v části doručování, řidič by při příjezdu udržoval pomocí spalovacího motoru stav nabití baterie na vyšší úrovni. Tímto způsobem by si vytvořil větší energetickou rezervu pro část doručování.

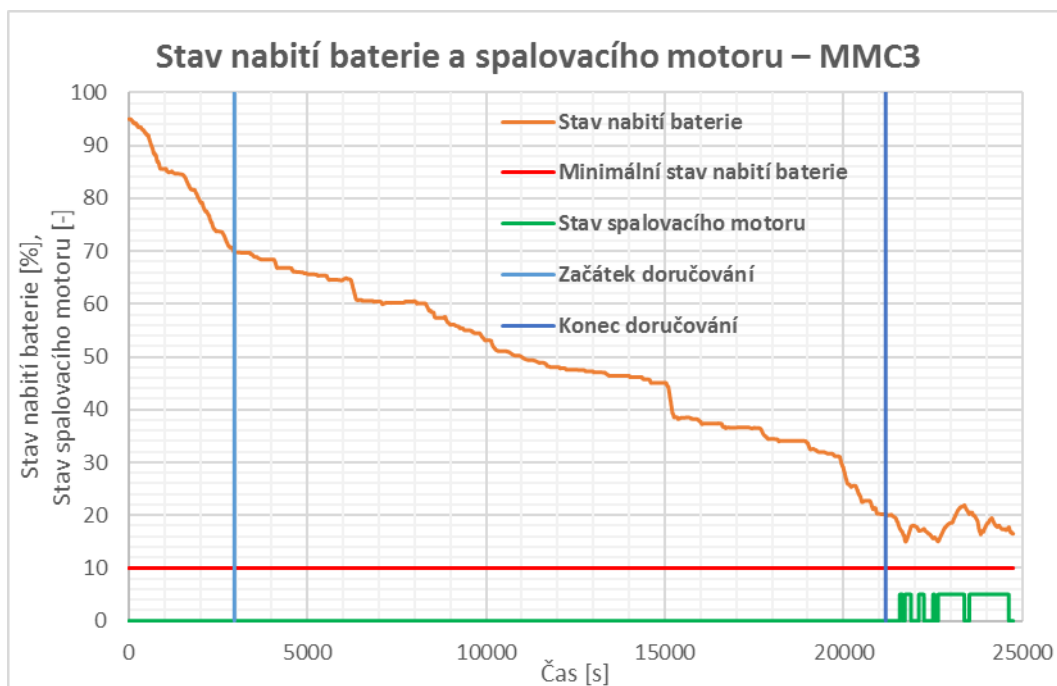
Další výhodou tohoto přepínatelného režimu jízdních režimů je použití funkce navýšení stavu nabití baterie pro nenadálé situace, při kterých vyjede vozidlo s částečně nabitou baterií. Tato situace by například mohla nastat při výpadku elektrické sítě.



Obrázek 50 Výjezd s částečně nabitou baterií – nájezd MMC3

V případě elektromobilu by vozidlo z důvodu této nenadálé situace nemohlo vyjet z depa do okamžiku nabití trakční baterie na dostačující úroveň. Tato událost by mohla způsobit potíže v časové organizaci provozu depa. Pomocí spalovacího motoru Range Extenderu by tento problém mohl být vyřešen okamžitým spuštěním spalovacího motoru s cílem dostatečně nabít baterii. V případě této komplikace by tedy nebyla ohrožena rozvážka balíků a dodávka by mohla vyjet z depa bez časových prodlev. V případě zcela vybité baterie by řidič musel ponechat zapnutý spalovací motor i v části doručování.

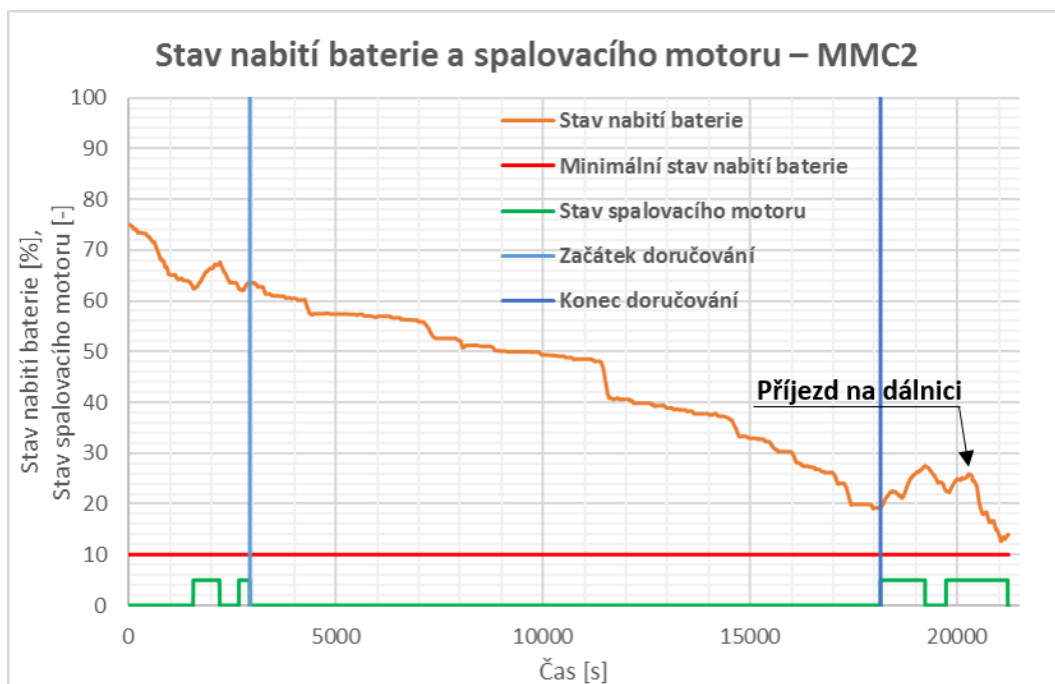
Dalším jízdním modulem, který v současnosti výrobci hybridních vozidel nabízejí, je automatické převedení pohonu vozidla do čistě elektrického módu. Tento systém lze nalézt i v dodávce Ford Transit Custom Plug-In Hybrid. Pomocí tohoto režimu může řídicí jednotka vozidla vyhodnotit průjezd vozidla v reálném čase dle dat GPS jednotlivými nadefinovanými bezemisními oblastmi. Ukázka této funkce je zobrazena v dalším obrázku pro případ výjezdu s novou baterií.



Obrázek 51 Automatické převedení pohonu vozidla do čistě elektrického režimu

Automatické převedení pohonu vozidla do čistě elektrického režimu je ve výpočetním programu nastaveno vypnutím spalovacího motoru v dané obci. Okamžik vypnutí a zapnutí spalovacího motoru je definován průjezdem dodávky kolem cedule označující začátek či konec obce. Jak je vidět z grafu, dodávka během zpátečního odjezdu do depa projela mnoha obcemi a zároveň samotná doba průjezdu obcí či časový interval mezi jednotlivými obcemi není veliký. Řídící jednotka by tedy na základě GPS dat mohla poupravovat dobu zapnutí spalovacího motoru s ohledem na aktuální stav nabití baterie a požadavek bezemisního průjezdu danou obcí. Spalovací motor by například nebyl zapínán mezi blízko sousedícími obcemi.

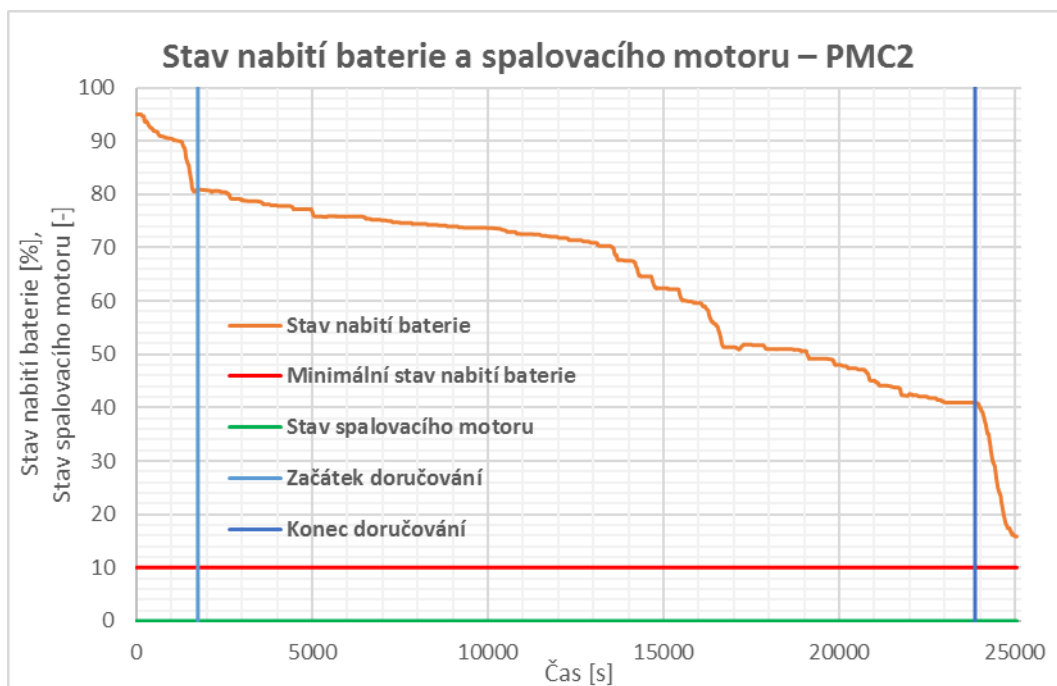
Dalším analyzovaným denním nájezdem je MMC2, při kterém řidič zvolil dynamický styl jízdy zejména při zpátečním odjezdu do depa. Tento rozbor je proveden pro výjezd dodávky se starou baterií. Při příjezdu do doručovací oblasti je opět pomocí spalovacího motoru udržován stav nabití baterie okolo 65 %.



Obrázek 52 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MMC2

Tedy při definování stejných podmínek jako pro MMC3 zbývá po skončení doručování více energie v případě MMC2. Ovšem následně řidič zvolil při návratu zmíněný dynamický styl jízdy a to zejména v okamžiku jízdy dálnici. Tento fakt je viditelný při posledním spuštění spalovacího motoru od časového okamžiku přibližně 20 000 s. Od tohoto časového momentu nastavený výkon spalovacího motoru nepostačuje na dosahované výkonnostní špičky a dochází tedy k poklesu stavu nabití baterie. Pokud by se tedy pracovník České pošty chtěl vrátit do depa uvedeným dynamickým stylem jízdy, musel by dle vlastních zkušeností navýšit stav nabití baterie na dostatečnou úroveň. Ve výpočetním programu se pro tento případ spalovací motor zapíná při stavu nabití baterie pod 22,5 % a opět se vypíná po dosažení 27,5 %. Jak bylo zmíněno, při návrhovém výpočtu je uvažován výkon elektrického topení i po zapnutí spalovacího motoru. V reálném provozu by ovšem měl řidič toto elektrické topení v části odjezdu vypnout a uchovat tak dostatek energie v baterii.

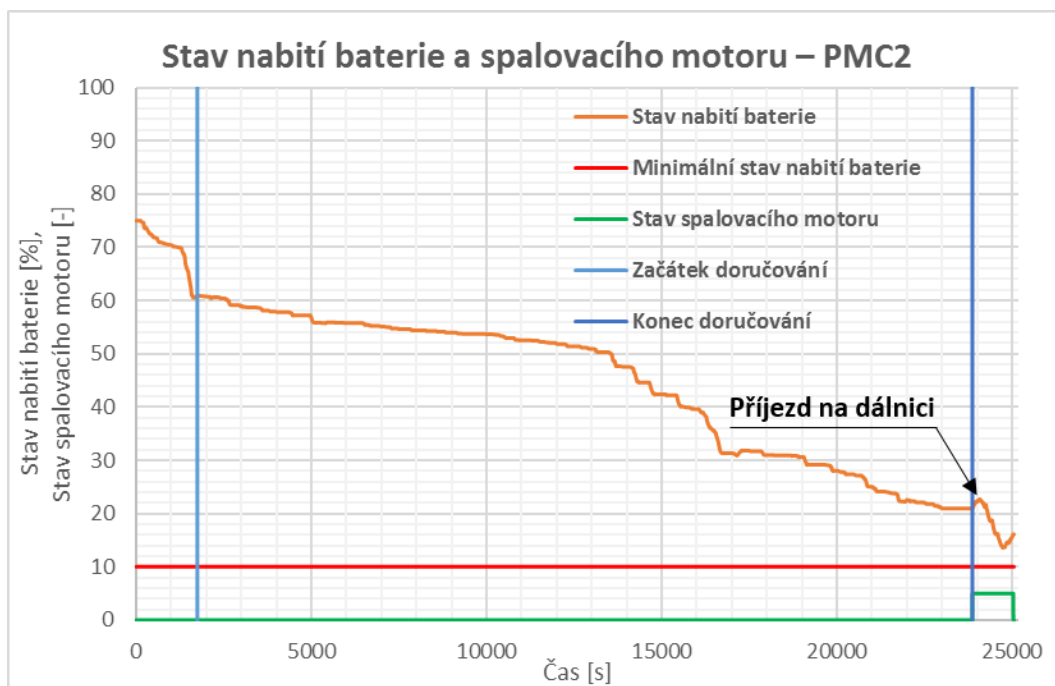
Další analyzovanou trasou je nejdelší a zároveň energeticky nejnáročnější denní nájezd Příměstského cyklu. Následující obrázek zachycuje výjezd dodávky s novou baterií.



Obrázek 53 Stav nabití nové baterie a spalovacího motoru denního nájezdu PMC2

V případě nové baterie by tedy spalovací motor nemusel být uveden do činnosti a dodávka by na začátku své životnosti mohla být provozována po celou dobu rozvážky v čistě elektrickém módu. Dále je z grafu vidět, že podstatná část energie byla použita na odjezd z doručovací oblasti. Pokud by řidič zvolil mírnější styl odjezdu než v případě PMC2, který byl z naměřených denních nájezdů Příměstského cyklu nejvíce energeticky náročný, bylo by možné vozidlo provozovat čistě elektricky i po určitém poklesu nominální kapacity baterie.

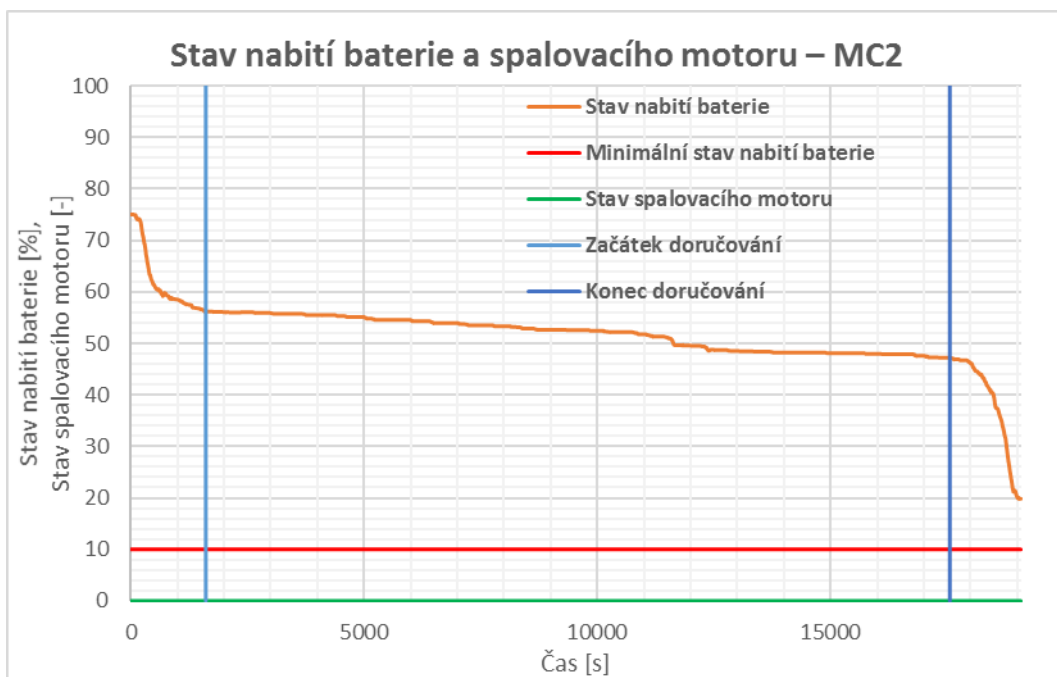
Následující graf zobrazuje výjezd dodávky s baterií na hraně definované životnosti.



Obrázek 54 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu PMC2

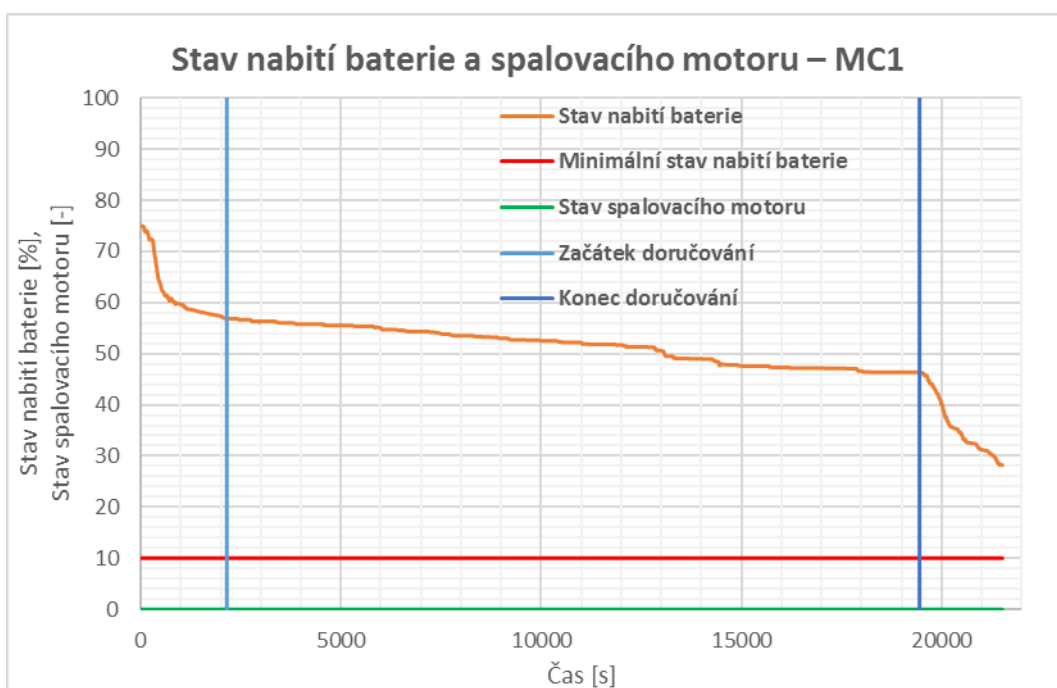
Při výjezdu se starou baterií je nutné spalovací motor spustit v části odjezdu. Pokud by chtěl pracovník České pošty zvolit dynamický styl jízdy po dálnici i na konci definované životnosti baterie, musel by podobně jako pro nájezd MMC2 okamžitě spustit spalovací motor s cílem navýšit množství energie v baterii před vjezdem na dálnici. Ve výpočetním programu je tedy opět nastaven požadavek na zvýšení stavu nabití baterie v části odjezdu jako v případě MMC2. Jak je vidět z uvedeného grafu, před vjezdem na dálnici je pomocí spalovacího motoru zvýšen stav nabití baterie a posléze dochází k jeho poklesu z důvodu výkonnostních špiček na dálnici, které nastavený výkon spalovacího motoru nedokáže samostatně vyrovnat. Opět je pro tento limitní případ uvažován výkon baterie pro vyhřívání kabiny řidiče po zapnutí spalovacího motoru. Podobně jako pro nájezd MMC2 by měl pracovník České pošty elektrické topení při odjezdu okamžitě vypnout. Další možností vytvoření větší energetické rezervy pro část odjezdu i pro samotné doručování je zapnutí spalovacího motoru již při příjezdu.

Následuje rozbor nejkratšího druhu cyklu, tedy Městského cyklu. Pro analýzu byl vybrán energeticky nejnáročnější denní nájezd MC2, který se od ostatních rozvážek liší zpátečním odjezdem po dálnici a zároveň se jedná o nájezd s nejvíce dynamickým stylem jízdy. Též je analyzován denní nájezd s obvyklým návratem do depa Rudná mimo dálnici v podobě MC1. Uvedené grafy zachycují výjezd z depa s baterií na hraně definované životnosti.



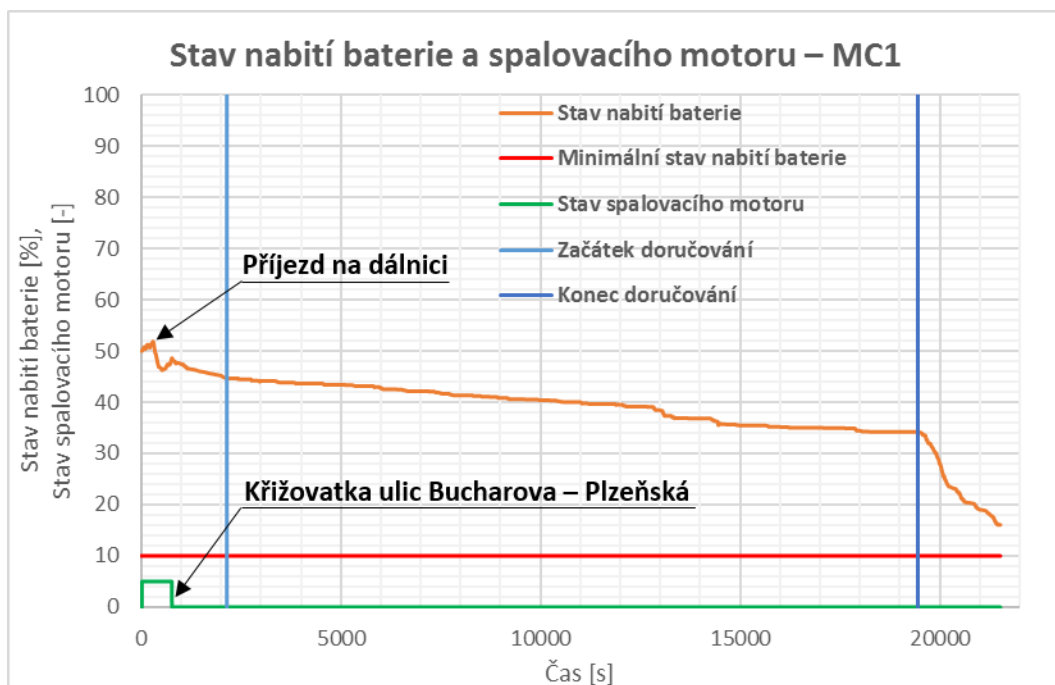
Obrázek 55 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MC2

Z uvedeného grafu je vidět, že i v případě velmi dynamické jízdy nájezdu MMC2 lze dodávku provozovat čistě elektricky po celou dobu definované životnosti. Dále je vidět, že uložená energie v baterii se spotřebovala převážně na část příjezdu a odjezdu. Stylem jízdy mezi depem Rudná a doručovací oblastí tedy lze výrazně ovlivnit množství zbývající energie v baterii při zpátečním návratu do depa. Následující graf zachycuje nájezd MC1, při kterém se dodávka vrátila mimo dálnici.



Obrázek 56 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MC1

Při obvyklém návratu do depa mimo dálnici zbývá v trakční baterii naopak okolo 30 % původní nominální kapacity baterie i bez spuštění spalovacího motoru. V případě použití této energeticky mírnější zpáteční cesty by dodávka mohla vyjet z depa s menším počátečním stavem nabití baterie.



Obrázek 57 Opakovaný výjezd z depa – nájezd MC1

Pokud by se v daný den měla uskutečnit další rozvážka Městského cyklu, pomocí spalovacího motoru by mohla být snížena spotřebovaná energie baterie pro přesun dodávky po dálnici a následné rychlostní silnici až do okamžiku příjezdu do centra Prahy. Příjezd do centra Prahy byl definován pomocí okamžiku přejezdu křižovatky ulic Bucharova – Plzeňská. Posléze by byla provozována dodávka v městské zástavbě Prahy a obce Rudná pouze pomocí elektrického pohonu. V tomto případě by postačovalo nabít baterii před opakovaným výjezdem na stav nabití kolem 50 % pomocí dostatečně výkonného zdroje elektrické energie. Před vjezdem na dálnici by pomocí spalovacího motoru došlo k dalšímu zvýšení stavu nabití baterie a následně by spalovací motor svým výkonem podporoval vozidlo při jízdě po dálnici. Pracovník České pošty by tedy zapnul funkci navýšení stavu nabití baterie a při příjezdu do centra by tento režim přepnul na mód čistě elektrický.

8.3 Doporučený výkon trakčního elektromotoru

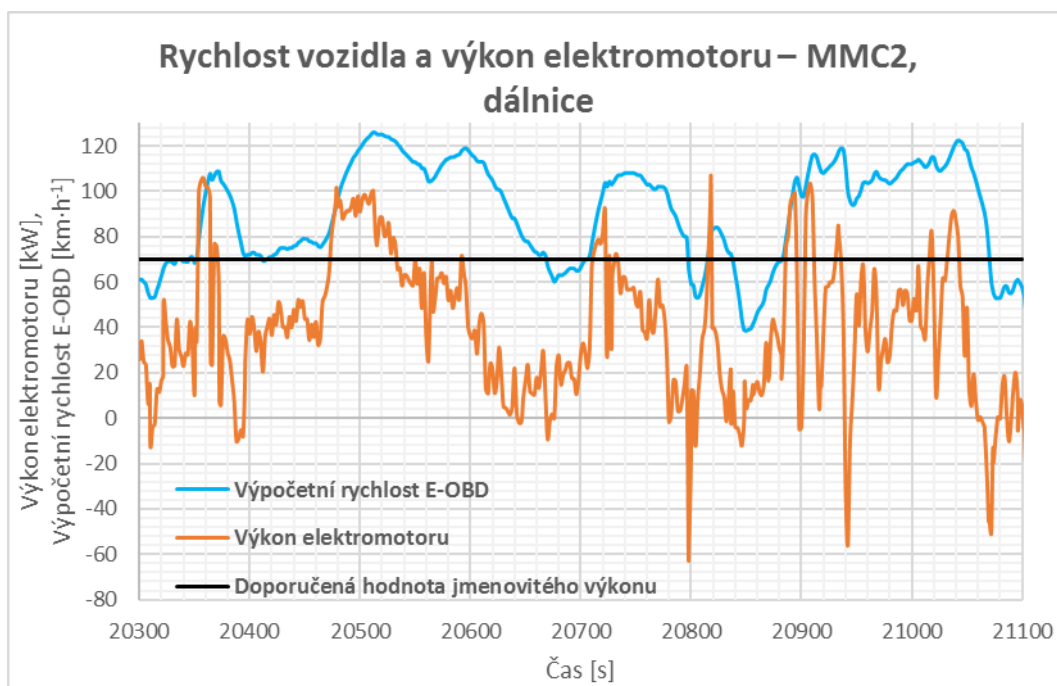
U automobilů se spalovací motory lze často pozorovat tendenci navyšování výkonu motoru. Nevýhodou tohoto řešení je neefektivní využití pohonu například v městském provozu. Při dimenzování trakčního elektromotoru se tedy může preferovat požadavek řidiče na dynamičtější styl jízdy či lze zvolit konzervativnější dimenzování elektromotoru s ohledem na energeticky příznivý provoz a šetrnější zatěžování trakční baterie. Tato kapitola má zástupcům České pošty doporučit na základě vypočteného průběhu výkonu elektromotoru a způsobu rozvážky balíků jmenovitý výkon tohoto elektrického stroje, který by umožňoval bezpečný a zároveň energeticky příznivý provoz.

Poddimenzovaný trakční elektromotor nemusí poskytovat pro daný účel dostatek výkonu či momentu, zároveň jeho přetížitelnost může být nedostačující. Pro konkrétní použití není posléze zcela použitelný či z důvodu vzniklých tepelných ztrát může docházet k jeho nadměrnému zahřívání. Přílišné oteplení následně snižuje jeho životnost nebo dokonce může způsobit samotnou poruchu stroje. Naopak předimenzovaný elektromotor pracuje nedostatečně zatížený a jeho účinnost v běžném provozu nedosahuje optimálních hodnot. Zároveň se zvětšuje jeho hmotnost, rozměr i cena. [86]

Na rozdíl od spalovacího motoru lze elektromotor krátkodobě momentově přetížit. Z tohoto důvodu se elektromotor vyznačuje jmenovitým a maximálním výkonem. Jmenovitý výkon je definován jako nejvyšší hodnota výkonu, kterou může elektromotor poskytovat neomezeně dlouhou dobu bez negativních důsledků na jeho bezpečnost nebo životnost. Jmenovitý výkon lze tedy po omezenou dobu přesáhnout až na maximální možnou dosažitelnou hodnotu, která je dána samotnou konstrukcí motoru. Filozofie řízení je taková, že aktuální mezní hodnotu momentu a tedy výkonu průběžně omezuje řídicí jednotka vozidla podle okamžité teploty elektromotoru a dalších komponent elektrické výzbroje v podobě měniče či trakční baterie. Lze dosáhnout až dvojnásobné [86] momentové přetížitelnosti po omezenou dobu. [86]

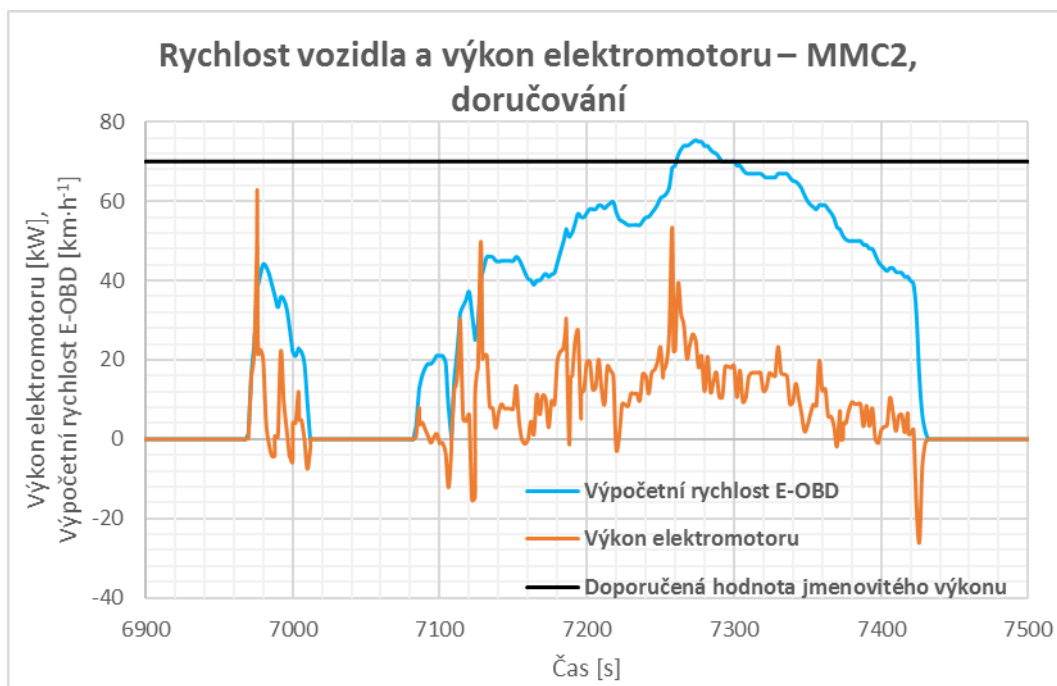
Během denního nájezdu je dodávka České pošty vystavena různorodým podmínkám provozu. Jízdní cykly se skládají z dálničních úseků, fází popojíždění v obcích či přejezdů mezi obcemi mimo dálnici. Trakční elektromotor by tedy měl mít dostatečující jmenovitý výkon pro zvládnutí dálničního provozu. Zároveň by ovšem neměl být předimenzován s ohledem na zachování přijatelné hodnoty účinnosti elektromotoru během doručování, kdy je dosahováno daleko menších hodnot výkonu.

Vypočtené časové průběhy výkonu elektromotoru pro analyzované denní nájezdy lze nalézt v příslušných výpočetních programech. Extrémních hodnot výkonu je dosahováno pouze při průjezdu po dálnici a to v krátkých časových okamžicích. Z vypočtených průběhů výkonu elektromotoru je jako dostačující velikost jmenovitého výkonu určena hodnota 70 kW . Tato velikost umožňuje i v případě extrémního nákladu o hmotnosti 1000 kg jízdu rychlostí téměř $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ při stoupání 4% , kterého bylo při průjezdu dálnicí maximálně dosahováno. Tohoto extrémního nákladu je dle zástupců České pošty dosahováno pouze ve výjimečných situacích. Uvedená dosažitelná rychlost byla vypočtena na základě již popsané energetické bilance hnacího traktu Range Extenderu (výpočetní program „Vykon_Range_Extender“). Následující graf zobrazuje průběh výkonu elektromotoru a rychlosti vozidla pro nájezd MMC2 při jízdě po dálnici. Doporučená hodnota jmenovitého výkonu elektromotoru je označena černou úsečkou.



Obrázek 58 Rychlost vozidla a výkon elektromotoru – MMC2, dálnice

V grafu je vidět, že většinu jízdy po dálnici je dosahováno nižšího výkonu než jmenovitého, zároveň je elektromotor v několika časových okamžicích trvajících řádově jednotky sekund přetěžován. Nejdéle trvajícím přetížením je okolo 20 500 s, které trvá přibližně minutu. I toto zatížení je u synchronních elektromotorů reálně zvládnutelné [86]. Pro ukázkou je na dalším grafu zobrazen vypočtený průběh výkonu elektromotoru společně s rychlostí vozidla pro zmiňovaný nájezd MMC2 během doručování. Hodnota jmenovitého výkonu je opět zobrazena černou úsečkou.



Obrázek 59 Rychlost vozidla a výkon elektromotoru – MMC2, doručování

Z grafu je vidět, že hodnoty výkonu elektromotoru během doručování dosahují menších hodnot než při jízdě na dálnici. Další zvyšování výkonu elektromotoru by přispívalo k jeho nedostatečnému zatížení v této části denního nájezdu, které by mělo za následek zmiňovaný pokles účinnosti tohoto elektrického stroje. Z tohoto důvodu tedy není vhodné pořídit Range Extender s elektromotorem o vysokých hodnotách jmenovitého výkonu. Dynamičtější styl jízdy řidičů by byl v reálném provozu omezován řídicí jednotkou vozidla.

8.4 Vhodnost dostupných elektromobilů s prodlužovačem dojezdu

Uvedeným postupem bylo vypočteno, že by pro provoz dodávek během definované životnosti postačovala baterie o jmenovité kapacitě 42,24 kWh. Zároveň by tato nominální kapacita poskytovala dostatečnou rezervu pro zvýšený nájezd v části doručování i na konci definované životnosti baterie, pokud by byl spalovací motor zapínán již při vysoké hladině nabití baterie při příjezdu do doručovací oblasti. Baterii o této nominální kapacitě nabízí například firma BMW, která tuto baterii instalovala do nejnovější verze osobního vozidla BMW i3. Též tuto trakční baterii využívá německá pošta ve svých vozidlech StreetScooter. Dodávka s touto baterií by mohla být i po poklesu nominální kapacity o 20 % dále provozována na všech změřených trasách v případě

použití spalovacího motoru s cílem nabít baterii, pokud by v části doručování byl dosažen nízký stav nabití baterie. V případě dodávkového elektromobilu by po určitém poklesu nominální kapacity baterie nebyla možná rozvážka na všech změřených trasách. Zbývající energie v baterii dodávkového elektromobilu by vozidlu neumožňovala realizaci celé trasy. Pro prodloužení dojezdu lze použít spalovací motor, který pracuje v bodě optimální spotřeby s výkonem kolem $27,6 \text{ kW}$. Tuto podmínku splňuje ve výpočtu použitý atmosférický motor 1.0 MPI Evo o maximálním výkonu 59 kW . Na základě vypočteného průběhu výkonu elektromotoru jednotlivých denních nájzdů a s ohledem na energeticky příznivý provoz byla též doporučena hodnota jmenovitého výkonu trakčního elektromotoru. Pro podmínky provozu dodávek České pošty by postačoval nominální výkon o velikosti 70 kW .

V samotném výpočtu byly použity zjednodušené podmínky v podobě konstantních hodnot účinností jednotlivých agregátů, řízení chodu spalovacího motoru pomocí spodní a horní hranice intervalu a práce spalovacího motoru pouze v bodě optimální měrné spotřeby. Dále byla pohotovostní hmotnost Range Extenderu určena pomocí pohotovostní hmotnosti Peugeot Boxer. Pro konkrétní vozidlo by výpočet musel být upřesněn s respektováním daných technických parametrů vozidla, účinnosti jednotlivých komponent hnacího ústrojí a způsobu řízení chodu spalovacího motoru.

V současnosti je na českém trhu nabízena pouze dodávka Ford Transit Custom Plug-In Hybrid. Jak již bylo zmíněno, kola dodávky pohání trakční elektromotor o výkonu $92,9 \text{ kW}$ [43]. Výrobce není konkretizováno, zda se jedná o jmenovitý či maximální výkon elektromotoru. Pokud by byla uvedená hodnota rovna jmenovitému výkonu, elektromotor by byl charakterizován větší velikostí jmenovitého výkonu než doporučených 70 kW . Tento fakt by měl za následek zmiňovaný pokles účinnosti tohoto elektrického stroje v části doručování. V případě maximální hodnoty výkonu by byla řidiči omezena pouze dynamičtější jízda. Pro prodloužení dojezdu je použit spalovací motor o výkonu 74 kW [43], tedy motor o vyšším výkonu než 1.0 MPI Evo. V dodávce je zabudovaný již zmiňovaný přepínatelný systém jízdních režimů, který je pro podmínky depa Rudná z hlediska uchování energie baterie pro část doručování výhodný. Ovšem dodávka má poměrně malou trakční baterii o jmenovité kapacitě $13,6 \text{ kWh}$ [43]. Tato dodávka by tedy byla vhodná pro Městský cyklus, pro který hodnota potřebné energie baterie pro část doručování i s uvažováním vyhřívání kabiny řidiče vychází pod 5 kWh v případě výpočetního modelu Range Extenderu. Pro Mimoměstský

a Příměstský cyklus by spalovací motor musel být častěji zapínán v části doručování. Dále toto vozidlo nabízí přepravní objem pouze o velikosti $5,95 \text{ m}^3$ [43]. Tedy by bylo na vedení České pošty, zda by tento nákladový prostor postačoval pro jejich rozvážku.

Využitelnou kapacitu $23,25 \text{ kWh}$ [25] [26] bude nabízet dodávka VN5, která se chystá na britský trh v tomto roce. Z pohledu větší využitelné kapacity je tato dodávka vhodnější než vozidlo firmy Ford. Lze též očekávat, že tato dodávka bude mít stejný přepínatelný režim jízdních režimů jako londýnské taxi, na kterém je tato dodávka založena. Výrobce uvádí maximální výkon elektromotoru 110 kW [24] a spalovacího motoru 60 kW [24]. Tedy pohonné agregáty nabízejí dostatek výkonu pro uskutečnění jízdních cyklů České pošty. Pro posouzení elektromotoru by dále bylo třeba znát i jmenovitý výkon, který není výrobcem uveden. Náklad lze ovšem naložit pouze do přepravního objemu o velikosti 5 m^3 [28] [41]. Nákladový prostor je tedy přibližně o 1 m^3 menší než u dodávky firmy Ford.

Poslední dodávkami s prodlužovačem dojezdu, které jsou uvedeny v kapitole 3 a v současné době dochází k jejich prodeji, či lze v blízké době očekávat začátek jejich prodeje, jsou dodávky firmy Renault v podobě Kangoo Z.E. Hydrogen a Master Z.E. Hydrogen. Na rozdíl od ostatních vozidel využívají tato vozidla k prodloužení dojezdu palivové články. Vzhledem k chybějící infrastruktuře čerpacích stanic na vodík v České republice by jejich provoz byl neefektivní.

V kapitole 3 lze nalézt podrobnější informace o těchto vozidlech. V této kapitole jsou také uvedeny i elektromobily s prodlužovačem dojezdu, které byly v minulosti představeny veřejnosti, ale jejich samotný prodej nebyl zahájen.

V současnosti tedy není na českém trhu dodávka, která by nabízela dostatečnou kapacitu baterie. Lze ovšem očekávat, že vzhledem k zpříšňujícím se emisním předpisům bude počet dodávek toho typu růst. Navržené parametry mohou posléze zástupcům České pošty sloužit jako doporučené hodnoty při nákupu tohoto druhu vozidla.

9 Nabíjecí infrastruktura

Pro nabíjení trakční baterie je nutný stejnosměrný proud, který je získán transformací střídavého proudu z elektrické sítě. Usměrnění lze provést v palubní nabíječce, která je integrována přímo ve vozidle, nebo je tento převod proveden přímo ve speciálním nabíjecím zařízení. Tedy přenos elektrické energie lze mezi zdrojem a vozidlem realizovat v podobě střídavého či stejnosměrného proudu. Nabíjení střídavým proudem je označováno jako AC nabíjení. Zkratka AC je odvozena z anglického výrazu *alternating current*. Naopak pro přenos elektrické energie mezi zdrojem a vozidlem v podobě stejnosměrného proudu je použit termín DC nabíjení. Tato zkratka vznikla z anglického označení pro stejnosměrný proud *direct current*. Výkon nabíjení obecně závisí na nejslabším článku v nabíjecím řetězci. [96]

V případě AC nabíjení je maximální dosažitelný výkon určen parametry zdroje elektrického proudu v podobě běžné zásuvky či speciálního nabíjecího zařízení. Dalším důležitým článkem v řetězci je integrovaná palubní nabíječka vozidla, která usměrňuje střídavý proud pro nabití baterie. Dále palubní nabíječku se zdrojem elektrické energie spojuje nabíjecí kabel, který rovněž musí mít odpovídající parametry pro spojení zdroje elektrické energie s palubní nabíječkou vozidla. Maximální výkonová zatížitelnost zásuvky či nabíjecího zařízení je dána fázovým napětím, počtem fází a maximálním proudem protékajícím jednou fází. Pokud by ovšem palubní nabíječka vozidla nebyla schopna přijmout více fází, kterým by disponoval zdroj elektrické energie, dotyčné fáze by zůstaly nevyužity a maximální nabíjecí výkon by tedy byl omezen. Podobná situace by nastala i v případě, pokud by měla palubní nabíječka menší maximální dovolený nabíjecí proud jedné fáze než zdroj elektrické energie. [97]

V případě DC nabíjení je tedy střídavý proud usměrněn přímo ve speciálním nabíjecím zařízení a palubní nabíječka zůstává nevyužita. Z tohoto důvodu se může během DC nabíjení dosahovat vyšších výkonů než při AC nabíjení. Při vyšších výkonech je ovšem baterie přetěžována, což má za následek její sníženou životnost. [97]

Kromě elektrické energie pro nabíjení trakční baterie mohou přenášet nabíjecí kabely též informace, pomocí kterých řídicí jednotka kontroluje aktuální stav nabití, napětí jednotlivých článků a teplotu baterie. Na základě těchto informací se posléze upravuje průběh nabíjení pro dosažení dostatečně rychlého stavu nabití s ohledem na uchování

životnosti baterie. Při řešení této problematiky se lze setkat se čtyřmi nabíjecími režimy, které nesou označení mód. [96] [98]

První mód představuje nejjednodušší způsob nabíjení trakční baterie, při kterém je vůz připojen jednoduchým kabelem do standardní normované zásuvky, která ovšem není schopna komunikace s vozidlem. V případě poruchy a vypadnutí jističe by vozidlo mohlo zůstat nenabitě či by mohla být poškozena samotná baterie. [96] [98]

Při druhém módu probíhá nabíjení opět pomocí standardní zásuvky, ovšem při nabíjení je použit speciální nabíjecí kabel, který je vybaven řídicí elektronikou, spínacími a jisticími součástmi. Na rozdíl od předešlého módu již probíhá komunikace mezi bezpečnostními prvky kabelu a systémem vozidla. Standardní zásuvky ovšem nejsou konstruovány pro pravidelné dlouhodobé zatížení, které nastává při nabíjení trakční baterie. [96] [98] [99]

Třetí mód zahrnuje nabíjení pomocí speciálních nabíjecích zařízení střídavým proudem, které jsou v této diplomové práci rozlišeny na AC wallboxy a AC nabíjecí stanice. AC nabíjecí stanice jsou často instalovány pro veřejné nabíjení, z tohoto důvodu musí být dostatečně odolné proti poškození. AC wallboxy jsou obecně rozměrově menší oproti AC nabíjecím stanicím, nemusí být konstruovány na velkou odolnost proti vnějším vlivům a jsou též levnější. AC nabíjecí stanice a AC wallboxy přímo komunikují s řídicím systémem vozidla a v průběhu nabíjení dochází ke kontrolovatelnému řízení velikosti protékajícího elektrického proudu. Tato zařízení disponují příslušnými ochrannými komponentami, svým vlastním elektrickým okruhem a při správném návrhu výrobcem by nemělo docházet k výpadkům elektrické sítě. Pro propojení wallboxu či stanice s vozidlem je nutné použít kabel se speciálním typem konektoru. Tyto konektory jsou označovány jako standardy. V současnosti jsou nejpoužívanější standardy IEC 62196-2 tzv. Mennekes Type 2 a SAE J1772 tzv. Yazaki, který lze v nabídce některých výrobců dohledat pod označením konektor typu 1. V roce 2014 [99] byla vydána směrnice, která nařizuje používat standard Mennekes Type 2 pro nové wallboxy a nabíjecí stanice. Dále se mohou tyto nabíjecí zařízení vyrábět s integrovaným kabelem či uživatel musí použít pro připojení svého vozidla vlastní kabel. [96] [98] [99]

Posledním čtvrtým módem se rozumí zmiňované DC nabíjení, při kterém opět dochází ke komunikaci mezi řídicí jednotkou vozidla a zdrojem elektrické energie. Ochranné a kontrolní komponenty jsou též integrovány přímo do speciálního nabíjecího zařízení

v podobě wallboxu či nabíjecí stanice. Nabíjecí kabel s příslušným typem konektoru je prodejci integrován do nabíjecího zařízení. Nejčastěji se lze setkat s typem konektoru IEC 62196-3 tzv. Combo II či CCS a JEVS G105 tzv. ChaDeMo. Zmiňovaná směrnice nařídila pro DC nabíjecí zařízení používat konektory typu Combo II. V současnosti se lze setkat s DC stanicemi a wallboxy, které jsou vybaveny oběma konektory. [96] [98] [99]

Při řešení problematiky nabíjení trakčních baterií je dále třeba zohlednit již zmiňovanou časovou závislost nabíjecího výkonu. Tento fakt je nejvíce patrný při DC nabíjení o vysokém výkonu, při kterém může být nabíjecí čas mezi 80 % až 100 % až dvojnásobný v porovnání s nabíjením do 80 % [57] stavu nabití baterie. Z tohoto důvodu je vhodné používat DC stanice do zmiňovaného stavu nabití 80 %, který umožňuje vozidlu pokračovat v jízdě.

9.1 Návrh nabíjecí infrastruktury depa Rudná

V době psaní diplomové práce bylo v rámci depa Rudná provozováno 78 [74] dodávek. Samotná rozvážka začíná kolem sedmé hodiny ranní, kdy pracovník České pošty přebírá své vozidlo a následně s dodávkou najíždí na místo určené pro nakládání balíků. Po nakládce se dodávka vydává na samotné doručování balíků, které je standardně ukončeno mezi druhou až čtvrtou hodinou odpolední. Poté je již dodávka odstavena a znovu použita další den ráno pro další rozvážku. Tedy každému řidiči připadá konkrétní vozidlo, s kterým vyjíždí na rozvážku každý den. Ovšem v ojedinělých ročních obdobích, mezi které patří předvánoční období, se řidiči mohou vracet do depa k osmé hodině večerní. Mimo tyto popsané ranní směny jsou v depu realizovány i odpolední směny. V tomto případě je dodávka ranní směny zapůjčena odpolední směně. Pauza mezi převzetím zásilek není žádná, jakmile se doručovatel vrátí z ranní pochůzky, vozidlo přebere odpolední doručovatel, naloží zásilky a odjíždí na pochůzku. Dodávka se poté vrací do depa opět kolem osmé hodiny večerní. Počet odpoledních doručovatelů není v průběhu roku stálý a tvoří menšinu z celkového množství kurýrů. V době psaní diplomové práce vyjíždělo 10 [74] dodávek opět na odpolední směnu.

Zástupci České pošty nebylo zadáno, kolik dodávek by bylo případně pořízeno. Předpokladem je, že by případná elektrifikace části vozového parku depa Rudná probíhala po etapách. Z důvodu převládajícího způsobu doručování, při kterém dodávky vyjíždějí pouze jednou denně z depa, lze očekávat, že by byly naftové dodávky Peugeot Boxer vyměněny za vozidla typu Range Extender právě v těchto ranních směnách.

Nabíjecí infrastruktura by dále měla zaručit dostatečný stav nabití vozidel i v případě pozdějších příjezdů do depa kolem osmé hodiny večerní. Pro návrh je tedy předpokládáno, že zdroj elektrické energie by měl baterii dostatečně nabít během nočních hodin mezi osmou hodinou večerní až sedmou hodinou ranní, tedy za 11 hodin.

Jako vhodný zdroj elektrické energie pro podmínky depa Rudná jsou AC wallboxy, pomocí kterých probíhá nabíjecí proces kontrolovaně s ohledem na životnost trakční baterie a dokončení nabíjecího procesu je zaručeno systémem a vnitřní konstrukcí AC wallboxu. Při výpočtu potřebného výkonu je dále zaveden předpoklad, že dostačující stav nabití baterie je 95 % jmenovité kapacity. Do tohoto stavu nabití lze s menší odchylkou uvažovat, že výkon nabíjecí stanice typu AC wallbox zůstává v čase neměnný [54]. Dále je výpočtu uvažován kritický případ, tedy příjezd vozidla s technicky nejméně přípustným stavem nabití baterie 10 %. Z tohoto vyplývá, že AC wallbox musí být schopen dodat energii o velikosti 85 % jmenovité kapacity baterie (42,24 kWh), tedy číselně je tato energie rovna $E_{10,95} = 35,9 \text{ kWh}$. Při návrhu se dále musí zohlednit účinnost nabíjení baterie η_{b_nab} a účinnost palubní nabíječky η_{m_pal} .

$$P_{ac_min} = \frac{E_{10,95}}{t_{hod} \cdot \eta_{m_pal} \cdot \eta_{b_nab}} = \frac{35,9}{11 \cdot 0,98 \cdot 0,95} = 3,51 \text{ kW} \quad (67)$$

Minimální výkon P_{ac_min} je tedy roven 3,51 kW. V současnosti je na trhu široká nabídka AC wallboxů s různými výkony od 3,7 kW do 22 kW [100]. Výpočtem byla tedy zjištěna hodnota výkonu nabíječky pro kritický případ, při kterém se vozidlo vrátilo do depa k osmé hodině večerní s nejméně přípustným stavem nabití baterie. Při obvyklé rozvážce jsou časy nabíjení minimálně 15 hodin, tedy takto vypočtený potřebný nabíjecí výkon nabývá při zadání běžného času nabíjení menších hodnot. Z tohoto důvodu by pro depo Rudná postačoval jednofázový AC wallbox s elektrickým proudem protékající touto fází o velikosti 16 A [100], který je schopen dodávat výkon o velikosti 3,7 kW [100]. V případě kritických situací by další pojistkou byl samotný spalovací motor, který by byl při odjezdu z depa uveden do činnosti pro udržování či případné zvýšení hladiny nabití baterie.

Pro účinné nabíjení musí být schopna palubní nabíječka Range Extenderu o napětí 230 V přijmout na jednu fázi proud o velikosti 16 A. Realizaci tohoto přenosu elektrické energie by měla být schopna veškerá nabíjitelná elektrická vozidla.

Dalším předpokladem je, že navrhované vozidlo je vybaveno standardem Mennekes Type 2 pro AC nabíjení a konektorem Combo II pro DC nabíjení.

AC wallbox by měl být zároveň připojitelný k zásuvce vozidla. V současné době se tedy vyrábí AC wallboxy se standardem Mennekes Type 2 v podobě zásuvky či integrovaného kabelu. Jelikož se vozový park České pošty skládá z vozidel mnoha druhů, mohlo by se tedy stát, že by byl provozován v rámci depa Rudná jiný elektromobil či hybridní automobil. Z tohoto důvodu je vhodné pořídit AC wallbox se standardem Mennekes Type 2 v podobě zásuvky. Tato varianta umožňuje připojení automobilu s AC wallboxem pomocí elektrického kabelu, který má jeden konektor v podobě standardu Mennekes Type 2 na straně AC wallboxu a druhý konektor dle zásuvky vozidla. Tedy tento způsob umožňuje se připojit k AC wallboxu s jakýmkoliv druhem nabíjitelného vozidla. V případě, že by byl použit AC wallbox s integrovaným kabelem, vozidla se standardem Yazaki by nebyla schopná se přes tento kabel připojit.

Dále je třeba zohlednit minimální příkon nabíjecí infrastruktury. Pro další postup je předpokládáno, že během jedné etapy je elektrifikováno 10 dodávek, tedy $n_{etapa} = 10$. Jelikož všechna vozidla mohou být připojena současně, lze pro minimální příkon jedné etapy napsat.

$$P_{0_etapa} = n_{etapa} \cdot P_0 \quad (68)$$

Kde P_0 je minimální příkon AC wallboxu, tedy $3,7 \text{ kW}$. Číselně je tedy minimální příkon jedné etapy roven $P_{0_etapa} = 37 \text{ kW}$. Při další elektrifikaci by byl minimální příkon nabíjecí infrastruktury roven součinu počtu etap a příkonu jedné etapy. Posléze by záleželo na vedení České pošty, jak budou jednotlivé etapy následovat a jaký maximální počet vozidel typu Range Extender by bylo na depu provozováno. V jisté fázi elektrifikace by ovšem mohla nastat situace, při které by celkový příkon nabíjecí infrastruktury přesáhl dostupný příkon depa. V tomto případě by musela být elektrická síť depa posílena.

Pokud by Česká pošta plánovala provozovat v budoucnu svá vozidla čistě elektricky v zastavěných oblastech i v odpoledních směnách, bylo by nutné instalovat výkonnější zdroj elektrické energie. V době psaní této práce vyjížděli na odpolední směny kurýři, kteří zajížděli doručovat balíky do centra Prahy. Tedy se jedná o rozvážku Městského cyklu. Odpolední doručovatel může převzít dodávku, která byla v ranní směně použita

pro rozvážku Městského, Příměstského i Mimoměstského cyklu. Výpočtem bylo zjištěno, že při spuštění spalovacího motoru s cílem nabít baterii před vjezdem do centra Prahy a při mírnějším návratu do depa by pro uskutečnění další rozvážky Městským cyklu postačoval počáteční stav nabití baterie okolo 50 %. V tomto případě by bylo vhodné použít DC nabíjení o dostatečném výkonu. Ve výpočtu je opět uvažován kritický případ v podobě převzetí dodávky s baterií o minimálním technicky přípustném stavu 10 %. Pro uskutečnění další rozvážky je tedy nutné uložit do baterie energii o velikosti 40 % jmenovité kapacity baterie (42,24 kWh), číselně je tato energie rovna $E_{10,50} = 16,9 \text{ kWh}$. Při požadavku, aby baterie byla v průběhu nakládky běžně trvající okolo 45 minut (0,75 h) dostatečně nabita, platí pro výkon nabíjení.

$$P_{dc_min} = \frac{E_{10,50}}{t_{naklad} \cdot \eta_{b_nab}} = \frac{16,9}{0,75 \cdot 0,95} = 23,72 \text{ kW} \quad (69)$$

Tedy při uvažování účinnosti nabíjení baterie η_{b_nab} a předpokladu udržování maximálního výkonu nabíjení do 50 % stavu nabití baterie je potřebný výkon roven 23,72 kW. Při takto definovaných podmínkách by v depu postačovalo instalovat DC wallbox o výkonu 24 kW. Baterie by tedy byla pomocí tohoto DC wallboxu nabita na dostačující úroveň nejpozději za přibližně 45 minut. Vhodnou organizací vozidel depa by ovšem mohl být čas nabíjení zkrácen a v případě kratší doby nakládky by doručovatel mohl vyjet z depa dříve. Například pokud by dodávky z ranní směny, které by se vracely do depa s dostatečně nabitou baterií, byly opětovně použity pro odpolední směnu. Pro odpolední směnu by tedy bylo vhodné například využít dodávku, která byla v ranní směně použita pro rozvážku Městského cyklu. V případě, že by byla dodávka v ranní směně Městského cyklu provozována po celou dobu v čistě elektrickém režimu, na konci definované životnosti baterie by se vrátila v případě mírnějšího návratu do depa s 28 % stavem nabití baterie. V tomto případě by bylo potřeba nabít baterii o 22 % jmenovité kapacity baterie (42,24 kWh), tedy o $E_{28,50} = 9,3 \text{ kWh}$. Doba nabíjení na úroveň 50 % by poté byla rovna.

$$t_{hod_28,50} = \frac{E_{28,50}}{P_{dc_w} \cdot \eta_{b_nab}} = \frac{9,3}{24 \cdot 0,95} = 0,41 \text{ h} \quad (70)$$

Po vyčíslení uvedeného vztahu je čas nabíjení roven 0,41 h, což přibližně odpovídá 25 minutám. Tento vypočtený čas platí pro výjezd dodávky s baterií na konci definované životnosti, před poklesem nominální kapacity o 20 % by doba nabíjení nabývala menších

hodnot. V případě, že by nebylo možné v místě nakládky nabíjet trakční baterii, muselo by se pro DC wallboxy vyčlenit speciální místo. Před dalším výjezdem dodávky na odpolední směnu by se tedy nejprve musela nabít baterie na dostačující úroveň a posléze by mohla proběhnout samotná nakládka balíků. Celkový čas mezi převzetím a opětovným odjezdem dodávky na odpolední směnu by tedy byl roven součtu potřebného času pro nabití baterie a doby samotné nakládky. Při opětovném použití dodávek, které byly využity v ranní směně pro rozvážku Městského cyklu, by bylo třeba na konci definované životnosti baterie k době nakládky respektovat vypočtený čas nabíjení 25 minut při použití navrženého DC wallboxu. Pokud by ovšem musely být pro odpolední směnu pravidelně používány dodávky ranní směny, které by přijížděly do depa se stavem nabití baterie blízko minimálnímu technicky přípustnému stavu, čas nabíjení by při vypočteném výkonu DC wallboxu po celou dobu provozu dodávky odpovídal přibližně 45 minutám. V tomto případě by mohl být instalován DC wallbox o daném výkonu, ovšem tento čas nabíjení by musel být v časové organizaci depa respektován. Pokud by ovšem celková doba pro nakládku a nabíjení baterie způsobovala v časové organizaci depa potíže, muselo by být instalováno výkonnější nabíjecí zařízení. V současnosti jsou běžné DC stanice o výkonu 50 kW.

$$t_{hod_{10,50}} = \frac{E_{10,50}}{P_{dc_stan} \cdot \eta_{b_nab}} = \frac{16,9}{50 \cdot 0,95} = 0,36 \text{ h} \quad (71)$$

Při použití DC stanice o výkonu 50 kW by trakční baterie byla nabita z 10 % na 50 % hladiny nabití za 0,36 h, což odpovídá zhruba 22 minutám. V případě, že by Česká pošta v budoucnu plánovala odpolední směny i na trasách typu Mimoměstský a Příměstský cyklus, bylo by vhodné instalovat DC stanici s tímto výkonem. Pomocí DC stanice o výkonu 50 kW by byla nabita baterie na úroveň 80 % a při výjezdu z depa by byl zapnut spalovací motor pro udržování či další zvýšení stavu nabití baterie. Pro nabití baterie na 80 %, tedy při navýšení stavu nabití baterie o 70 % jmenovité kapacity baterie (42,24 kWh) je nutné do baterie dodat energii o velikosti $E_{10,80} = 29,6 \text{ kWh}$. Při použití vztahu (71) a dosažení této hodnoty energie lze očekávat dobu nabíjení okolo 40 minut. Čas nabíjení by opět musel být v časové organizaci depa započítán.

Při pořízení DC stanice či wallboxu je opět třeba dodržovat zmiňovanou kompatibilitu se zásuvkou vozidla. Bylo by vhodné pořídit nabíjecí zařízení s možností použití standardu Combo II i ChaDeMo z důvodu možného provozu jiného elektromobilu či hybridního vozidla s typem konektoru ChaDeMo. Při instalaci je opět nutné

respektovat počet a minimální příkon DC nabíjecího zařízení. Výsledná hodnota příkonu systému DC nabíjecích zařízení může být několikanásobně vyšší než minimální příkon AC wallboxů. Dalším důležitým hlediskem by byla i samotná pořizovací cena. U AC wallboxu o navrženém výkonu je například běžná prodejní cena okolo 20 000 až 35 000 Kč [101], pro DC wallbox je pořizovací cena kolem 350 000 Kč [102] a u DC nabíjecí stanice naopak 580 000 Kč [103]. Uvedené ceny jsou bez DPH.

10 Závěr

V rámci provozu depa Rudná byly změřeny typické rozvážkové trasy České pošty. Dle místa doručování byly tyto trasy označeny jako Mimoměstský, Městský a Příměstský cyklus. Měřením a následným vyhodnocením bylo zjištěno, že zmiňované druhy tras se liší denním nájezdem a celkovou energetickou náročností na kolech naftové dodávky Peugeot Boxer. Pro výpočet energetické náročnosti byla použita data rychlosti, která byla získána s využitím diagnostického rozhraní vozidla. Naměřené údaje o rychlosti jízdy byly z důvodu použité vysoké frekvence měření pro samotný výpočet filtrovány a upraveny. Takto vypočtená energetická náročnost byla pro konkrétní denní nájezd též porovnána s hodnotou vypočtenou podle dat rychlosti GPS s různým časovým krokem výpočtu. Dále byl analyzován vliv neznámých vstupních parametrů v podobě součinitele valivého odporu, odporu vzduchu a součinitele rotačních hmot. Pro analýzu vlivu součinitele rotačních hmot byl vytvořen výpočetní program, který na základě naměřených otáček motoru a rychlosti jízdy vyhodnocuje aktuální zařazený rychlostní stupeň. Největší citlivost byla určena pro součinitel valivého odporu.

Získané poznatky z vyhodnocení energetické náročnosti naftové dodávky Peugeot Boxer byly aplikovány pro návrh vhodného automobilu umožňující rozvážku na všech změřených trasách a zároveň umožňující čistě elektrický provoz v části doručování během definované životnosti. Nejprve bylo analyzováno použití elektromobilu. Z důvodu nadměrné velikosti trakční baterie a analýzou současného trhu s dodávkovými elektromobily bylo vyhodnoceno, že by v rámci depa Rudná nebylo vhodné provozovat tento druh vozidla. Velký podíl na celkové energetické náročnosti tvoří přejezd dodávky mezi depem a doručovací oblastí. Při použití spalovacího motoru pro část příjezdu a odjezdu je tedy možné snížit velikost jmenovité kapacity baterie. Tuto koncepci umožňuje elektromobil s prodlužovačem dojezdu s přepínatelným systémem jízdních režimů. Pro nalezení optimální velikosti trakční baterie a spalovacího motoru byl vytvořen výpočetní model Range Extenderu, ve kterém je spalovací motor nastaven do bodu optimální měrné spotřeby paliva a požadovaná hladina baterie je udržována pomocí řízení chodu spalovacího motoru při definovaném rozsahu nabití baterie. Po aplikaci tohoto modelu na kritické denní nájezdy České pošty bylo jako optimální řešení nalezeno v trakční baterii osobního vozidla BMW i3, která se vyznačuje jmenovitou kapacitou 42,24 kWh. Dle výrobce lze z této baterie využít až 37,9 kWh.

Tato baterie je též zabudována v elektromobilech německé pošty StreetScooter. Pro prodloužení dojezdu postačuje použít spalovací motor, jehož výkon v bodě optimální spotřeby paliva je roven $27,6 \text{ kW}$. Tuto podmínku splňuje atmosférický tříválcový benzínový motor 1,0 MPI Evo o maximálním výkonu 59 kW , který je v současnosti montován do osobních vozidel VW Polo a Seat Ibiza. Tento motor bude též zabudován do nové generace Škody Fabia IV. Také byl předveden možný způsob provozu tohoto typu vozidla během definované životnosti. V případě Mimoměstského cyklu a nové baterie by bylo nutné uvést do činnosti spalovací motor pouze v části odjezdu, po poklesu nominální kapacity baterie by bylo nutné zapínat spalovací motor i při příjezdu do doručovací oblasti. Na začátku životnosti baterie by bylo možné v případě Příměstského cyklu provozovat dodávku čistě elektricky. Po úbytku nominální kapacity baterie by spalovací motor musel být použit v části odjezdu. Naopak v případě Městského cyklu by vozidlo mohlo být provozováno během celé definované životnosti čistě elektricky. Spalovací motor by ovšem pro tento druh trasy mohl sloužit jako rezervní zdroj energie v případě zvýšeného nákladu, většího denního nájezdu či opětovného využití pro odpolední směnu. Na rozdíl od elektromobilu by Range Extender mohl být provozován na všech změřených trasách i po definovaném poklesu nominální kapacity baterie. V tomto případě by ovšem musel řidič během doručování při dosažení nízkého stavu nabití baterie použít spalovací motor s cílem nabít baterii. Dále lze usoudit, že vzhledem k nepravidelným nájezdům vozidel České pošty je bezpečnější použití elektromobilu s prodlužovačem dojezdu než elektromobilu. Při značně zvýšeném nájezdu by nemusela zbývající energie uložená v baterii elektromobilu postačovat na zpáteční cestu do depa. V případě elektromobilu s prodlužovačem dojezdu by tato komplikace byla vyřešena spuštěním spalovacího motoru. Na základě vypočteného časového průběhu výkonu trakčního elektromotoru a s ohledem na energeticky příznivý provoz vozidel depa Rudná byl též doporučen jmenovitý výkon tohoto elektrického stroje. Tedy ideálně by se hodnota tohoto výkonu měla pohybovat okolo 70 kW . Následně byla provedena analýza současné nabídky dodávkových vozidel typu Range Extender. V době psaní diplomové práce se na českém trhu nabízí pouze dodávka firmy Ford, ve které je ale zabudována trakční baterie o malé velikosti jmenovité kapacity. Z důvodu zpřísnujících se emisních předpisů lze ale očekávat, že se nabídka dodávek typu Range Extender bude zvětšovat. Navržené parametry posléze budou zástupcům České pošty sloužit jako doporučené hodnoty při nákupu toho typu vozidla.

V poslední kapitole byl navržen minimální výkon AC wallboxu o velikosti 3,7 kW, který postačuje pro nabití trakční baterie pro převládající způsob provozu dodávek. Tedy tento nabíjecí výkon postačuje pro dodávky, které vyjíždějí z depa pouze jednou za den. V případě opětovného výjezdu je třeba instalovat výkonnější DC stanici či wallbox. Pro odpolední rozvážky Městského cyklu by při uvedených podmínkách postačoval DC wallbox o výkonu 24 kW, který by dokázal nabít baterii na dostačující úroveň nejpozději kolem 45 minut. V případě opětovného použití dodávek, které se v ranní směně zúčastnily rozvážky Městského cyklu, by byl čas pro nabití baterie na dostačující úroveň kratší. Pokud by Česká pošta v budoucnu plánovala odpolední směny Příměstského či Mimoměstského cyklu bylo by naopak vhodné instalovat DC stanici o výkonu 50 kW.

Další pokračování této diplomové práce by mohlo spočívat v ekonomické analýze případné elektrifikace vozového parku depa Rudná. Tedy by se dále mohlo vypočítat, zda by bylo pořízení dodávek typu Range Extender a instalování nabíjecí infrastruktury ekonomicky výhodné či nikoliv. Problémem tohoto výpočtu by ovšem byla skutečnost, že v současné době neexistuje dodávka s vypočtenými parametry. Pořizovací cena tohoto vozidla tedy není v současné době známa.

Citovaná literatura

- [1] Ceny pohonných hmot od roku 2001 | ČSÚ. *Český statistický úřad | ČSÚ* [online]. 2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/ceny-pohonných-hmot-od-roku>
- [2] MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [3] KLÍR, Vojtěch. Provoz a diagnostika vozidel: Ekonomika a ekologie provozu. In: *Studium - podklady pro studium na Fakultě strojní* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211139_PDV/PDV-04-Ekologie_web.pdf
- [4] Reducing CO2 emissions from passenger cars - before 2020 | Climate Action. *European Commission, official website* [online]. © 1995-2020 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
- [5] Reducing CO2 emissions from vans – before 2020 | Climate Action. *European Commission, official website* [online]. © 1995-2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/vans_en
- [6] Nové metodiky měření: WLTP a RDE Reforma s výhodou pro zákazníky - *Autobible.cz. Autobible.cz - Předjedeme vaše představy!* [online]. Mladá fronta, 2018 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/nove-metodiky-mereni-wltp-rde-reforma-vyhodou-zakazniky/>
- [7] KLÍR, Vojtěch. Provoz a diagnostika vozidel: Provoz motorových vozidel. In: *Studium - podklady pro studium na Fakultě strojní* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211139_PDV/PDV-01-Provoz_web.pdf
- [8] Press corner | European Commission. *European Commission, official website* [online]. © 1995-2020 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_19_2850
- [9] RDE: What is the real driving emissions test? | Car Emissions Testing Facts. *Car Emissions Testing Facts* [online]. © 2016 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/#>

- [10] Urban Access Regulation By Map. *Urban Access Regulations in Europe* [online]. © 2007-2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://urbanaccessregulations.eu/userhome/map>
- [11] BALASHOV, Alexandr. *Hybridní pohony užitkových vozidel, stavebních a zemědělských strojů*. Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [12] MORKUS, Josef. Hybridní pohony: 2.část. In: *Studium - podklady pro studium na Fakultě strojní* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150_HP/Hybridn%c3%ad%20pohony%202020/
- [13] MORKUS, Josef. Hybridní pohony: 3. část. In: *Studium - podklady pro studium na Fakultě strojní* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150_HP/Hybridn%c3%ad%20pohony%202020/
- [14] DIVIŠ, Tomáš. *Analýza důsledků elektrifikace pohonu osobních automobilů s benzínovým motorem*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [15] WAGENKNECHT, Martin. Na trh se chystá šestimetrový elektrický pickup | fDrive.cz. *FDrive.cz - Elektromobily, autonomní řízení a doprava budoucnosti* [online]. 24net, 2016 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/na-trh-se-chysta-sestimetrovy-elektricky-pick-up-391>
- [16] WEINSTEIN, David. INVESTOR PRESENTATION. In: *Get Filings* [online]. 2014 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <http://www.getfilings.com/sec-filings/141112/AMP-Holding-Inc-8-K/f8k111214ex99i-ampholding.htm>
- [17] New York FedEx Ground business adds Workhorse electric van to fleet | Medium Duty Work Truck Info. *Hard Working Trucks | Medium Duty Work Truck Info* [online]. Randall-Reilly, 2017 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.hardworkingtrucks.com/new-york-fedex-ground-business-adds-workhorse-electric-van-to-fleet/>

- [18] EVANS, Scott. Workhorse W-15 4WD Plug-In Electric Work Truck First Drive Review - Motor Trend. *MotorTrend: New Cars - Car News and Expert Reviews - MotorTrend* [online]. 2017 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/news/workhorse-w15-4wd-plug-electric-work-truck-prototype-first-drive-review/>
- [19] ESFELD, Jeff. Technology Driving Fleets into the Future. In: *GTSE* [online]. © 2016 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://gtsummitexpo.socialenterprises.net/assets/docs/past-events/GTSE-portland-2017/april-11/GTSE-portland-2017-D203-115pm-Jeff%20Esfeld-Workhorse.pdf>
- [20] ADLER, Alan. Workhorse Electric Vans and Pickups Delayed by Financial Setbacks | Trucks.com. In: *Trucking News & Opinions / Trucks.com* [online]. 2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.trucks.com/2019/03/25/workhorse-delayed-by-financial-setbacks/>
- [21] KANE, Mark. Workhorse W-15 Plug-In Electric Truck Test Drive Review. In: *InsideEVs / Electric Vehicle News, Reviews, and Reports* [online]. Motorsport Network, 2017 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://insideevs.com/reviews/332312/workhorse-w-15-plug-in-electric-truck-test-drive-review/>
- [22] KANE, Mark. London's TX5 Taxi Gets Electrified. *InsideEVs / Electric Vehicle News, Reviews, and Reports* [online]. Motorsport Network, 2015 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/327844/londons-tx5-taxi-gets-electrified/>
- [23] Emissions standards for taxis - Transport for London. *Keeping London moving - Transport for London* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://tfl.gov.uk/info-for/taxis-and-private-hire/emissions-standards-for-taxis>
- [24] TX: Price and Specification. In: *LEVC / New Taxis / Light Commercial Electric Vehicles / Approved Used Taxis* [online]. © 2018 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUK EwjsvNLa - DnAhUXi1wKHeQdDpgQFjAAegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fwww.levc.com%2Ffile%2Fbrochure%2F%3Fid%3D518&usg=AOvVaw3PFPJPernHnQN0oO4TKD_v

- [25] London-Taxi-TX-2018-UK. In: *Auto Catalog Archive / Car Brochures* [online]. © 2018 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://autocatalogarchive.com/wp-content/uploads/2018/03/London-Taxi-TX-2018-UK.pdf>
- [26] BATTERY CAPACITY IN TX - LEVC. *LEVC* [online]. 2018 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.theelectrictaxi.co.uk/2018/11/21/battery-capacity/>
- [27] TX - The Electric Taxi | New Electric Taxi | ZERO Deposit for March deliveries only £189 per week* | LEVC. *LEVC / New Taxis / Light Commercial Electric Vehicles / Approved Used Taxis* [online]. © 2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.levc.com/tx-electric-taxi/>
- [28] LEVC VN5 release. In: *LEVC* [online]. 2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://londontaxicompany.getbynder.com/web/27ed04397a0af36/levc-press-releases-/?mediaId=9FBBB3C0-BD6B-4B9A-B3ADD359147FAEB7>
- [29] ECity technology for commercial electric vehicles. *LEVC / New Taxis / Light Commercial Electric Vehicles / Approved Used Taxis* [online]. © 2020 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.levc.com/technology/ecity-technology/>
- [30] KANE, Mark. LEVC More Than Doubled Plug-In TX Taxi Sales In 2019. *InsideEVs / Electric Vehicle News, Reviews, and Reports* [online]. Motorsport Network, 2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/392344/levc-doubled-plugin-tx-sales-2019/>
- [31] London Taxi Company Rebrands Itself As London EV Company (LEVC): The Electric TX Taxi. In: *ENERGIE-, MILIEU- EN DUURZAAMHEIDSNIEUWS / Stichting Milieunet* [online]. 2017 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.stichtingmilieunet.nl/andersbekekenblog/openbaar-vervoer/london-taxi-company-rebrands-itself-as-london-ev-company-levc-the-electric-tx-london-taxi.html>
- [32] LEVC TX electric taxi. In: *InsideEVs / Electric Vehicle News, Reviews, and Reports* [online]. Motorsport Network, 2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://insideevs.com/photo/4697200/levc-tx-electric-taxi/>
- [33] SCHROTT, Jörg. Debut: Vivaro e-Concept Study Adds New Impulses. *GM Corporate Newsroom* [online]. 2010 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://media.gm.com/autoshow/IAA_Hannover/2010/public/intl/en/opel/news.detail.html/content/Pages/news/intl/en/2010/iaa_hannover/09_21_vivaro_econcept.html

- [34] OPEL VIVARO | auto inzerce zdarma, recenze, testy, historie, autobazar. *CARS.CZ - nová a ojetá auta, autobazary, autosalony, prodej vozidla* [online]. © 2002-2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.cars.cz/meta/opel-vivaro.html>
- [35] HORČÍK, Jan. Opel Vivaro e-Concept - elektrická dodávka | Hybrid.cz. In: *Hybrid.cz | Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, 2010 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novinky/opel-vivaro-econcept-elektricka-dodavka>
- [36] Emerald t-001 Electric Delivery Van. *WORKTRUCK* [online]. Bobit Business Media, 2012 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.worktruckonline.com/201084/emerald-t-001-electric-delivery-van>
- [37] *Ricardo Quarterly Review: Q2 2012* [online]. 2012 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://d1v9sz08rbysvx.cloudfront.net/ricardo/media/media/rq%20download%20files/rq_q2_12compressed.pdf
- [38] KANE, Mark. First Mass-Produced Extended-Range Electric Van To Launch Late Next Year. *InsideEVs | Electric Vehicle News, Reviews, and Reports* [online]. Motorsport Network, 2016 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/330471/first-mass-produced-extended-range-electric-van-to-launch-late-next-year/>
- [39] KANE, Mark. First Mass-Produced Extended-Range Electric Van To Launch Late Next Year. In: *InsideEVs | Electric Vehicle News, Reviews, and Reports* [online]. Motorsport Network, 2016 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/330471/first-mass-produced-extended-range-electric-van-to-launch-late-next-year/>
- [40] LEVC debuts its LCV in Europe at an exclusive Frankfurt preview event. *LEVC | New Taxis | Light Commercial Electric Vehicles | Approved Used Taxis* [online]. 2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.levc.com/corporate/news/levc-debuts-its-lcv-in-europe/>
- [41] LEVC REVEALS NAME FOR NEW ELECTRIC VAN: VN5. *LEVC | New Taxis | Light Commercial Electric Vehicles | Approved Used Taxis* [online]. © 2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.levc.com/corporate/news/name-reveal-vn5/>

[42] KANE, Mark. LEVC Builds The First Prototypes Of Its Upcoming New Plug-In Van. In: *InsideEVs | Electric Vehicle News, Reviews, and Reports* [online]. Motorsport Network, 2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/397388/levc-builds-first-prototypes-plugin-van/>

[43] FORD. *Podklady*. 2020.

[44] Ford TRANSIT CUSTOM. In: *The Official Homepage of Ford UK | Ford UK* [online]. © 2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.ford.co.uk/content/dam/guxeu/uk/documents/brochures/commercial-vehicles/BRO-ford-New-Transit-Custom.pdf>

[45] WATT, Peter. New Ford Transit and Tourneo Custom Plug-In Hybrids Deliver Zero Emission Driving with No Range Anxiety | Ford of Europe | Ford Media Center. *FORD MEDIA CENTER* [online]. 2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2019/09/23/New-Ford-Transit-and-Tourneo-Custom-Plug-In-Hybrids-Deliver-Zero-Emission-Driving.html?fbclid=IwAR0eqR3qcTo8_BNTZaeB7ITdOPMk5RM4PgLiOZtzez4C6BaCHgsbrvn9Avs

[46] LESAGE, Jon. Ford Transit Custom PHEV Being Tested By Fleets In London. In: *HybridCars.com | Auto alternatives for the 21st century* [online]. 2017 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.hybridcars.com/ford-transit-custom-phev-being-tested-by-fleets-in-london/>

[47] Ford uvádí na trh nové plug-in hybridní dodávky Transit Plug-in Hybrid a Tourneo Custom Plug-in | Hybrid.cz. In: *Hybrid.cz | Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, 2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/ford-uvadi-na-trh-nove-plug-hybridni-dodavky-transit-plug-hybrid-tourneo-custom-plug?fbclid=IwAR2skyiErGRaWOcsNshc696QR4DHwAynvCgA53eQ7T6ObQ1Jp3L1FeFTMzE>

- [48] RENAULT RUNS ON HYDROGEN WITH MASTER Z.E. HYDROGEN AND KANGOO Z.E. HYDROGEN. In: *Newsroom Groupe Renault : News, articles, photos, videos* [online]. 2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://media.group.renault.com/global/en-gb/groupe-renault/media/pressreleases/21234877/tag>
- [49] Kangoo-ze-brochure. In: *Renault Česká republika | Nové, ojeté, užitkové vozy* [online]. © 2017-2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://cdn.group.renault.com/ren/cz/pdf/brochures/kangoo-ze-brochure.pdf>
- [50] ŠURKALA, Milan. Renault Kangoo Z.E. a Master Z.E. dostávají vodíkový extender | Svět mobilně. In: *Svět mobilně* [online]. 2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/renault-kangoo-z-e-a-master-z-e-dostavaji-vodikovy-extender/7909>
- [51] Master-ze-price. In: *Renault Česká republika | Nové, ojeté, užitkové vozy* [online]. © 2017-2020 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://cdn.group.renault.com/ren/cz/pdf/pricelists/master-ze-price.pdf>
- [52] GROHMANN, Jan. StreetScooter: elektrická dodávka pro německou poštu | Hybrid.cz. *Hybrid.cz | Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, 2013 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/streetscooter-elektricka-dodavka-pro-nemeckou-postu>
- [53] StreetScooter-Brochure-EN-Web. In: *Streetscooter GmbH Elektro Nutzfahrzeuge* [online]. © 2018 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.streetscooter.com/wp-content/uploads/2019/01/StreetScooter-Brochure-EN-Web.pdf>
- [54] MORKUS, Josef. *Podklady*. 2020.
- [55] BRÚCH, Wieland. BMW i also advances electromobility in local public transport. *PressClub Global*. [online]. 2018 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0286718EN/bmw-i-also-advances-electromobility-in-local-public-transport?language=en>
- [56] BMW i3 60 Ah (2013-2017) price and specifications - EV Database. *Compare electric vehicles - EV Database* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://ev-database.org/car/1004/BMW-i3-60-Ah>

[57] HELPREG. *Podklady*. 2020.

[58] HORČÍK, Jan. Výroba elektromobilů StreetScooter skončí, nenašel se investor | Hybrid.cz. *Hybrid.cz | Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, 2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/vyroba-elektromobilu-streetscooter-skonci-nenasel-se-investor>

[59] HORČÍK, Jan. Výroba elektromobilů StreetScooter skončí, nenašel se investor | Hybrid.cz. In: *Hybrid.cz | Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, 2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/vyroba-elektromobilu-streetscooter-skonci-nenasel-se-investor>

[60] DITTRICH, Lukáš. Na český trh dorazily další dva nové elektromobily a dva hybridy. Nejzajímavější je e-tron - Autobible.cz. *Autobible.cz - Předjedeme vaše představy!* [online]. Mladá fronta, 2018 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/cesky-trh-dorazily-dalsi-dva-nove-elektromobily-dva-hybridy-nejzajimavejsi-e-tron/>

[61] Jak si elektromotor poradí s tunou nákladu? Testujeme dodávku na baterky - iDNES.cz. *IDNES.cz – s námi víte víc* [online]. MAFRA, 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/magazin/volkswagen-crafter-e-crafter-elektromobil-dodavka-vw.A190901_160858_auto_testy_nyv

[62] Streuer-vw-crafter. In: *VW Nutzfahrzeuge Modelle, Angebote & mehr | VW Nutzfahrzeuge* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.vw-nutzfahrzeuge.at/e-crafter/infomaterial>

[63] Volkswagen e-Golf price and specifications - EV Database. *Compare electric vehicles - EV Database* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://ev-database.org/car/1087/Volkswagen-e-Golf>

[64] PAVLŮSEK, Ondřej. Volkswagen e-Crafter: Elektrická dodávka s dojezdem přes 200 km | Auto.cz. In: *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2016 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/volkswagen-e-crafter-elektricka-dodavka-s-doezdem-pres-200-km-98444>

[65] MERCEDES-BENZ. *Podklady*. 2020.

- [66] KRUPIČKA, Jiří. Test Mercedes-Benz eSprinter: Vysoké napětí - Autobible.cz. In: *Autobible.cz - Předjedeme vaše představy!* [online]. Mladá fronta, 2018 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/test-mercedes-benz-esprinter-vysoke-napeti/>
- [67] KOLMAN, Stanislav. Elektrický Renault Master Z.E. míří do služeb DPD. Zatím kolem Prahy | Auto.cz. In: *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/elektricky-renault-master-z-e-miri-do-sluzeb-dpd-zatim-kolem-prahy-133729>
- [68] Základní informace - Česká pošta. *Česká pošta* [online]. © 2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.ceskaposta.cz/o-ceske-poste/profil/zakladni-informace>
- [69] Služby - Česká pošta. *Česká pošta* [online]. © 2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.ceskaposta.cz/sluzby>
- [70] KUBÁSEK, Jan. Česká pošta a provoz CNG vozidel. In: *Hospodářská komora ČR* [online]. 2016 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.komora.cz/files/uploads/2016/10/06_CNG-%C4%8Ceska-po%C5%A1ta.pdf
- [71] Česká Pošta objednala 400 vozů Peugeot. *Auto-mania.cz* [online]. automotozpravy.cz, 2013 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/ceska-posta-objednala-400-vozu-peugeot/>
- [72] Proč si Česká pošta pořizuje vozy tolika značek? *Flotila* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://e-flotila.cz/aktuality/912-ceska-posta-obnovuje-autopark>
- [73] SELICHAROVÁ, Marta. Pošťáci budou mít dalších 544 nových aut - 2013 - Česká pošta. *Česká pošta* [online]. 2013 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.ceskaposta.cz/-/postaci-budou-mit-dalsich-544-novych-aut>
- [74] ČESKÁ POŠTA. *Podklady*. 2019.
- [75] ArcGIS Web Application. In: *ČÚZK: Geoportál* [online]. © 2010 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/dmr/>
- [76] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.

- [77] SVOBODA, Jiří. *Teorie dopravních prostředků: vozidla silniční a terénní*. Vyd. 4. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3005-9.
- [78] ACHTENOVÁ, Gabriela a Vlastislav TŮMA. *Vozidla s pohonem všech kol*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-236-7.
- [79] Hustota suchého vzduchu - TZB-info. *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. © 2001-2020 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/70-hustota-sucheho-vzduchu>
- [80] BARNARD, R. H. *Road vehicle aerodynamic design: An introduction*. Harlow: Addison-Wesley Longman, 1996. ISBN 0582245222.
- [81] GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of vehicle dynamics*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, © 1992. ISBN 15-609-1199-9.
- [82] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, © 2020 [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [83] MACEK, Jan. *Podklady*. 2020.
- [84] MORĀKUS, Josef. Hybridní pohony: 6. část. In: *Studium - podklady pro studium na Fakultě strojní* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150_HP/Hybridn%c3%ad%20pohony%202020/
- [85] 2020 Audi e-tron Sportback 50 quattro - Specifications and price. *EVSpecifications - Electric vehicle specifications, electric car news, EV comparisons* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.evspecifications.com/en/model/36fdf2>
- [86] NOVÁK, Jaroslav. *Podklady*. 2020.
- [87] DIVIŠ, Tomáš. *Projekt 3*. 2020.
- [88] MACHÁČEK, Jan. *Využití 48 V technologie v hybridních pohonech*. Praha, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [89] TOMAN, Rastislav. *Podklady*. 2020.

- [90] RAMONI, Monsuru Olalekan a Hong-Chao ZHANG. End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries. *Clean Technologies and Environmental Policy* [online]. 2013, **15**(6), 881-891 [cit. 2020-06-07]. DOI: 10.1007/s10098-013-0588-4. ISSN 1618-954X. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10098-013-0588-4>
- [91] MORKUS, Josef. Hybridní pohony: 1. část. In: *Studium - podklady pro studium na Fakultě strojni* [online]. [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150_HP/Hybridn%c3%ad%20pohony%202020/
- [92] 2019 Audi e-tron 55 quattro - Specifications and price. *EVSpecifications - Electric vehicle specifications, electric car news, EV comparisons* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://www.evspecifications.com/en/model/fff46a>
- [93] EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO a Ali EMADI. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, © 2010. Power electronics and applications series (CRC Press). ISBN 978-1420053982.
- [94] VASIL, Martin. Motor 1,0 MPI Evo: Rozpravali sme sa so šéfom vývoja. *Autožurnál | Motoristický magazín* [online]. 2019 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://autozurnal.com/motor-10-mpi-evo-rozpravali-sme-sa-so-sefom-vyvoja>
- [95] ČERVENKA, Libor. *Podklady*. 2020.
- [96] HOFSTADLER, Christian. Nabíjecí stanice: Elektromobilita. In: *Schrack Technik / Výrobce elektroinstalačních materiálů - Schrack Technik* [online]. 2017 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: https://www.schrack.cz/fileadmin/f/cz/Bilder/Ke_stazeni/Katalogy/elektromobilita/p-tankcz17.pdf
- [97] Rozdíl mezi AC a DC nabíjením elektromobilu. *Vše pro nabíjení elektromobilů*. [online]. © 2016 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/rady-a-tipy-zajimavosti-novinky-informace-evexpert/elektromobilita/ac-dc-nabijeni>
- [98] Režimy nabíjení - Autonabijeni.cz. *Autonabíjení.cz - Vše pro Váš elektromobil* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/rezimy-nabijeni/>

- [99] Elektromobilita –osvětový materiál. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, © 2008-2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOPSPZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSPZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf)
- [100] EV Link, Řešení nabíjení elektromobilů: Katalog 2019. In: *Schneider Electric Czech Republic | Globální specialista na efektivní hospodaření s energiemi a průmyslovou automatizaci* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=S1520.pdf&p_Doc_Ref=S1520
- [101] *E-shop PREměření* [online]. © 2017 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://eshop.premereni.cz/>
- [102] Nástěnná DC KEYWATT rychlonabíjecí stanice | 24 kW - Autonabijeni.cz. *Autonabijeni.cz - Vše pro Váš elektromobil* [online]. © 2020 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/rychlonaibijeci-stanice/nastenna-dc-keywatt-rychlonaibijeci-stanice-24-kw/>
- [103] Efacec QC45 | CHAdeMO / CCS / T2 | 50kW - Autonabijeni.cz. *Autonabijeni.cz - Vše pro Váš elektromobil* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/rychlonaibijeci-stanice/efacec-qc45-chademo-ccs-t2-50kw/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Pohonné ústrojí – W-15 [21] (přeloženo)	22
Obrázek 2 W-15 [21]	22
Obrázek 3 Schéma pohonu LEVC TX [31] (přeloženo)	24
Obrázek 4 LEVC TX [32]	24
Obrázek 5 Opel Vivaro e-Concept [35]	25
Obrázek 6 Emerald t-001 [39]	26
Obrázek 7 LEVC LCV [42]	27
Obrázek 8 Schéma pohonu Ford Transit Custom Plug-In Hybrid [46] (přeloženo)	29
Obrázek 9 Ford Transit Custom Plug-In Hybrid [47]	29
Obrázek 10 Kangoo Z.E. Hydrogen [50]	31
Obrázek 11 Renault Master Z.E. Hydrogen [50]	32
Obrázek 12 StreetScooter Work L Box [59]	34
Obrázek 13 Volkswagen e-Crafter [64]	35
Obrázek 14 Mercedes-Benz eSprinter [66]	36
Obrázek 15 Renault Master Z.E. [67]	37
Obrázek 16 Peugeot Boxer	40
Obrázek 17 Měřicí zařízení CarScout	42
Obrázek 18 Prostředí programu DIAdem	43
Obrázek 19 Naměřená rychlost GPS a E-OBD, Synchronizační čas	44
Obrázek 20 Naměřená rychlost GPS a E-OBD	45
Obrázek 21 SG filtr	46
Obrázek 22 Naměřená a Filtrovaná rychlost GPS	47
Obrázek 23 Naměřená a Filtrovaná rychlost GPS, delší časový interval	47
Obrázek 24 Naměřená a Filtrovaná rychlost E-OBD	48
Obrázek 25 Filtrovaná rychlost GPS a E-OBD, delší časový interval	49
Obrázek 26 Filtrovaná a Výpočetní rychlost E-OBD, delší časový interval	50
Obrázek 27 Filtrace a úprava naměřených dat rychlosti	50
Obrázek 28 Naměřené a Filtrované otáčky motoru	51
Obrázek 29 Stoupání vozovky [75]	52
Obrázek 30 Jízdní odpory	55
Obrázek 31 Závislost součinitele rotačních hmot na celkovém převodu [76]	60

Obrázek 32 Mimoměstský cyklus MMC2 [82]	67
Obrázek 33 Doručovací oblast MMC2 [82]	68
Obrázek 34 Rychlost vozidla a výkon na kolech vozidla – MMC2	71
Obrázek 35 Městský cyklus MC1 [82]	73
Obrázek 36 Doručovací oblast MC1 [82]	73
Obrázek 37 Rychlost vozidla a výkon na kolech vozidla – MC1	76
Obrázek 38 Příměstský cyklus PMC2 [82]	77
Obrázek 39 Doručovací oblast PMC2 [82]	78
Obrázek 40 Rychlost vozidla a výkon na kolech vozidla – PMC2	81
Obrázek 41 Stav při rozpojení mechanické vazby mezi motorem a koly vozidla	86
Obrázek 42 Algoritmus vyhodnocení řazení rychlostních stupňů	88
Obrázek 43 Horní mez – součinitel rotačních hmot	89
Obrázek 44 Výpočetní model elektromobilu	92
Obrázek 45 Využitelnost energie nové baterie	99
Obrázek 46 Návrh baterie dodávkového elektromobilu	100
Obrázek 47 Výpočetní model Range Extenderu	103
Obrázek 48 Stav nabití nové baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MMC3 .	114
Obrázek 49 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MMC3..	115
Obrázek 50 Výjezd s částečně nabitou baterií – nájezd MMC3	116
Obrázek 51 Automatické převedení pohonu vozidla do čistě elektrického režimu	117
Obrázek 52 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MMC2..	118
Obrázek 53 Stav nabití nové baterie a spalovacího motoru denního nájezdu PMC2...	119
Obrázek 54 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu PMC2 ...	120
Obrázek 55 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MC2	121
Obrázek 56 Stav nabití staré baterie a spalovacího motoru denního nájezdu MC1	121
Obrázek 57 Opakovaný výjezd z depa – nájezd MC1	122
Obrázek 58 Rychlost vozidla a výkon elektromotoru – MMC2, dálnice	124
Obrázek 59 Rychlost vozidla a výkon elektromotoru – MMC2, doručování	125

Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní informace – W-15 [18]	21
Tabulka 2 Základní informace - LEVC TX [24] [25] [26] [28]	23
Tabulka 3 Základní informace – Opel Vivaro e-Concept [33] [34]	25
Tabulka 4 Základní informace - Emerald t-001 [37]	26
Tabulka 5 Základní informace – LEVC LCV [24] [25] [26] [28] [41]	27
Tabulka 6 Základní informace – Ford Transit Custom Plug-In Hybrid [43] [44]	29
Tabulka 7 Základní informace – Kangoo Z.E. Hydrogen [48] [49]	30
Tabulka 8 Základní informace – Renault Master Z.E. Hydrogen [48] [51]	32
Tabulka 9 Základní informace – StreetScooter [53] [54] [56] [57]	34
Tabulka 10 Základní informace – Volkswagen e-Crafter [62] [63]	35
Tabulka 11 Základní informace – Mercedes-Benz eSprinter [65]	36
Tabulka 12 Základní informace – Renault Master Z.E. [51]	37
Tabulka 13 Základní informace – Peugeot Boxer [74]	40
Tabulka 14 Analýza časového kroku výpočtu a dat rychlosti	65
Tabulka 15 Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Mimoměstského cyklu	67
Tabulka 16 Rozdělení denního nájezdu Mimoměstského cyklu	69
Tabulka 17 Energetická náročnost na kolech vozidla Mimoměstského cyklu	69
Tabulka 18 Spotřeba energie na kolech vozidla Mimoměstského cyklu	70
Tabulka 19 Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Městského cyklu	72
Tabulka 20 Rozdělení denního nájezdu Městského cyklu	74
Tabulka 21 Energetická náročnost na kolech vozidla Městského cyklu	74
Tabulka 22 Spotřeba energie na kolech vozidla Městského cyklu	75
Tabulka 23 Denní nájezd a počáteční hmotnost nákladu Příměstského cyklu	77
Tabulka 24 Rozdělení denního nájezdu Příměstského cyklu	79
Tabulka 25 Energetická náročnost na kolech vozidla Příměstského cyklu	79
Tabulka 26 Spotřeba energie na kolech vozidla Příměstského cyklu	80
Tabulka 27 Shrnutí energetické bilance naměřených cyklů	82
Tabulka 28 Citlivostní analýza součinitele valivého odporu	83
Tabulka 29 Citlivostní analýza součinitele odporu vzduchu	84
Tabulka 30 Hodnoty součinitele rotačních hmot	89
Tabulka 31 Citlivostní analýza součinitele rotačních hmot	90

Tabulka 32 Stanovení pohotovostní hmotnosti elektromobilu [83] [84] [85] [86]	92
Tabulka 33 Účinnosti komponent elektromobilu [54] [77] [86] [87] [88].....	95
Tabulka 34 Celková energie baterie pro trakci elektromobilu	96
Tabulka 35 Celková energie baterie pro vyhřívání kabiny elektromobilu	97
Tabulka 36 Celková energie baterie pro trakci a vyhřívání kabiny elektromobilu	98
Tabulka 37 Účinnosti komponent Range Extenderu [54] [77] [86] [87] [88].....	108
Tabulka 38 Stanovení hmotnosti Range Extenderu [57] [83] [86].....	112

.

Seznam příloh

Příloha 1 až 12 – Naměřená data použitá ve výpočtu z mobilní aplikace Sports Tracker a měřicí jednotky CarScout včetně filtrovaného profilu rychlosti a následných úprav pro získání výpočetní rychlosti. Samostatný soubor pro naměřené denní nájezdy MC1, MC2, MC3, MMC1, PMC1, PMC3 (označení souboru např. Vypocetni_data_MC1). Z důvodu omezené maximální velikosti souboru v aplikaci KOS jsou naměřená data denních nájezdů MMC2, MMC3 a PMC2 uložena odděleně (označení souboru např. Vypocetni_data_MMC2_1) od filtrovaného profilu rychlosti s následnými úpravami pro získání výpočetní rychlosti (označení souboru např. Vypocetni_data_MMC2_2).

Příloha 13 až 21 – Veškerá naměřená data z CarScout (označení souboru např. MMC2).

Příloha 22 až 33 – Výpočetní program energetické náročnosti naftové dodávky Peugeot Boxer, samostatný soubor pro jednotlivé naměřené denní nájezdy (označení souboru např. Energeticka_narocnost_MC1). Pro denní nájezd MMC2 samostatný soubor pro jednotlivé výpočty s uvažováním konstantní hodnoty zrychlení po dobu 2, 3, 4 a 5 s (označení souboru např. Energeticka_narocnost_MMC2_2s).

Příloha 34 až 35 – Výpočetní program pro vyhodnocení řazení rychlostních stupňů, samostatný soubor pro denní nájezdy MC2 a MMC2 (označení souboru např. Vyhodnoceni_razeni_MMC2).

Příloha 36 – Výpočetní program pro definování součinitele rotačních hmot naftové dodávky Peugeot Boxer (označení souboru Definovani_soucinitele_rotacnich_hmot).

Příloha 37 až 38 – Výpočetní program pro vyhodnocení požadované jmenovité kapacity baterie elektromobilu, samostatný soubor pro nájezd MMC2 a MMC3 (označení souboru např. Navrh_baterie_elektromobilu_MMC2).

Příloha 39 až 43 – Výpočetní program Range Extenderu, samostatný soubor pro denní nájezdy MC1, MC2, MMC2, MMC3, PMC2 (označení souboru např. Range_Extender_MMC2).

Příloha 44 – Výpočetní program pro určení požadovaného výkonu elektromotoru a spalovacího motoru při definované hmotnosti nákladu, rychlosti a stoupání (označení souboru Vykon_Range_Extender).