

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Analýza provozních parametrů hybridních vozidel

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jiří Pohan

PRAHA 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jiří Pohan

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza provozních parametrů hybridních vozidel

Název anglicky

Analysis of operational parameters of hybrid vehicles

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled vozidel využívající k pohonu elektrickou energii a jejich porovnání s konvenčními vozidly.

Metodika

Práce bude zpracována dle následující osnovy:

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Praktická část práce
6. Zhodnocení výsledků
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50-60 stran A4

Klíčová slova

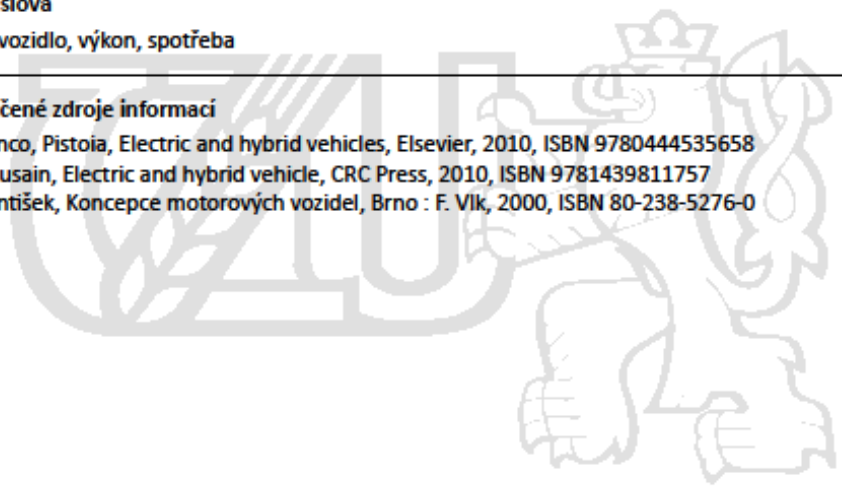
hybrid, vozidlo, výkon, spotřeba

Doporučené zdroje informací

Gianfranco, Pistoia, Electric and hybrid vehicles, Elsevier, 2010, ISBN 9780444535658

Iqbal, Husain, Electric and hybrid vehicle, CRC Press, 2010, ISBN 9781439811757

Vlk, František, Koncepce motorových vozidel, Brno : F. Vlk, 2000, ISBN 80-238-5276-0



Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 24. 1. 2020

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2021

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Analýza provozních parametrů hybridních vozidel vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

Abstrakt: Cílem této diplomové práce bylo vytvoření přehledu vozidel využívajících hybridní technologii pohonu a jejich následné porovnání s konvenčními vozidly. V kapitole „Přehled řešené problematiky“ je popsáno stručné rozdělení hybridních vozidel podle jejich koncepce pohonu a stupně hybridizace. V dalších částech kapitoly jsou pak popsány jednotlivé díly a zásadní odlišnosti hybridních vozidel od vozidel s konvenční pohonnou soustavou. V praktické části práce jsou představena testovaná vozidla, měřící zařízení, testovací trasa a postup měření. V kapitole „Výsledky měření“ jsou pak porovnány zjištěné parametry s parametry udanými výrobcem, zároveň je zde zohledněna ekonomika provozu a provozní náklady hybridních vozidel. V konečné části práce jsou detailně zkoumány různé provozní parametry plug-in hybridního Volkswagenu Golf GTE.

Klíčová slova: hybrid, vozidlo, výkon, spotřeba

Analysis of operational parameters of hybrid vehicles

Summary: The aim of this diploma thesis was to create an overview of vehicles using hybrid drive technology and their subsequent comparison with conventional vehicles. The chapter "Overview of the solved problems" describes a brief division of hybrid vehicles according to their drive concept and degree of hybridization. In the following parts of the chapter, the individual parts and fundamental differences of hybrid vehicles from vehicles with a conventional propulsion system are described. The practical part of the work presents the tested vehicles, measuring equipment, test route and measurement procedure. In the chapter "Measurement results", the determined parameters are compared with the parameters specified by the manufacturer, at the same time the economics of operation and operating costs of hybrid vehicles are considered. In the final part of the work, various operating parameters of the plug-in hybrid Volkswagen Golf GTE are examined in detail.

Key words: hybrid, vehicle, power, consumption

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl Práce.....	2
3. Metodika práce.....	2
4. Přehled řešené problematiky.....	2
4.1. Hybridní automobil a rozdělení hybridních pohonů.....	2
4.1.1. Sériový hybrid.....	2
4.1.2. Paralelní a kombinovaný hybrid.....	3
4.2. Rozdělení vozidel dle stupně hybridizace.....	4
4.2.1. Micro hybrid.....	4
4.2.2. Mild hybrid.....	5
4.2.3. Full hybrid.....	6
4.2.4. Plug-in hybrid.....	7
4.3. Elektromotory v hybridních vozidlech.....	8
4.3.1. Startéry a startér generátory.....	8
4.3.2. Pohonné elektromotory.....	10
4.4. Baterie.....	12
4.4.1. Olověné akumulátory.....	13
4.4.2. Baterie nikl metal hybrid.....	14
4.4.3. Lithiové baterie.....	15
4.5. Nabíjení.....	17
5. Praktická část práce.....	21
5.1. Testovaná vozidla.....	21
5.1.1. Lexus ES 300h.....	21
5.1.2. Peugeot 3008 Hybrid 4.....	22
5.1.3. Volkswagen Golf GTE.....	23
5.1.4. Volkswagen e-Golf.....	26
5.1.5. Volkswagen ID.3.....	27
5.1.6. Hyundai Kona Electric.....	29
5.1.7. Mercedes Benz EQC 400.....	30
5.2. Přístrojové vybavení.....	31
5.2.1. TEXA diagnostika.....	31
5.2.2. Diagnostický systém VAG-COM (HexCAN-V2).....	32
5.2.3. BOSCH KTS 590.....	32
5.2.4. GPS Garmin.....	33

5.3. Testovací trasa	34
5.4. Provozní náklady	35
6. Zhodnocení výsledků	40
6.1. Výsledky měření	40
6.1.1. Peugeot 3008 hybrid 4	40
6.1.2. Volkswagen Golf GTE	40
6.1.3. Volkswagen e-Golf	41
6.1.4. Hyundai Kona Electric	41
6.1.5. Mercedes Benz EQC 400	41
6.1.6. Volkswagen ID.3	42
6.2. Provozní parametry Volkswagenu Golf GTE	43
6.2.1. Spolupráce spalovacího motoru a elektromotoru	44
6.2.2. Okamžitá spotřeba vozu v provozu	55
7. Závěr	59
8. Seznam použitých zdrojů	61
8.1. Seznam obrázků	62
8.2. Seznam tabulek	63
8.3. Seznam grafů	63
8.4. Zdroje obrázků	64
9. Přílohy	65

1. Úvod

Vozidla využívající hybridních systémů pohonu se v posledních letech těší velké oblibě. Z historického pohledu se však nejedná o žádnou novou technologii. Již koncem 19. století se začala objevovat první hybridní vozidla. Jejich vývoj však nijak zásadně nepokračoval, hlavní měrou nástupem lepších spalovacích motorů a také z důvodu nedostatečné kapacity tehdejších baterií. S dostatkem fosilních paliv a téměř nulovým požadavkem na kontrolu emisí vozidel byla následující desítky let potřeba výroby úsporných a ekologických vozidel minimální. Situace se začala postupně měnit až s příchodem ekonomických a ropných krizí. Požadavky na úsporný a ekologický provoz vozidel byly udávány čím dál přísnějšími normami, například nařízení EU č. 443/2009 stanovuje výkonnostní emisní normy nově vyrobených automobilů. V současnosti je limit 95 CO₂ na každý ujetý kilometr. Takto přísné limity již není jednoduché splnit, zvláště v případě spalovacích motorů. Tyto faktory tak výrazně napomohly rozvoji ekologičtějších vozidel. Hybridní a elektrická vozidla najdeme v nabídce naprosté většiny předních výrobců automobilů a jejich prodeje prudce stoupají. Přísnější emisní normy mohou mít za následek úplný konec produkce spalovacích motorů v osobních vozidlech.

Hybridní a elektrická vozidla efektivně snižují místní emise škodlivých plynů, emise hluku a prachu. Jejich pohonné soustavy také zpravidla dosahují vyšší účinnosti, než spalovací motory a dochází-li k nabíjení elektřinou z obnovitelných zdrojů energie, poskytují taková vozidla velmi ekologický způsob osobní dopravy. Nástup elektromobilů a hybridních vozidel však přináší i mnohá úskalí, například nutné posílení elektrické přenosové sítě, vybudování dostatečně kapacitní dobíjecí infrastruktury a posílení těžby vzácných kovů na výrobu baterií.

Zatímco osobní vozidla v českých domácnostech jsou stále spíše s konvenčním pohonem, ve velkých firmách a flotilách se však s hybridy a elektroauty setkáme často. Díky mému zaměstnání ve firmě Siemens s.r.o. jsem měl tu možnost si mnoho hybridních a elektrických vozidel osobně vyzkoušet. Tato zkušenost mi umožní posoudit, jak daleko se vývoj hybridních vozidel posunul a jakých provozních parametrů dnešní hybridní vozidla dosahují.

2. Cíl Práce

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled vozidel využívající k pohonu elektrickou energii a jejich porovnání s konvenčními vozidly v reálném provozu. Získaná data pak budou zpracována a výsledky budou porovnány s daty výrobců. Zároveň budou zkoumány vlivy ovlivňující provozní parametry těchto vozidel.

3. Metodika práce

Pro testy ke zjištění provozních parametrů hybridních vozidel bylo zapůjčeno několik vozů různých typů a značek. Aby bylo možné měření porovnávat, bylo nutné stanovit jednotné podmínky pro testování. Každé vozidlo bylo napojeno na vhodný diagnostický přístroj a zároveň byla do vozu namontována jednotka GPS pro záznam polohy v čase. O vozidlech byly zjišťovány klíčové parametry, které byly sledovány a zaznamenávány po dobu jízdy. Testy probíhaly za běžného provozu na předem stanovené trase, která byla vždy absolvována oběma směry. Získané výsledky byly zpracovány a porovnány.

4. Přehled řešené problematiky

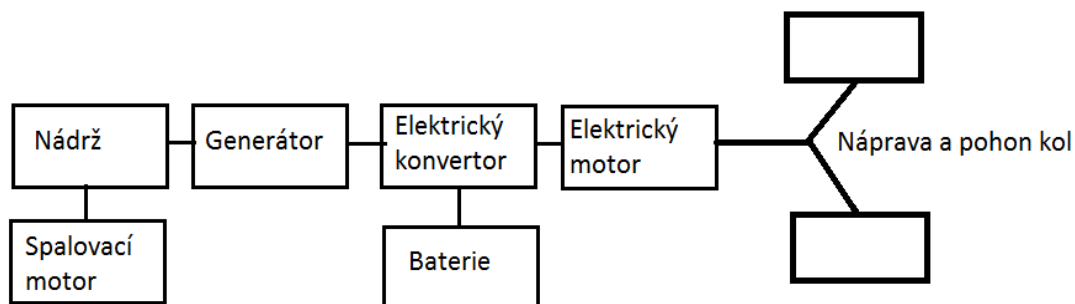
4.1. Hybridní automobil a rozdělení hybridních pohonů

Hybridním vozidlem nazýváme takové vozidlo, jenž k pohonu využívá více než jeden zdroj energie. Hybridním vozidlem je tedy například oblíbená elektrická koloběžka, ale i diesel elektrická lokomotiva. V případě osobních automobilů je takto nejčastěji označován automobil využívající k pohonu kombinaci spalovacího a elektrického motoru. Hlavním důvodem využití takové pohonné soustavy je ekologie provozu. V této práci se budu věnovat právě automobilům využívajícím spalovací a elektrický motor. Hybridní vozidla využívající elektrický a spalovací motor můžeme rozdělit prakticky na dvě kategorie podle vzájemné konfigurace motorů. [1]

4.1.1. Sériový hybrid

Sériové uspořádání hybridního vozidla znamená, že spalovací motor nepřenáší svůj kroutící moment přímo na kola vozu, ale pohání generátor. Tento generátor pak dodává proud elektromotorům, které již pohánějí vozidlo. Generátorem jsou také nabíjeny baterie vozidla. Při vysoké potřebě výkonu jsou elektromotory zásobeny jak baterií, tak generátorem zároveň. V sériovém uspořádání motorů není potřeba převodovka pro spalovací, ani elektrický motor případně motory. Spalovací motor je provozován v optimálním režimu, kdy

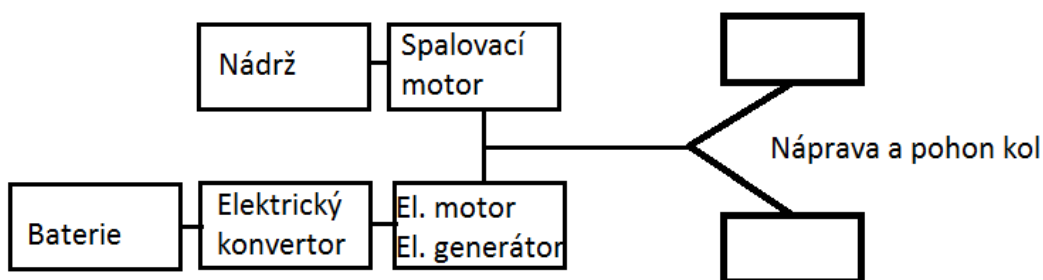
dodává maximum točivého momentu při minimální spotřebě paliva. Elektrické motory díky širokému pásmu dostatečného točivého momentu převodovky k pohonu vozidel většinou nepotřebují. Díky velké variabilitě uložení a uspořádání motorů je možné zvětšit prostor kabiny vozu – například rovnou podlahou a menším motorovým prostorem. Nevýhodou tohoto uspořádání je kvůli průchodu proudu z generátoru přes konvertor do elektromotorů nižší elektrická účinnost soustavy. [11]



Obrázek 1 Schéma sériového hybridního pohonu

4.1.2. Paralelní a kombinovaný hybrid

V případě uspořádání hybridní soustavy paralelním způsobem jsou spalovací a elektrický motor spojeny hřídelí, nebo se o pohon stará spalovací a samostatný elektrický motor. Nejčastěji se elektrický motor umísťuje mezi spalovací motor a převodovku. Elektromotor zde zároveň slouží jako startér a generátor pro 12 V baterii, nahrazuje tedy alternátor a startér. Takto spojené motory pak přenášejí točivý moment ke kolům přes mechanickou převodovku.



Obrázek 2 Schéma paralelního hybridního pohonu

Nová vozidla jsou často navržena jako kombinované hybridy s děličem výkonu spojující výhody sériového i paralelního uspořádání. Výhodou takového uspořádání je možnost využití obou motorů k pohonu vozu zároveň. Preferovaný je elektromotor, zvláště při rozjezdu a nízkých rychlostech. Při požadavku na maximální výkon se o pohyb vozu starají

oba typy motorů společně, díky tomu dosahují moderní hybridní vozidla nejen nízké spotřeby, ale také vysokých kombinovaných výkonů. Přebytek výkonu spalovacího motoru lze také využít pro dobíjení baterií, například při dálniční jízdě, a to pohonem elektromotoru, který v tomto režimu funguje jako generátor. Odporu dobíjecího generátoru se také využívá ke zpomalení vozu. Takové zpomalení vozu se nazývá rekuperační brzdění. Ovládání motorů a jejich vzájemné dělení výkonu řídí velmi složité a přesné řídicí jednotky, které upravují výkonové parametry motorů v závislosti na stavu baterií, polohy pedálů a volantu, rychlosti vozu a mnoho dalších parametrech. [11]

4.2. Rozdělení vozidel dle stupně hybridizace

Hybridní vozidla lze rozdělit nejen podle uspořádání motorů, ale i podle stupně hybridizace. V praxi se můžeme potkat s micro hybridy, mild hybridy, full hybridy a plug-in hybridy. V tabulce níže je přehled hlavních rozdílů a vlastností jednotlivých typů. [1][3]

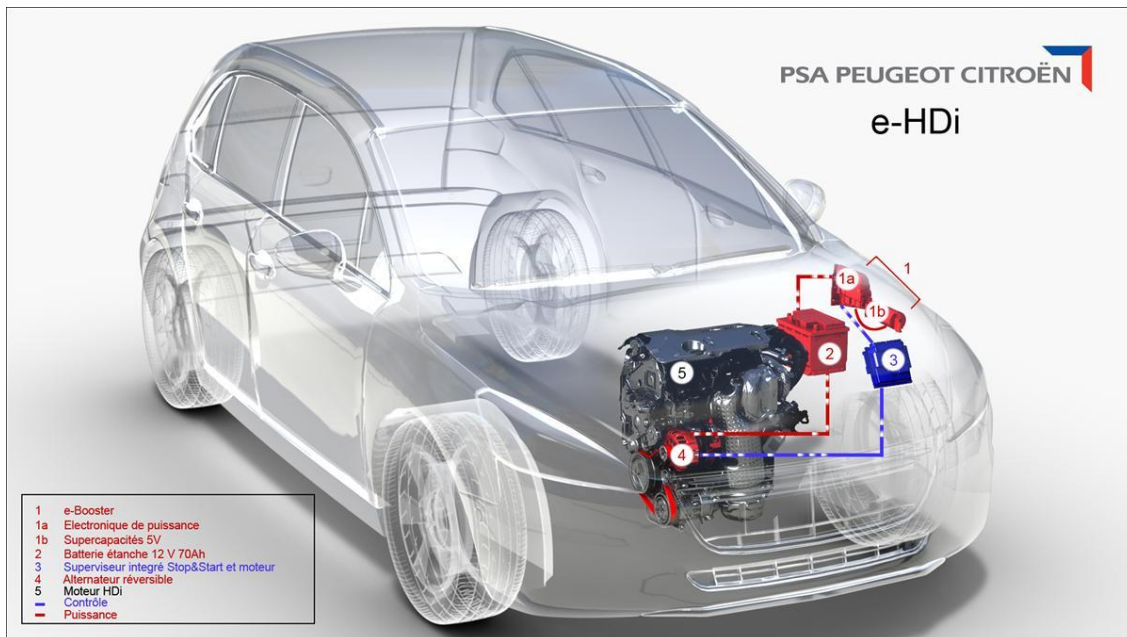
Typ	Start-stop	Rekuperační brzdění	Jízda v čistě elektrickém režimu	Nabíjení z externího zdroje
Micro hybrid	Ano	Ne	Ne	Ne
Mild hybrid	Ano	Ano	Ne	Ne
Full hybrid	Ano	Ano	Ano	Ne
Plug-in hybrid	Ano	Ano	Ano	Ano

Tabulka 1 Přehled klíčových vlastností různých typů hybridních vozidel

4.2.1. Micro hybrid

Vozidla označená jako micro hybrid jsou vybavena systémem start – stop. Vozidlo pohání spalovací motor, který je osazen výkonným startérem, který snese častější startování motoru podle příkazů řídicí jednotky. Častější starty motoru výkonným startérem jsou velkou zátěží pro akumulátor, a tak mají tato vozidla speciálně uzpůsobené 12 V olověné akumulátory, které snesou častější startování. Taková vozidla dosahují úspor hlavně v městském provozu. Novější generace micro hybridů umožňují při nepotřebě výkonu i vypnutí a startu motoru i

za jízdy, vozidlo pak takzvaně plachtí. Automobilky své mikro hybridní modely označují různými zkratkami jako například Peugeot označil svůj model 308 e-HDi. [3]



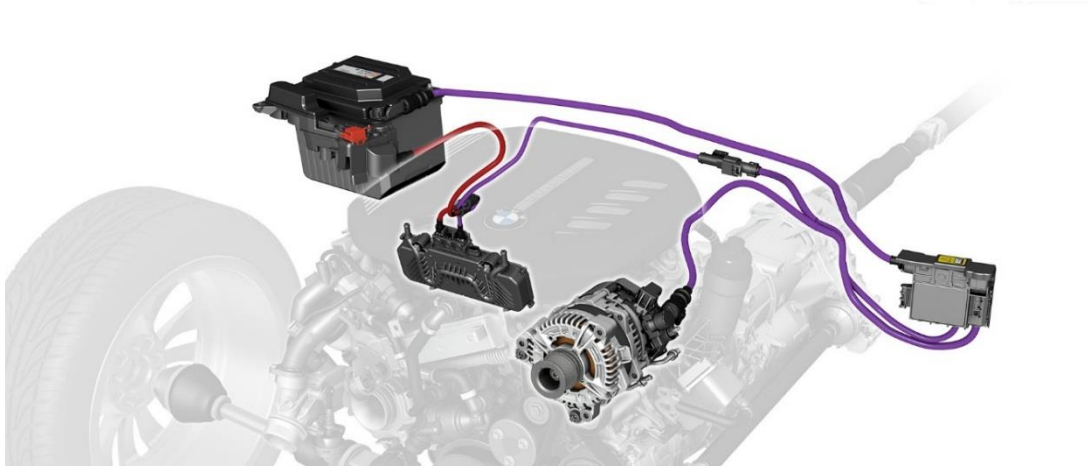
Obrázek 3 Mikro hybridní technologie Peugeot 308 e-HDi

www.automotorblog.com

4.2.2. Mild hybrid

Mild hybridní vozidla již oproti micro hybridům využívají větší elektromotor a trakční baterii pracující s vyšším napětím, často se jedná o 48 voltový systém. Tato hodnota napětí byla zvolena jako kompromis mezi výkonem a dodržením norem, které určují stejnosměrné napětí menší než 60 voltů jako bezpečné pro osobní vozidla. [8] Zároveň je díky vyššímu napětí možné přenášet větší proud vodiči a konektory bez výrazných ztrát. Ve voze je tedy osazena jak 12 voltová olověná, tak 48 voltová často lithium iontová baterie a speciální řídicí jednotky. Jelikož generátor pracuje s vyšším napětím než baterie pro příslušenství vozu, je ve voze také DC-DC měnič napětí, přes který je právě 12 V baterie dobývána. Elektromotor (někdy nazýván motorgenerátor) již plně nahrazuje startér i alternátor a lze jej využít i pro pomoc při rozjezdu vozu či rekuperační brzdění. Elektromotor se pak často umísťuje na spalovací motor a je ke spalovacímu motoru připojen pomocí řemenu, některé automobilky umísťují elektromotor mezi spalovací motor a převodovku. Ačkoliv je elektromotor větší, díky malé kapacitě baterie je vozidlo stále poháněno hlavně spalovacím motorem a elektrický systém jen motoru pomáhá při rozjezdech a snižuje jeho zátěž, proto se také můžeme setkat s názvem „power assist hybrid“. V praxi se ukazuje, že mild hybridní vozidla

dosahují v průměru o 10% menší spotřeby a produkce emisí CO₂ než vozidla s konvenčním pohonem. [3][4]



Obrázek 4 Mild hybridní 48 V technologie automobilky BMW

www.press.bmwgroup.com

4.2.3. Full hybrid

Vozidla označovaná jako full hybridní se od mild hybridních liší hlavně tím, že již poskytují možnost pohonu vozidla čistě na elektřinu. Full hybridní vozidla již mají baterie s větší kapacitou, nicméně kapacita se většinou pohybuje mezi 0.5 a 2 kWh. [1][3] Taková kapacita stále neumožňuje dlouhé cestování v elektrickém režimu, a tak mají full hybridní vozidla dojezd na elektřinu v řádech stovek metrů až jednotek kilometrů. Menší kapacita baterií však umožní jejich velmi rychlé opětovné dobíjení například rekuperačním brzděním. V členitém městském terénu a pomalém provozu pak full hybridní vozidla dosahují největších úspor v porovnání s konvenčními vozidly. K pohonu full hybridních vozidel stále slouží zejména

spalovací motor, elektromotory však dosahují vyšších výkonů v řádu jednotek až desítek kW a vozidlu umožňují krátký, ale zcela bezemisní provoz.



Obrázek 5 Full hybridní soustava Toyota Prius 2020

www.toyota.cz

4.2.4. Plug-in hybrid

Vozidla nejvyššího stupně hybridizace nazýváme plug-in hybridy, přičemž plug-in z anglického zapojit již napovídá, že se jedná o hybridní vozidla s možností dobíjení z externího zdroje. Z pohledu techniky se jedná o full hybridy doplněné o baterie s větší kapacitou, palubní nabíječku a výkonný elektromotor. Plug-in hybridy jsou svými vlastnostmi nejbližší elektromobilům, jsou ze všech typů nejúspornější, dosahují často vysokých kombinovaných výkonů a dokáží čistě na elektřinu ujet desítky až stovky kilometrů. Aby vozidlo dosáhlo požadovaných vlastností, bývají plug-in hybridy osazeny bateriemi o kapacitě od 4 do 40 kWh. Takto vysokokapacitní baterie by již nebylo možné v běžných podmínkách dobíjet pouze rekuperací, či generátorem poháněným spalovacím motorem, jsou plug-in hybridy vybaveny interní palubní nabíječkou. Díky tomu je možné dobíjení mnoha způsoby. První možností je výše zmíněné dobíjení rekuperačním brzděním nebo pohonem generátoru. Nejméně výkonný externí způsob nabíjení je pomocí k vozidlu dodávané nabíječky na 230 V. Takové nabíječky jsou schopné dodat okolo 2 kW výkonu. Dále je pak možné vozidlo dobíjet na výkonnějších AC nabíječkách, výkon pak závisí nejen na nabíječce, ale i na maximálním možném dobíjecím výkonu vozu. Mnoho dnes dostupných plug-in hybridů disponuje 11 kW palubní nabíječkou, některá vozidla však

mohou podporovat i rychlé DC nabíjení o výkonech 50-100 kW. K samotnému nabíjení se vrátím v dalších kapitolách.



Obrázek 6 Plug-in hybridní Golf GTE

www.hybrid.cz

4.3. Elektromotory v hybridních vozidlech

S ohledem na typ a stupeň hybridního pohonu můžeme v hybridních vozidlech najít několik druhů elektromotorů. Nejmenším elektromotorem v hybridních vozidlech je startér v případě mikro hybridních vozidel. Mild, full a plug-in hybridy využívají k pohonu větší elektromotory s výkony dosahujícími desítek až stovek kilowatů.

4.3.1. Startéry a startér generátory

Nejmenším typem elektromotorů v hybridních vozidlech jsou startéry. Vozidla vybavena systémem start-stop využívají zejména ve městě startér podstatně častěji než vozidla bez tohoto systému. Startéry jsou tak dimenzovány na vyšší zátěž, jiné jsou také olověné 12 voltové akumulátory, nejčastěji typu AGM, které lépe odolávají sulfataci vznikající při častém startování. Samotný startér má pak upravený převodový poměr, který umožňuje nižší otáčky rotoru startéru a snížit tím opotřebení uhlíků. I samotné uhlíky jsou vyrobené z trvanlivějšího materiálu s příměsí mědi, hřídel startéru je pak uložena v jehličkových ložiskách. Upravené je i řízení motoru, které zajišťuje zastavení motoru v takové pozici, aby byl nějaký z pístů v horní úvrti a rozběhu motoru pomohlo vstříknutí paliva a zapálení

směsi. Startér pak nemusí motor otočit o celou otáčku klikové hřídele. Díky těmto úpravám pak startéru nehrozí rychlé opotřebení. [6][7][8][9]



Obrázek 7 Startér pro vozidla se systémem start-stop

www.denso-am.eu

V mild hybridních vozech se čím dál častěji setkáme s takzvaným startér generátorem pracujícím s napětím 48 voltů a separátní baterií. Motor je často montován na blok motoru a je s klikovou hřídelí spojen řemenem. Startér generátory se velice podobají standartnímu alternátoru, velikostně se výrazně neliší, některé jsou také chlazené vzduchem pomocí integrovaného ventilátoru, někteří výrobci nabízejí i kapalinou chlazené jednotky. Nejrozšířenější umístění jednotky na motor a propojení řemenem je konfigurace levná, jednoduchá, a i prostorově nenáročná. Pohon řemenem však není schopen zajistit přenos vysokého výkonu bez prokluzu, a tak mají startér generátory výkon v řádu jednotek až desítek kW. Proces přenosu výkonu plně řídí řídicí jednotka, která v závislosti na mnoha faktorech o aktuálním stavu vozu rozhoduje o dodaném či odebraném výkonu elektromotorem, usměrňovač umístěný přímo na těle motor generátoru pak řeší usměrnění střídavého napětí na stejnosměrné. Například Bosch o svém systému BRS poskytuje informace, že vzduchem chlazený startér generátor dosahuje špičkově až 9,7 kW v režimu pohonu a až 11,5 kW v režimu rekuperace, trvalý výkon je okolo 5 kW. Tato jednotka váží 8,5 kg a její celková účinnost dosahuje 88 %. [9]



Obrázek 8 48 V startér generátor

www.valeo.com

Zvýšení účinnosti lze dosáhnout eliminací řemenového pohonu, což vyžaduje umístění přímo na klikovou hřídel. Výkon elektromotru je pak přenášen až s účinností 94%. Nevýhodou takových řešení je cena, prostorová a celková náročnost zástavby.

4.3.2. Pohonné elektromotory

Vozidla schopna pohybovat se čistě na elektřinu již mají motory větší a výkonnější. Dle stupně hybridizace jsou do hybridních vozidel osazovány motory s výkony v řádu desítek až stovek kW. V osobních vozidlech jsou nejčastěji používány motory s permanentními magnety a využívají tří fázový střídavý proud. Mezi baterií a motorem je tedy zapojen DC/AC měnič. Častým a prostorově méně náročným řešením je umístění elektromotoru do převodovky vozidla, respektive mezi spalovací motor a převodovku. Motory mohou být oddělené spojkou nebo planetovým soukolím se spojkou. Elektromotor pak nahradí spalovací motor i ve smyslu pohonu převodovky. Při plně elektrické jízdě není díky velkému rozsahu výkonu elektromotoru nutné využívat všechny převodové stupně, a tak je rozjezd i jízda velmi plynulá. Další výhodou přenosu výkonu přes převodovku je možnost využití elektromotoru i ve vyšších rychlostech. Nevýhodou umístění do převodovky je pak nutnost výroby speciální převodovky umožňující takovou zástavbu, nevýhodou je také nižší účinnost přenosu elektrické energie na kola díky mechanickým ztrátám v převodovce.

Chlazení elektromotorů je zajištěno nejen prouděním vzduchu, ale také cirkulací chladicí kapaliny, která chladí i baterie a její okruh je oddělený od okruhu spalovacího motoru.



Obrázek 9 Elektromotor umístěný v převodovce e-EAT8 v Peugeotu 3008 hybrid

www.peugeotcentrum.cz

Mnohá hybridní vozidla využívají k pohonu dva i více elektromotorů. Často je druhý elektromotor umístěn na zadní, respektive přední nápravu, čímž může být zajištěn pohon všech kol. Motory jsou instalovány samostatně, mohou být osazeny jednostupňovou převodovkou a diferencíálem pro přenos výkonu na obě kola. I tyto samostatné elektromotory mohou být chlazené kapalinou. Motory integrované do převodovek jsou složitější na případný servis, naopak elektromotory samostatné jsou servisně poměrně jednoduché.

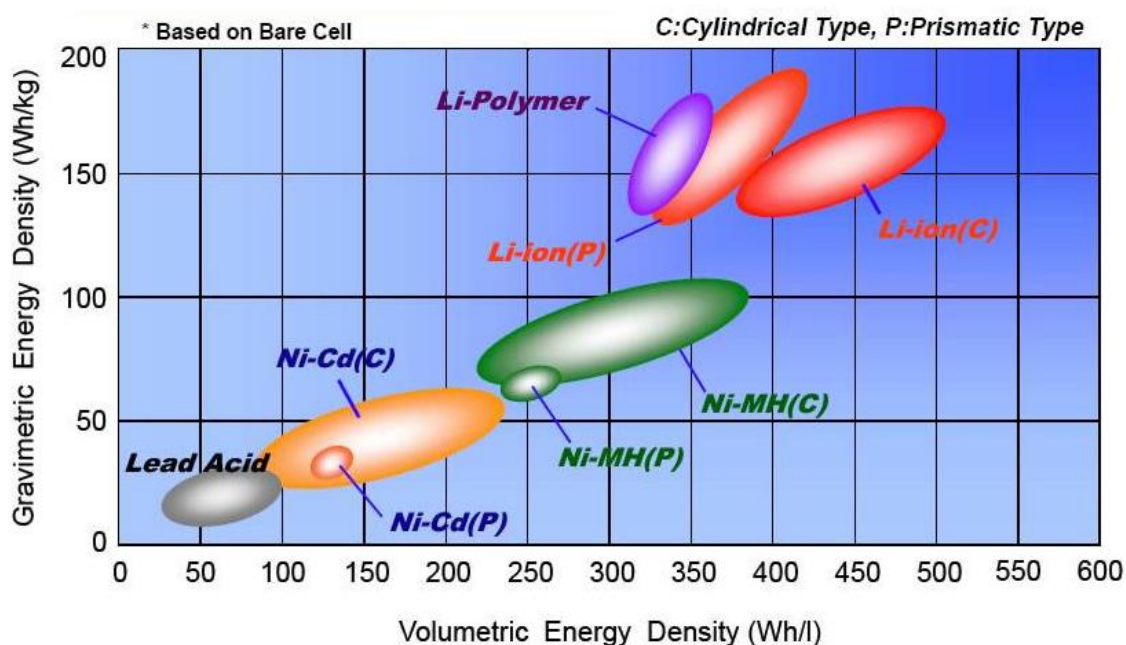


Obrázek 10 Kapalinou chlazený elektromotor s převodovkou a diferencíálem

www.mahle.com

4.4. Baterie

Hybridní vozidla běžně využívají tři typy baterií. Standardní 12 V baterie je používána pro příslušenství a výbavu vozu a mnohdy i pro startér motoru. Druhým typem baterií jsou 48 V baterie, které ovšem stále nemají dostatečnou kapacitu k pohonu vozu. Třetí, většinou mnohem výkonnější a větší baterie jsou pohonné (trakční) baterie dodávající elektřinu pohonným elektromotorům. Jak již bylo zmíněno na začátku práce, baterie byly v historii jedním z největších problémů hybridních a elektrických vozidel. I dnes jsou baterie nejvíce limitujícím faktorem všech hybridních vozidel, avšak díky usilovnému vývoji mají nejpoužívanější lithiové baterie až čtyřikrát větší energetickou hustotu, než olověné baterie [2] a díky tomu dosahují dnešní vozidla mnohem větších dojezdů.



Obrázek 11 Energeticko-objemová hustota různých typů baterií

www.epectec.com

Pro dosažení potřebných parametrů dojezdu a výkonu, je nutné dosadit do hybridního vozidla baterie o dostatečné kapacitě a výkonu. Vzhledem ke konstrukci hybridních vozidel, která často vznikají na platformách vozidel se standardním spalovacím motorem, je mnohdy složité baterie ve vozidle umístit.

4.4.1. Olověné akumulátory

Nejrozšířenějším typem akumulátorů v osobních vozech jsou 12 V olověné. Najdeme je ve všech vozech se spalovacím motorem, v hybridních vozech, a dokonce i v některých plně elektrických vozidlech. Výhodou olověných baterií je bezpochyby cena, snadná výměna a vysoký zkratovací proud. Díky těmto vlastnostem jsou dostatečné a vhodné pro start spalovacího motoru a provoz příslušenství vozu. Jak je však z obrázku 11 patrné, nemají olověné baterie dobrý energeticko-objemový, a hlavně váhový poměr, a tak nejsou moc vhodné pro pohon vozidel.

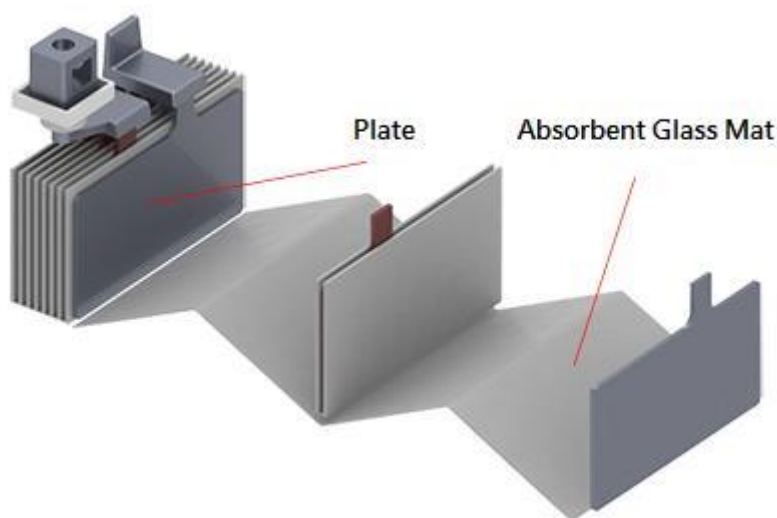
Standartní olověné baterie vyžadují údržbu v podobě doplňování destilované vody do roztoku elektrolytu. Elektrolyt je tvořen směsí kyseliny sírové a destilované vody. Doplňování vody prodlužuje životnost baterií, avšak dnešní olověné baterie jsou prodávány jako bezúdržbové, čímž je také limitována životnost.

Vnější konstrukce olověných baterií se skládá z plastového utěsněného obalu, držadla a dvou olověných svorkovnic pro kladný a záporný pól. Uvnitř baterie se nachází olověné desky s kladným a záporným nábojem. Mezi deskami se nachází mikroporézní materiál, který umožňuje chemickou reakci a zároveň brání vzájemnému kontaktu desek. Kladné desky jsou potaženy oxidem olovičitým, záporné desky jsou z čistého olova. U bezúdržbových baterií se desky vyrábějí s příměsí prvků jako je stříbro, vápník nebo antimon, čímž se zajistí nízká spotřeba vody při používání baterie.

Při vybíjení dochází k reakci mezi deskami, při které elektrolyt řídne, kyselina sírová se spotřebovává a na deskách se vytváří síran olovnatý. Pokud je baterie delší dobu ponechána ve vybitém stavu, začnou se na deskách tvořit krystaly síranu olovnatého, které se nedají moc dobře rozpustit. Tento proces se nazývá sulfatace. Při nabíjení baterie se naopak vytváří kyselina sírová a elektrolyt houstne. Po nabití je síran olovnatý rozpuštěn a opět je na kladné desce oxid olovičitý a na záporné desce olovo.

Ve vozidlech se systémem start stop dochází k častému startování, a tak je zátěž baterie větší. Proto ve vozidlech vybavených systémem start stop najdeme spíše baterie typu AGM, které jsou na častější vysoký odběr lépe uzpůsobené a poskytují delší výdrž (okolo 400 cyklů). Oproti standartním olověným bateriím obsahují elektrolyt nasáknutý v netkané textilií, která slouží jako oddělovač desek. Baterie AGM využívají rekombinantní technologii. Kyslík produkovaný z kladných desek baterie je absorbován zápornými deskami. To zamezuje

tvorbě vodíku na záporných deskách. Rekombinace kyslíku a vodíku vytvoří vodu a udržuje tak stejné množství elektrolytu v baterii. Doplnění vody tedy není nutné. [12] [17]



Obrázek 12 Uspořádání AGM baterie

www.lightenworld.com

4.4.2. Baterie nikel metal hybrid

Mimo olovené baterie najdeme v hybridních vozech i baterie s vyšším napětím a kapacitou. Nikel metal hybridní baterie známé pod zkratkou Ni-MH nahradily starší baterie typu Ni-Cd a jsou hojně používány nejen v drobné elektronice a spotřebičích, ale i v hybridních vozech zejména japonské produkce. Jednotlivé články mají napětí 1,2 až 1,4 V. Záporná elektroda obsahuje slitinu niklu, kobaltu, hliníku a vzácných kovů vytváří při reakci s vodíkem směs hydridů. Kladná elektroda obsahuje oxid hydroxidu niklitého a elektrolyt je tvořen roztokem hydroxidu draselného. [14] [12] [15].

Díky svému složení jsou Ni-MH baterie bezpečnější než dnes používané lithiové baterie, mají však menší kapacitu v poměru k objemu i hmotnosti než právě lithiové baterie. Mezi další přednosti Ni-MH baterií patří levná výroba a poměrně dlouhá životnost, kdy jsou články schopny absolvovat 500 až 1000 dobíjecích cyklů z úplného vybití. Ni-MH článek je schopen dodávat poměrně vysoké proudy. Nevýhodou Ni-MH baterií je samovybíjení, které zvláště za pokojových a vyšších teplot může dosahovat až 30 % za měsíc [14]. Další nevýhodou baterií tohoto typu je poměrně značný pokles kapacity při nízkých teplotách, kdy zvláště při teplotách pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ klesne dostupná kapacita nabitě baterie až o 50 % [14].

Nejen tyto vlastnosti, ale i nižší objemový i hmotnostní poměr k výkonu dávají výhodu lithiovým bateriím, které jsou dnes v elektromobilech a hybridech nejpoužívanější. [15]

4.4.3. Lithiové baterie

Jak již bylo zmíněno, moderní vozidla využívají nejčastěji kompaktní a výkonné baterie na bázi lithia. Jednotlivé články pracují s napětím v rozmezí 3,7 až 4,2 voltů a ve vozech jsou skládány do větších modulů, které spojovány jak sériově, tak paralelně, aby se dosáhlo požadovaného napětí a kapacity. Články jsou schopné dodat zhruba stejný proud jako články Ni-MH, avšak lithium iontové články srovnatelného výkonu jsou výrazně menší, a to až o 40 % v porovnání s Ni-MH články [15]. Základem lithium iontových článků je lithium. Samotný lithiový kov je bohužel vysoce reaktivní se vzduchem a většinou kapalných elektrolytů. Aby se předešlo problémům s vlastnostmi lithia, používá se jako elektrolyt lithiová sůl, což je směs lithia a grafitových uhlíků. Během vybíjení se lithiové ionty uvolňují z uhlíkové anody a procházejí elektrolytem směrem ke katodě, která je z oxidu lithiového kovu. Když lithiové ionty dosáhnou katody, rychle se začlení do katodového materiálu. Tento proces je snadno reverzibilní, a právě díky rychlé reverzibilitě lithiových iontů je možné rychlejší nabíjení než u baterie olovených a Ni-MH. Anoda je nejčastěji z různých forem uhlíku, zejména uhlíkových materiálů obsahujících grafit a vodík. Pro katodu se nejčastěji setkáme se třemi typy oxidů kobaltu, niklu a manganu. Počáteční vývoj baterií využívá oxid kobaltu, který je technicky výhodnější než oxidy niklu nebo manganu. Oxid kobaltu je však nejnákladnější, oxid niklu je levnější a oxid manganu je nejméně nákladný na výrobu. [15]

U lithium-iontových baterií, ve kterých se používají katody z oxidu kobaltu, se katody v současnosti vyrábějí z hliníkové fólie s povlakem z oxidu kobaltu. Anody jsou vyráběny pomocí tenkého měděného plechu potaženého uhlíkovými materiály. Listy plechu jsou vrstveny plastovým oddělovačem, poté srolovány a umístěny do ocelové nádoby naplněné kapalným elektrolytem obsahujícím hexafluor-fosforečnan lithný. Baterie mají napětí naprázdno přibližně 4,1 V při plném nabití. Kromě potenciálu vysoce specifické energie mají lithium-iontové baterie také vynikající potenciál pro dlouhou životnost, řádově stovky až tisíce nabíjecích cyklů. [15]

Při nabíjení lithium-iontových baterií, stejně jako u baterií olovených a Ni-MH, musí být pečlivě kontrolováno, aby nedošlo k přebíjení, a tudíž i poškození baterií v podobě rozkladu elektrod nebo elektrolytů. Jako ochrana proti přebití a podbití slouží v případě baterií typu

18650 a podobným každému článku zvlášť jeho integrovaná elektronická pojistka, která kontroluje okamžité napětí a v případě potřeby rozpojí přívod či odběr proudu a zabrání tak mnohdy nevratnému poškození článků. Ačkoliv tato elektronická pojistka odebírá malé množství proudu sama o sobě, je samovybití u lithium iontových baterií malé. Pro nabíjení je stejně jako u olověných, či Ni-MH baterií je zapotřebí použít vhodnou nabíječku, která zamezí přebíjení. Protože elektrolyt v lithium-iontové baterii je nevodný, je eliminováno plynování spojené s vodným roztokem. [15]



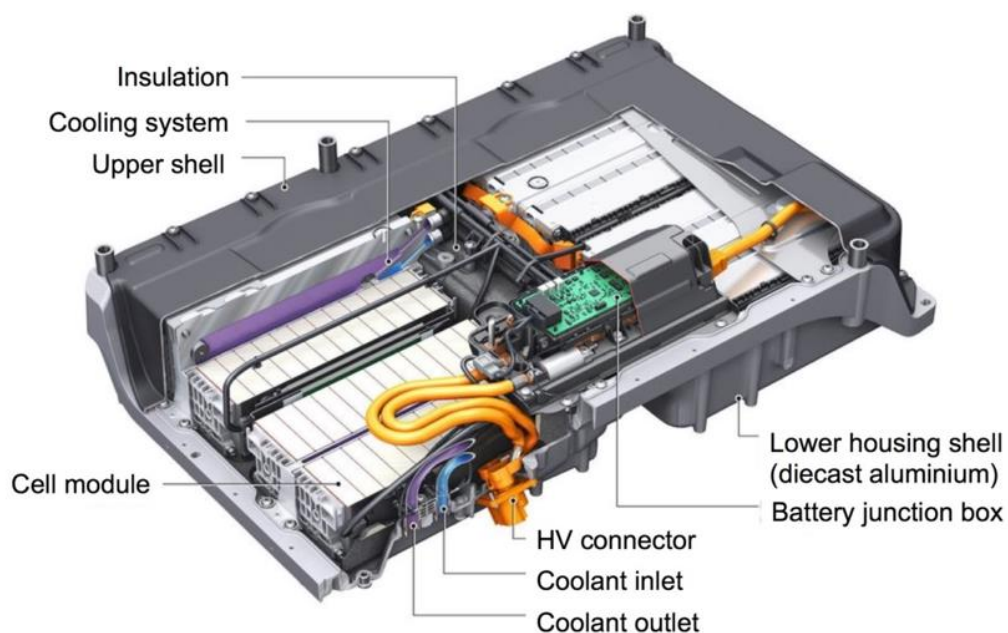
Obrázek 13 Článek typu 18650

www.battery.cz

Ačkoliv mají lithium iontové baterie spoustu pozitiv, mají také negativa. Mezi hlavní patří stárnutí baterií nejen používáním, ale i věkem. Proces stárnutí nejvíce ovlivňují stav nabití, vysoké odebírané proudy a také vysoké teploty, a tak jsou často baterie v elektrických vozech aktivně kapalinově chlazené. Skladování a dobíjení na 100 % bateriím může zkracovat životnost, proto je v mnoha vozech možnost nastavení maximálního dobíjení na 80 %, což je pro baterie ideální hodnota. Pokud jsou baterie nabíjené až do 100 %, nabíjecí stanice začnou právě od 80 % a výše snižovat dobíjecí výkon. Dalším rizikem pro baterii je hluboké vybití, kdy článek dosáhne hodnot napětí 2,8 V či méně. V takovém případě již mnohdy není možné baterii obnovit a nabít, a tak je nutné baterii vyměnit. Recyklace lithium iontových baterií je však velmi nákladný a složitý proces. [15]

Největším rizikem lithium iontových baterií je však samotné vysoce reaktivní lithium. Při zkratu, přebíjení či mechanickém poškození může dojít k překotné reakci lithia, která se

podobá hoření. Tuto reakci však nelze dobře hasit běžnými prostředky používanými složkami IZS, a tak je případný požár elektromobilu velmi nebezpečný a zatím nejúčinnější metodou hašení požáru elektrických vozidel je odpojení přívodu proudu a následné ochlazování baterií velkým množstvím vody či úplné ponoření celého vozu na několik hodin do kontejneru s vodou. Baterie je tedy nutné ochránit proti poškození. V elektrických a hybridních vozech jsou články a moduly uloženy v utěsněných silnostěnných kovových obalech, které často slouží jako výztuha vozu či přímo součást podlahy a rámu vozu. Tyto obalu umožňují bezpečné uložení baterií při případné nehodě, mohou obsahovat chladicí systémy a další citlivou elektroniku potřebnou k provozu baterií. [16]



Obrázek 14 Baterie uložené v hliníkovém obalu

www.aluminiuminsider.com

4.5. Nabíjení

Plug-in hybridní a plně elektrická vozidla již pro své plnohodnotné využití vyžadují externí nabíjení. Nejjednodušší, levné a dostupné nabíjení je možné realizovat pomocí přenosných nabíječek na 230 V, které se připojují do standardní domovní zásuvky. Výrobci tyto malé nabíječky často dodávají k vozům jako součást výbavy, nebo je nabízejí za příplatek. Výkon těchto přenosných nabíječek je limitován, aby bylo možné je použít téměř kdekoliv.

Nejčastěji dodávané nabíječky vyžadují 16-25 A jistič, výkon se pak pohybuje mezi 2 a 4 kW. Takové nabíječky jsou však pro vozy s vyšší kapacitou baterie vhodné spíše jako nouzové nebo pro pomalé nabíjení doma. Konektor pro vozidlo je nejčastěji EN 62196, známý spíše jako Mennekes Typ 2, který umožňuje přenos až 43,5 kW při tří fázovém napětí o 400 V a podléhá normě VDE-AR-E 2623-2-2. [12]



Obrázek 15 Univerzální nabíječka na 230 V s konektorem Mennekes typ 2

www.esku.cz

Větší a výkonnější nabíječky, které ovšem nejsou nepřenositelné jsou takzvané wallbox nabíjecí stanice. Jak už název napovídá, jsou tyto nabíječky určeny k montáži na zeď případně na speciální sloupkové držáky. Nabíječky již pracují se tří fázovým 400 V napětím s jističením 25-32 A, jejich výkony se pak pohybují mezi 5 a 22 kW. Takový výkon je již dostatečný pro nabíjení hybridních i elektrických vozidel během několika hodin. Konektor je opět nejčastěji Mennekes typ 2. Tyto nabíjecí stanice jsou již opatřeny bezpečnostními prvky jak fyzickými, tak softwarovými. Vozidlo je schopné s nabíječkou komunikovat a zajistit tak bezpečné nabíjení, samotné nabíjecí stanice mají často voděodolný obal umožňující i montáž venku. Wallboxy se již k vozidlu nedodávají jako standardní součást výbavy, nicméně výrobci často nabízejí tyto stanice jako příplatkový doplněk. Dobíjecí časy hybridních vozidel na těchto stanicích se pohybují od 1 do 5 hodin v závislosti na velikosti baterie. Proto jsou vhodné spíše pro nabíjení doma či v zaměstnání, občas je poskytují i obchody, domy se službami či úřady. Vozidla na trhu disponují různými typy konektorů, a tak wallboxy umístěné na veřejně dostupných místech často nemají integrovaný dobíjecí kabel, ale disponují pouze

konektorem pro připojení kabelu s vhodnou koncovkou. Tyto propojovací kabely jsou k vozidlům běžně dodávány v základní výbavě.



Obrázek 16 Wallbox nabíjecí stanice Siemens

www.smartchargeamerica.com

Nejrychlejším způsobem nabíjení čistě elektrických a plug-in hybridních vozidel jsou velké, většinou venkovní nabíjecí stojany poskytující výkon 50 až 300 kW. Stojany již mají integrované kabely a většinou disponují několika konektory pro připojení více vozidel najednou. Nabíjet je možné střídavým proudem, stejnosměrným proudem nebo oběma zároveň. Výrobci vozidel využívají dle norem v zásadě tři typy konektorů. Nejčastěji je to již zmiňovaný Mennekes typ 2, vozy hlavně japonské produkce mohou disponovat konektorem CHAdeMO, který byl vyroben právě v Japonsku a umožňuje stejnosměrné nabíjení s výkonem až 62,5 kW. Elektromobily, ale i hybridní vozidla podporující rychlé nabíjení je pak možné dobíjet pomocí konektoru typu CCS (Combined Charging System), který využívá základ konektoru Mennekes Typ 2 a je rozšířen o dvou pinový konektor pro stejnosměrný přenos. Tento kombinovaný konektor zvládne přenést výkon 50 až 350 kW.

[12]



Obrázek 17 Rychlonabíjecí stanice firmy Siemens v Praze

Výjimku tvoří elektromobily značky Tesla, které v USA využívají síť speciálních nabíjecích stanic Tesla Supercharger s konektory vlastní produkce. Vozidla exportovaná do Evropy však musí být vybavena konektorem Mennekes Typ 2. Tesla nabíjecí stojany, takzvané Tesla Superchargery, jsou v Evropě osazeny modifikovaným konektorem Typ 2, který přenese výkon až 120 kW při stejnosměrném dobíjení.

CHAdeMO 50 kW DC	CCS 50 kW DC	Typ 2 43 kW AC	Typ 2 společnosti Tesla 120 kW DC
			

Obrázek 18 Typy konektorů dostupné v Evropě

www.elektroprumysl.cz

5. Praktická část práce

5.1. Testovaná vozidla

I přes nelehkou situaci během roku 2020 a 2021 se nám k testování podařilo vypůjčit několik vozidel různých konfigurací a parametrů. Většinu z nich jsem si mohl vypůjčit díky mému zaměstnání ve firmě Siemens, což velice pomohlo ke zpracování této práce a získání mnoha cenných poznatků.

5.1.1. Lexus ES 300h

Prvním testovaným vozidlem byl Lexus ES 300h. Písmeno h v názvu značí, že se jedná o hybrid, konkrétně full hybrid. Po připojení na dostupná diagnostická zařízení se však nepodařilo dostat k požadovaným datům. Vozidlu jsme tedy nebyli schopni dostatečně přesně změřit provozní parametry. Testovací jízdy po Praze tedy spíše sloužily pro seznámení se s full hybridní technologií.



Obrázek 19 Lexus ES300h

www.autoroad.cz

Baterie vozu sice nedosahují dostatečné kapacity (1,6 kWh) pro dlouhodobou jízdu na elektřinu, avšak systém byl schopen na 100 % baterie typu Ni-Mh (34 článků, 244,8 V) dobít jízdu ze Suchdola do Dejvic. V ulici Kamýčká je na 1,5 kilometru dlouhém úseku klesání s převýšením 86 m. Pouze tento úsek stačil k dobití baterií zmiňovaného Lexusu na 100 %. V režimu „EV mode“ (plně elektrický režim) však vozidlo ujelo pouze 2-3 kilometry při rychlosti do 40 km/h. Je tedy zřejmé, že full hybridní vozidla neumožňují plně bezemisní provoz, nicméně hlavně v městském provozu dosahují dobrých úspor paliva. Lexus ES 300h pohání 2,5 litrový 4 válcový zážehový motor pracující v Atkinsonově cyklu dosahující

výkonu 131 kW, který je spojený s převodovkou e-CVT, která je osazena 88 kW elektromotorem s permanentním magnetem a planetovou převodovkou sloužící jako dělič výkonu. Spotřeba zážehových motorů s objemem přesahujícím 2 litry bývá v městském provozu vysoká, Lexus však dosahoval reálné spotřeby mezi 5 a 6 litry na 100 km, což dokazuje výhodu full hybridu zejména v městském provozu, kde je elektromotor využíván nejvíce.

5.1.2. Peugeot 3008 Hybrid 4

Dalším testovaným hybridním vozem byl Peugeot 3008 hybrid 4, který byl zapůjčen od Lukáše Hoška z Fleet Peugeot Česká republika, za což mu velmi děkuji.



Obrázek 20 Testovaný Peugeot 3008 hybrid 4

Peugeot svůj model osadil pokročilejší, plug-in hybridní technologií, která tomuto vozu propůjčila velmi zajímavé vlastnosti. Díky dvojici elektromotorů a výkonnému spalovacímu motoru je maximální kombinovaný výkon vozu 221 kW. Přepíňovaný čtyřválcový spalovací motor o objemu 1,6 litru a výkonu 147 kW je zde doplněn o dva elektromotory, první s výkonem 81 kW je mezi motorem a osmistupňovou automatickou převodovkou, druhý s výkonem 83 kW je umístěn v zadní nápravě vozu, tím obstarává pohon všech kol.

Lithium iontová baterie s využitelnou kapacitou 13,2 kWh a napětím 300 V je uložena pod zadními sedadly, nezabírá tak místo v zavazadlovém prostoru. V čistě elektrickém režimu je pak dojezd dle norem WLTP až 59 kilometrů, v reálných podmínkách byl dojezd spíše 40 kilometrů. Baterii je možné dobíjet palubní nabíječkou podporující až 7 kW zdroj přes konektor Mennekes typ 2.[5]

Přední elektromotor je integrován do osmi stupňové automatické převodovky e-EAT8 (Electric Efficient Automatic Transmission - 8 speeds) [5] a je s ní propojen přes planetový

dělič výkonu. Jedná se o asynchronní elektromotor s permanentním magnetem statoru produkující 81 kW. Zadní elektromotor stejného typu je umístěn na zadní nápravě vozu, produkuje 83 kW a obstarává pohon všech kol. V elektrickém režimu při nízké zátěži je využíván primárně zadní motor, plynule se k němu při požadavku na vyšší výkon připojí i přední elektromotor. Elektrické motory mohou vozidlo pohánět až do rychlosti 140 km/h, poté se již o pohon stará hlavně spalovací motor a přední elektromotor. Dálniční jízda je tedy možná i čistě na elektřinu. Vozidlo nabízí několik režimů pohonu, základním režimem je „Hybrid“, který upřednostňuje jízdu na baterii s inteligentním využitím i spalovacího motoru. Dalším režimem lze zcela vyřadit spalovací motor, vozidlo pak využívá jeden nebo oba elektromotory, spalovací motor se připojí až po vybití baterie nebo překročení 140 km/h. Dále je možné zvolit režim „Sport“, který využívá všechny tři motory pro maximum výkonu. Posledním režimem je „4x4“, který zajistí připojení zadního elektromotoru už od rozjezdu.

S vozidlem lze reálně ujet přibližně 40 km na elektřinu, poté se již připojí spalovací motor. Systém však nenechá baterie zcela vybit, a tak se při rozjezdech a plachtění stále připojují elektromotory, i když je dle dat palubního počítače baterie vybitá. Zejména ve městě pak elektrické rozjezdy zajišťují snížení spotřeby.

5.1.3. Volkswagen Golf GTE

Dalším testovaným vozidlem byl plug-in hybridní model oblíbeného Volkswagenu Golf sedmé generace, a to verze GTE. Golf GTE využívá modifikovanou platformu standartního modelu, která umožňuje umístění baterií pod zadní sedadla. Spalovací motor je přeplňovaný zážehový čtyř válcový o objemu 1,4 litru. Jedná se o upravený motor 1,4 TSi o výkonu 110 kW, který se v modelech Volkswagenu nabízí již několik let, v hybridních modelech má však motor upravené stěny válců pomocí nanášení materiálu plasmou a další vylepšení, která napomáhají motoru lépe odolat opotřebení při častém vypínání a startování i za vysokých provozních teplot.



Obrázek 21 Testovaný VW Golf GTE

Střídavý synchronní elektromotor s permanentním magnetem je integrovaný do šestistupňové dvouspojkové převodovky a dosahuje výkonu až 72 kW a od spalovacího motoru je oddělen třetí spojkou. Kombinovaný výkon celé soustavy je 150 kW a 350 Nm.



Obrázek 22 Motor, elektromotor a převodovka Golfu GTE

www.insideevs.com

Baterie je lithium iontová o kapacitě 8,7 kWh a pracuje s napětím 345 V, je složena z 8 modulů, celkově z 96 jednotlivých článků. Dobíjet baterii lze v provozu rekuperačním brzděním nebo pomocí režimu generátoru elektromotoru, který je pak

poháněn spalovacím motorem. Z externího zdroje pak lze nabíjet s výkonem až 3,6 kW přes konektor Mennekes typ 2 uschovaným v masce vozu.

Řidič má na výběr z několika jízdních režimů, přičemž režim „Hybrid“ je výchozí. V tomto nastavení je optimálně využita baterie, v případě potřeby vysokého výkonu či poklesu napětí baterie se automaticky a plynule připojí spalovací motor. Tento režim vhodně kombinuje oba pohony, a tak je možné s vozem ujet i stovky kilometrů, než se baterie zcela vybití. Další možností je přepnutí vozu do režimu „E-drive“, kdy je k pohonu využíván pouze elektromotor. I při sešlápnutí pedálu plynu na maximum nedojde ke startu spalovacího motoru. Tento režim je tedy vhodný například do města, kde je bezemisní provoz ideální. Další, velmi zajímavou možností je režim „Battery hold“. V tomto režimu vůz využívá baterii jen zcela minimálně, a tak nedochází k jejímu vybití jízdou například na dálnici. V tomto režimu je aktivní rekuperační brzdění, elektromotor je však využit například jen k plachtění či manipulaci s vozem na parkovišti. Režim je vhodný právě na dálniční a dlouhé přesuny mezi městy, po příjezdu do města pak můžeme vůz přepnout do elektrického režimu. Podobný režim nabízí i volba „Battery charge“. V tomto režimu vozidlo opět pohání spalovací motor, elektromotor je pak využit jako generátor, který je poháněn také spalovacím motorem. Cílem tohoto režimu, jak je již z názvu patrné, je nabít baterii co možná nejrychleji. Nevýhodou tohoto režimu je bezpochyby vysoká spotřeba benzínu. Poslední volitelný režim lze aktivovat stisknutím tlačítka „GTE“. Stiskem tlačítka je aktivován sportovní režim, který využívá maximum výkonu obou motorů a zajistí vozu rychlou akceleraci. Ve všech režimech lze aktivovat rekuperační brzdění, a to přesunutím voliče automatické převodovky do polohy „B“.



Obrázek 23 Volič automatické převodovky s možností volby rekuperačního brzdění „B“

Jelikož je model Golf v Evropě velmi oblíbený, nabízí čistě elektrickou verzi a srovnatelnou spalovací verzi, byl Golf GTE vybrán jako hlavní testovaný vůz v této práci a jeho jízdní data a parametry budou blíže zkoumány.

5.1.4. Volkswagen e-Golf

Ačkoliv je cílem mé práce porovnávat hybridní vozidla s vozy se spalovacími motory, bylo pro srovnání vhodné otestovat i čistě elektrická vozidla. Jedním z nich byl Volkswagen e-Golf.



Obrázek 24 Testovaný VW e-Golf

Vozidlo je postavené na modifikované platformě a opět má baterie uložené v podlaze, konkrétně do tvaru písmene T. Baterie je lithium iontová pracující s napětím 323 V a poskytuje kapacitu 32 kWh, skládá se z 264 článků v 88 sériově zapojených modulech a váží 318 kg. Vozidlo má poháněnou přední nápravu, a to pomocí kapalinou chlazeného synchronního elektromotoru s permanentním magnetem o výkonu 100 kW. Dle WLTP je dojezd vozu 231 km, během testů se podařilo ujet kolem 190 km, nutno ovšem dodat, že testované vozidlo bylo roku výroby 2018 a mělo najeto 99 tisíc kilometrů. K nabití vozu lze využít střídavé napětí a konektor Mennekes Typ 2, kdy je možné dobít výkonem až 7,2 kW, další možností je pak využití stejnosměrného dobíjení přes konektor CCS. V takovém případě je možné dobít výkonem až 40 kW.



Obrázek 25 Konektor Mennekes Typ 2 respektive konektor CCS combo v e-Golfu

Uživatelsky se od výše zmíněného Golfu GTE příliš neliší, rozdílné jsou jen ukazatele sdružených přístrojů, kde oproti Golfu GTE chybí otáčkoměr spalovacího motoru. Stejně jako v hybridním modelu si může řidič zvolit několik jízdních režimů a také úroveň rekuperačního brzdění pomocí voliče převodovky. Nabízené jízdní režimy se však liší, základním režimem je „Normal“, který poskytuje maximální výkon, rekuperační brzdění je velmi slabé a dá se zesílit voličem v poloze „B“. Dále je možné zvolit režim „EKO“, který lehce zpomalí reakci na sešlápnutí pedálu plynu a více nechává vůz plachtit. Třetím režimem je „EKO plus“, kdy je omezený výkon, reakce na sešlápnutí pedálu plynu jsou velmi pozvolné a cílem je co nejnižší spotřeba energie. Testovací okruh byl absolvován v režimu „Normal“.

5.1.5. Volkswagen ID.3

Ačkoliv se jedná o zcela nový model značky, podařilo se na testování zapůjčit i vůz VW ID.3, který v produkci nahrazuje model e-Golf. Jedná se o čistě elektrický vůz na speciální platformě MEB vyvinuté pro elektrická vozidla. Díky tomu model ID.3 nabízí baterie s kapacitou až 77 kWh. Testovaný kus měl lithium iontové baterie s kapacitou 58 kWh pracující s napětím 408 V. Střídavým nabíjením přes konektor Mennekes Typ 2 lze dodávat výkon až 7 kW, stejnosměrným nabíjením přes konektor CCS pak lze využít až 100 kW nabíjecího výkonu. O pohon vozu se stará synchronní motor s permanentními magnety, který je umístěn na zadní nápravě pohánící zadní kola. Poskytuje výkon 150 kW a

310 Nm. I v případě modelu ID.3 má řidič možnost výběru jízdních režimů. Na výběr je režim „EKO“, Normal“ a „Sport“. Test vozu byl prováděn v režimu „Normal“. Rekuperační brzdění lze zvolit překlopením volče převodovky do polohy „B“, stejně jako u modelů Golf.



Obrázek 26 Testovaný VW ID.3

Dojezd vozu je dle metodiky WLTP s 58 kWh baterií až 420 km, během testování se však reálný dojezd blížil spíše 250 km. Nutno dodat, že testy vozu probíhaly za nepřízně počasí a denní teploty se pohybovaly mezi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, což jednoznačně negativně dojezd vozu ovlivnilo. Test byl však přínosný, jelikož ukázal vliv nízkých teplot na provozní parametry hybridních a elektrických vozidel, jelikož byl reálný dojezd nižší, než bylo očekáváno. U vozidla byly z důvodu vyšší spotřeby energie provedeny dva testy. První test proběhl 10.2. 2021 v dopoledních hodinách, kdy vozidlo přijelo po ose z místa zapůjčení, a tak byly baterie již ohřáté. Vozidlo bylo po testech nabito a odstaveno do rána následujícího dne venku v areálu školy, kdy se noční teplota dostala až na $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Druhý den brzy ráno byl proveden druhý test se studenými bateriemi a opět byla zaznamenána spotřeba vozu. Výsledky měření jsou v kapitole Zhodnocení výsledků.

5.1.6. Hyundai Kona Electric

Dalším testovaným čistě elektrickým vozem byl Hyundai Kona. Model Kona byl vyvíjen již se záměrem elektrifikace, a tak model nabízí na svou třídu velké baterie s kapacitou až 64 kWh. Lithium iontová baterie pracuje s napětím 356 V a skládá se z 96 modulů. Poháněná je pouze přední náprava, a to kapalinou chlazeným synchronním motorem s permanentními magnety, který poskytuje výkon 150 kW a 310 Nm. Dle WLTP je dojezd 484 km, během testování byl reálný dojezd kolem 420 km. Nabíjení lze provádět přes konektory Mennekes Typ 2 či CCS combo umístěné v masce vozu, palubní nabíječka umožní střídavé dobíjení výkonem až 7,2 kW, stejnosměrné dobíjení je možné výkonem až 72 kW.

K dobré spotřebě energie a dlouhým dojezdům bezesporu napomáhá i propracovaný systém automatické rekuperace se 4 volitelnými stupni síly brzdění. Vozidlo disponuje řadou asistenčních systémů, mimo jiné i adaptivním tempomatem, jehož radar je využit právě k automatickému rekuperačnímu brzdění při jízdě. Vozidlo si automaticky udržuje odstup od vozidla před sebou v závislosti na rychlosti obou vozů. Sílu brzdění či manuální silné brzdění až do zastavení vozu může řidič regulovat pomocí „pádel“ pod volantem, přičemž jde rekuperace zcela vypnout. Tuto funkci hodnotím jako velmi intuitivní a napomáhající vozu snižovat spotřebu energie.



Obrázek 27 Testovaný Hyundai Kona Electric

5.1.7. Mercedes Benz EQC 400

Bezesporu největším testovaným vozem byl elektrický Mercedes Benz EQC 400. O pohon vozu se starají dva asynchronní elektromotory s permanentním magnetem, jeden umístěn na přední, druhý na zadní nápravě. Kombinovaný výkon obou elektromotorů je až 300 kW. Kapalinou chlazená lithium iontová baterie uložená v podlaze má kapacitu 80 kWh, je složená z 384 článků a váží 650 kg. Dojezd vozu dle WLTP je 417 km, během testování byl reálný dojezd kolem 350 km. Nabíjení je možné pomocí 7,2 kW palubní nabíječky přes konektor Mennekes Typ 2 nebo přes konektor CCS Combo, kde je možné dobíjet výkonem až 110 kW. Ačkoliv se jedná o velké SUV s váhou bezmála 2500 kg, jízdní dynamika je díky dvojici elektromotorů až překvapivá. Navzdory vysokému výkonu a hmotnosti je však možné udržet spotřebu pod 20 kWh/100 km mimo jiné i díky inteligentním asistenčním systémům vozu. Při nízké zátěži a běžném provozu je využíván především přední elektromotor, zadní se připojí při prokluzu předních kol nebo při potřebě vysokého výkonu. EQC využívá radar k dodržení odstupů od vozidla před sebou a pokud je potřeba, automaticky rekuperačně brzdí. Řidič má na výběr ze tří jízdních režimů „EKO“, „Comfort“ a „Sport“. Režim „EKO“ preferuje plachtění vozu, sníží výkon a zpomalí odezvu na sešlápnutí pedálu plynu. Režim „Comfort“ je vhodný na běžné cestování a tomto režimu byla také absolvována testovací trasa. Přepnutím do režimu „Sport“ se naopak využívá maximum výkonu, reakce na pokyny řidiče jsou rychlejší, spotřeba energie však výrazně vzroste.



Obrázek 28 Testovaný Mercedes Benz EQC 400

5.2. Přístrojové vybavení

Během testování jednotlivých vozidel bylo použito několik diagnostických přístrojů. Pro komunikaci s řídicími jednotkami vozidel a následný zápis a uložení získaných dat byla především využita zařízení TEXA, VAG-COM a BOSCH, pro záznam přesné polohy byl využit GPS přijímač. Zpracování dat bylo prováděno na počítačích technické fakulty a osobních počítačích.

5.2.1. TEXA diagnostika

Použitá TEXA TXTs je univerzální více značková jednotka umožňující sériovou diagnostiku vozidel. Další funkcí je monitorování, následný zápis a vyhodnocení sledovaných dat v reálném čase, což umožňuje čtení dat i za jízdy vozidla. Diagnostiku lze použít na osobní vozidla vybavena zásuvkou OBD, touto zásuvkou disponují evropská vozidla od roku 2000, americká vozidla již od poloviny roku 1996. Diagnostika je tedy připojena do zásuvky OBD, ke čtecímu zařízení (v našem případě PC) je poté připojena bezdrátově pomocí Bluetooth.



Obrázek 29 Diagnostika TEXA

www.diagnostika-texa.cz

5.2.2. Diagnostický systém VAG-COM (HexCAN-V2)

Dalším použitým diagnostickým nástrojem bylo zařízení HEX-CAN, které komunikuje s vozidly koncernu VAG (VW, Audi, Škoda, Seat) pomocí speciálního rozhraní spolupracujícím s počítačovým programem VAG-COM, který je určený pro sériovou diagnostiku vozidel. Program umožňuje zobrazovat, ukládat a porovnat okamžité hodnoty provozních parametrů po připojení k příslušné řídicí jednotce vozidla. Tento program umožňuje díky svému úzkému zaměření zobrazovat širokou škálu přesných dat, a proto bylo jeho použití v této práci velmi přínosné.



Obrázek 30 Připojené zařízení HEX-CAN v testovaném Golfu GTE

5.2.3. BOSCH KTS 590

Posledním použitým diagnostickým zařízením byla jednotka Bosch KTS 590, která umožňuje kontrolu, diagnostiku, vyhledávání a odstraňování závad řídicích jednotek nejen motorů, ale i jednotek ABS, ESP, automatických převodovek, komfortních systémů a dalších. Při použití zařízení se softwarem ESI-Tronic je pak možné na voze provádět mnoho diagnostických úkonů, jako například čtení a mazání paměti závad, sledování měřených hodnot, testování akčních členů, reset servisních intervalů a celková komunikace s jednotkami EOBD. Další výbavou jednotky KTS 590 je integrovaný dvoukanálový

osciloskop a multimetr pro měření napětí, proudu a odporu. Software lze spustit na PC a připojení je možné přes USB kabel nebo bezdrátově přes Bluetooth.



Obrázek 31 Diagnostická jednotka BOSCH KTS 590

www.wmvybaveni.cz

5.2.4. GPS Garmin

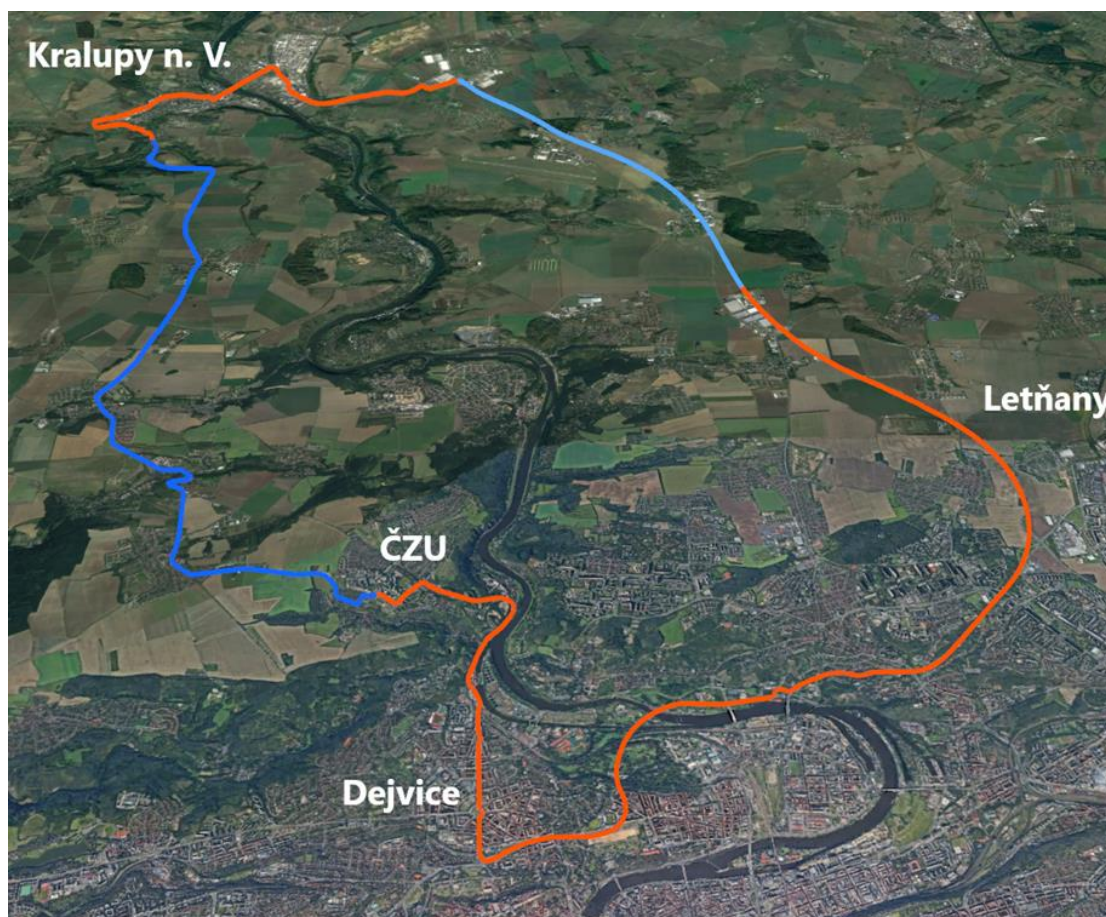
Pro záznam přesné aktuální polohy vozidel byl využit satelitní přijímač Garmin GPS-18x USB a v prostředí ControlWeb byla vytvořena aplikace pro záznam okamžitých hodnot z Garmin GPS. Anténa přijímače byla umístěna na střechu vozidla, aby bylo dosaženo co nejlepšího signálu.



Obrázek 32 Umístění antény na střechu testovaného vozu

5.3. Testovací trasa

Volba testovací trasy byla ovlivněna předpisem pro homologaci vozidel World Harmonized Light-duty Procedure – WLTP, hlavně částí zabývajících se emisemi v reálném provozu Real Driving Emissions – RDE. Aby trasa alespoň částečně odpovídala předpisům WLTP, bylo zapotřebí zvolit trasu obsahující městský, mimoměstský a dálniční úsek. Trasa musí dále splňovat správné převýšení, dosahované rychlosti, časové rozložení, klimatické podmínky a další předpoklady. Jako testovací trasa byla nakonec zvolena trasa z areálu ČZU přes Kralupy nad Vltavou přes dálnici do Prahy a zpět do areálu ČZU. Výsledná trasa měří 56,1 km a při každém testu byla absolvována oběma směry. První směr byl nazván Trasa 1, druhý pak Trasa 2. Na obrázku je znázorněna celá testovací trasa. Oranžové části značí městský provoz, tmavě modrá část značí mimoměstský provoz a světle modrá část značí úsek dálniční.



Obrázek 33 Znáznorněná testovací trasa

5.4. Provozní náklady

Ekologie a emise CO₂ jsou asi nejsledovanějšími parametry vozidel z pohledu norem, nařízení a výrobců. Co ale běžní uživatelé a firmy řeší nejvíce jsou provozní náklady. Hybridní a elektrická vozidla by měla nabízet nejen ekologičtější, ale také levnější osobní dopravu. Na nákup elektromobilu či hybridu v České republice zatím nejsou žádné automatické bonusy ze strany státu, existuje ovšem možnost požádat o dotaci. Ať už se jedná o nabíječky, zázemí či samotný elektromobil, firmy i soukromé osoby mohou zažádat o dotaci, která se může pohybovat až ve stovkách tisíc korun. Ačkoliv není žádný oficiální podpůrný program, velké firmy zaměstnanci na pořízení služebního automobilu často navýší limit, respektive přispějí zaměstnanci mnohdy až stovky tisíc korun. Elektrická, ale i hybridní vozidla jsou však dražší než srovnatelná vozidla s konvenčním pohonem. Porovnáme-li například model Volkswagen Golf 1,5 TSI, GTE a e-Golf z roku 2018, náklady na pořízení jednotlivých variant se od sebe podstatně liší. Viz tabulka 2 níže.

Model	Motorizace	Základní cena
Golf	1,5 TSI DSG ACT	567 000 Kč
Golf GTE	1,4 TSI DSG + elektro	1 025 000 Kč
e-Golf	Elektro	969 000

Tabulka 2 Pořizovací ceny základních verzí v roce 2018

V roce 2018 udělal motoristický magazín fDrive.cz test všech tří modelů a porovnal spotřebu a náklady na ujetý kilometr. Trasa 91 km dlouhá obsahovala městskou část, meziměstskou část a dálnici. Měření bylo realizováno dotankováním a dobitím před a po testu, a to na stejné čerpací, respektive dobíjecí stanici. Měření proběhlo ve stejný den, za běžného provozu při dodržování platných rychlostních limitů. Výsledky měření všech tří vozidel jsou v následující tabulce.

VW Golf 1,5 TSI	
Ujeto	91 km
Průměrná rychlost	56 km/h
Čas	1:26 hodin
Spotřeba dle PC	5,0 l / 100 km
Dotankováno	5,02 l za 155 Kč
Náklady na 1 km	1,70 Kč

VW Golf GTE	
Ujeto	91 km
Průměrná rychlost	62 km/h
Čas	1:27 hodin
Spotřeba dle PC	4,6 l / 100 km a 1,7 kWh / 100 km
Dotankováno	2,57 l za 81 Kč
Nabito	2,17 kWh za 8,68 Kč (4 Kč / kWh)
Náklady na 1 km	0,98 Kč

VW e-Golf	
Ujeto	92 km
Průměrná rychlost	57 km/h
Čas	1:37 hodin
Spotřeba dle PC	13,1 kWh
Nabito	13,1 kWh za 52,4 Kč (4 Kč / kWh)
Náklady na 1 km	0,57 Kč

Tabulka 3 Výsledky testu magazínu fDrive

Z výsledků je patrné, že čistě elektrický e-Golf je nejúspornější s cenou 0,57 Kč za každý ujetý kilometr, druhý Golf GTE s cenou 0,98 Kč za každý ujetý kilometr a nakonec Golf 1,5 TSI s cenou 1,70 Kč za každý ujetý kilometr. Ačkoliv je kilometr spalovacího Golfu nejdražší, pořizovací cena je však výrazně nižší. Porovnáme-li e-Golf s cenou 969 000 Kč a standartní Golf s cenou 567 000 Kč je rozdíl pořizovacích cen 402 000 Kč a rozdíl nákladů na ujetý kilometr je 1,13 Kč. Úsporou nákladů na ujetý kilometr by se rozdíl ceny dorovnal po ujetí 355 752 kilometrů. V případě Golfu GTE je tato vzdálenost pak 636 111 kilometrů. Provoz vozidla však zahrnuje i další výdaje než jen palivo. Elektrická a hybridní vozidla, která splní limit 50 g CO₂ na kilometr a získají značku „EL“ jsou osvobozena od poplatku za dálnice a také od silniční daně. Další výhodou může být i neomezené parkování v parkovacích zónách v Praze. Velké rozdíly cen se také projeví v případě garančních prohlídek a servisních úkonů, kdy mají elektrická vozidla výhodu díky jednoduchosti pohonné soustavy, hybridní vozidla jsou naopak komplexnější. Díky zaměstnání

v autoparku firmy Siemens jsem měl možnost získat výpis servisní historie, a tedy i servisní náklady Golfu 1,5 TSI, Golfu GTE za 60, v případě e-Golfu za 90 tisíc kilometrů a 2 roky.

Golf 1,5 TSI			
Datum	Stav tachometru [km]	Úkon	Cena [Kč]
13.2.2019	10	Doplnění - Palivo	1807,97
26.2.2019	14	Kola - Pneu - 4 ks 205/55 R16	10603
20.5.2019	6 455	Kola - Komplet - Výměna na letní + Uložení zimních	703
23.10.2019	27 052	Kola - Komplet - Výměna na zimní + Uložení letních, Prohlídka - 30.000 km	3633
10.6.2020	46 013	Kola - Pneu - Výměna na letní + Uložení zimních	1750
10.11.2020	58 151	Prohlídka - 60.000 km, svíčky, pyl. filtr, 3x stíratka, výměna kol	7464
		Celkem	25 960,97

Tabulka 4 Provozní náklady Golfu 1,5 TSI

Golf GTE			
Datum	Stav tachometru [km]	Úkon	Cena [Kč]
19.7.2018	19	Doplnění - Palivo, EKO plaketa	1466,51
16.10.2018	6 265	Kola - Pneu - Zimní - 4 ks, 225/45/17 Dunlop	18919,68
24.1.2019	16 010	Prohlídka - 15.000 km	2509,29
22.5.2019	24 265	Kola - Pneu - Výměna na letní + Uložení zimních	2592,04
9.7.2019	31 899	Prohlídka - Výměna oleje	2322,32
6.11.2019	37 843	Kola - Komplet - Výměna na zimní + Uložení letních	1007,66

22.1.2020	44 905	Prohlídka - Výměna oleje, dopl.kap.	2775,76
28.5.2020	49 672	Kola - Pneu - Výměna na letní + Uložení zimních	1007,66
14.10.2020	60 009	Prohlídka - 60.000 km, DSG, svíčky, kapal	9551,71
23.10.2020	59 912	Kola - Pneu - Výměna na zimní + Uložení letních	1270,05
20.4.2021	74 717	Prohlídka - Výměna oleje, BF, kapaliny	3500
		Celkem	46 922,68

Tabulka 5 Provozní náklady Golfu GTE

e-Golf			
Datum	Stav tachometru [km]	Úkon	Cena [Kč]
21.2.2019	31.275	Servis 30.000km, pyl. filtr + dez. Klimatizace	5500
12.6.2019	48.833	Vozidlo na garanční opravě	0
15.8.2019	57.926	1XL 205/55 R16 91Q Bridgestone pošk. 4mm	3000
30.8.2019	61.149	Servis 60.000km, pyl. filtr, dez. klima., přední stírátko	4500
12.4.2020	75.358	Kola - Pneu - 4 ks 205/55 R16	11150
30.7.2020	91.038	Prohlídka, des.AC FM: diagnostika- závada jízdních asistentů-špatné nakódování TZ	4000
		Celkem	28 150

Tabulka 6 Provozní náklady e-Golfu

V tabulkách 4,5 a 6 lze vidět náklady na provoz jednotlivých vozidel. Nejnižší náklady na provoz má i tentokrát e-Golf s částkou 28 150 Kč na 91 000 kilometrů. Pokud bychom brali v úvahu vzdálenost pro všechny vozy stejnou, tedy 60 000 kilometrů, dostali bychom se na

částku 13 000 Kč. V případě Golfu GTE jsou data trochu zkreslena uskladněním pneumatik. Za 74 000 kilometrů firma zaplatila 46 922,68 Kč, při 60 000 km byly náklady přibližně 43 400 Kč. Automobil s konvenčním spalovacím motorem pak firmu vyšel na 25 960,97 Kč za 60 000 kilometrů. Z přehledu nákladů se tedy potvrzuje, že jednoduchost pohonné soustavy elektromobilů může snížit provozní náklady až o 50 %. Kdybychom uvažovali životnost vozidla 150 000 kilometrů, byly by provozní náklady na e-Golf přibližně 40 000 Kč, na Golf 1,5 TSI přibližně 70 000 Kč. S vyšším nájezdem kilometrů by se rozdíl mezi vozidly dále prohluboval, a to díky nutné výměně rozvodového řemene, vodní pumpy, brzd a dalších dílů na spalovacím motoru.

Ačkoliv jsou provozní náklady i náklady na ujetý kilometr v případě elektrického vozidla nižší, pořizovací cena takového vozu je však stále natolik vysoká, že se v konečném výsledku úspora oproti konvenčně poháněnému vozu projeví až za stovky tisíc kilometrů. Z finančního hlediska jsou tak vozidla s konvenčním pohonem stále výhodnější.

6. Zhodnocení výsledků

V následující kapitole jsou prezentovány výsledky testů všech měřených vozidel. Jak již bylo zmíněno, díky své univerzálnosti a porovnatelnosti byl jako hlavní sledovaný vůz vybrán Volkswagen Golf GTE plug-in hybrid. Podrobnou analýzu provozních dat tohoto vozu obsahuje kapitola 6.2.

6.1. Výsledky měření

Během roku 2020 a 2021 bylo otestováno 7 vozidel, ačkoliv pouze u 6 vozidel se podařilo získat potřebná data. U Lexusu ES 300h se zřejmě kvůli neaktualizované diagnostice nepodařilo navázat komunikaci s řídicími jednotkami. Zbýlých 6 vozidel však bylo možné připojit a následně sledovat i provozní parametry během jízdy po testovací trase. Ze 6 testovaných vozidel byla 2 vozidla hybridní a 4 plně elektrická. Výsledky jednotlivých vozidel jsou zapsané níže, v tabulce 7 jsou pak přehledně zanesené výsledky testů všech vozidel.

6.1.1. Peugeot 3008 hybrid 4

První testovaný hybrid byl Peugeot 3008 Hybrid 4. Test proběhl 18.8.2020 v 10:00. V průběhu testu bylo slunečné počasí a teplota byla 25 °C. Test byl absolvován v jízdním režimu „Hybrid“ a ve voze byly 2 osoby. Systém vozu využíval všechny tři dostupné motory dle potřeby, rozjezdy, plachtění a pomalou městskou jízdu obstarával jeden nebo oba elektromotory, při stoupáních a dálniční jízdě pracoval spíše spalovací motor. Brzdění bylo téměř výhradně realizováno rekuperací. První okruh směrem z ČŽU přes Kralupy n. Vltavou přes D8 zpět do Prahy trval 1 hodinu a 6 minut, ujetu 58 km. Po tomto okruhu byla průměrná spotřeba 4,1 l /100 km a 8,3 kWh /100 km. Stejný okruh opačným směrem byl absolvován v 11:40 za stejného počasí, nastavení a obsazení vozu. Jízda trvala 1 hodinu a 20 minut a ujetu bylo 59 km. Na dálnici D8 směr z Prahy byla dopravní kongesce, z čehož vzniklo zdržení v délce zhruba 8 minut. Výsledná průměrná spotřeba po projetí trasy oběma směry byla 4,9 l / 100 km a 7,2 kWh / 100 km, průměrná rychlost byla 40 km/h.

6.1.2. Volkswagen Golf GTE

Další testovaný hybrid byl Volkswagen Golf GTE. Jeho test proběhl 11.6.2020 v 10:00. V průběhu testu bylo zataženo a teplota byla 17 °C. Test byl absolvován v jízdním režimu „Hybrid“ a ve voze byly 2 osoby. V hybridním režimu systém ideálně využívá oba motory, preferován je však elektromotor. Spalovací motor byl využit hlavně na dálnici a při

stoupáních. Brzdění obstarávala rekuperace. Oba průjezdy testovací trasy se obešly bez dopravních komplikací. Výsledná spotřeba po projetí testovací trasy oběma směry byla 3,9 l/100 km a 2,2 kWh / 100 km, průměrná rychlost byla 48 km/h.

6.1.3. Volkswagen e-Golf

Jeden z testovaných elektromobilů byl Volkswagen e-Golf. Test vozu proběhl 6.10.2020 v 9:00. V průběhu testu bylo zataženo s občasnými přeháňkami a teplota byla 12 °C. Test byl absolvován v jízdním režimu „Normal“ a ve voze byly 2 osoby. Brzdění obstarávala rekuperace. První okruh směrem ČZU – Kralupy n. Vltavou – D8 – Praha trval 1 hodnu a 10 minut a ujetu bylo 58 km. Spotřeba po tomto okruhu byla 11,8 kWh / 100 km. Druhý průjezd trasy opačným směrem byl v 10:30, trval 1 hodinu a 15 minut a ujetu bylo 59 km. Oba průjezdy byly bez dopravních komplikací. Výsledná spotřeba po projetí trasy oběma směry byla 11,9 kWh / 100 km, průměrná rychlost byla 42 km/h.

6.1.4. Hyundai Kona Electric

Dalším z testovaných elektromobilů byl i Hyundai Kona Electric. Test vozu proběhl 25.8.2020 v 10:00. Během testu bylo slunečné počasí a teplota dosahovala 23 °C. Test proběhl v režimu „Normal“ a brzdění bylo realizováno automatickou či manuálně nastavitelnou rekuperací, v autě byly dvě osoby. První průjezd trasy vedl z ČZU přes Kralupy n. Vltavou přes D8 do Prahy. V Kralupech probíhaly stavební práce, které způsobily popojíždění v koloně vozidel a zdržení přibližně 10 minut. Po této části testu byla průměrná spotřeba 12,5 kWh / 100 km. Na trasu v opačném směru vozidlo vyrazilo v 11:37. Okruh trval 1 hodnu a 27 minut, ujetu bylo 58 km. Na dálnici D8 na výjezdu z Prahy však byla dopravní kongesce, která způsobila zdržení okolo 10 minut, zbytek trasy byl již bez komplikací. Výsledná spotřeba vozu po obou průjezdech trasy byla 12,2 kWh / 100 km, průměrná rychlost byla 45 km/h.

6.1.5. Mercedes Benz EQC 400

V průběhu roku 2020 byl také otestován elektrický Mercedes Benz EQC 400. Jeho test proběhl 3.6.2020 v 10:00, počasí bylo slunečné a teplota se pohybovala okolo 20 °C. Během testu byl zvolený jízdní režim „Comfort“, brzdění obstarávala automatická rekuperace a ve voze byly dvě osoby. První průjezd směrem na Kralupy n. Vltavou se odehrál bez dopravních potíží, okruh trval 1 hodinu a 19 minut, ujetu bylo 57 km. Spotřeba se po tomto kole ustálila na hodnotě 19,4 kWh / 100 km. Druhý okruh směrem ČZU – Praha – D8 – Kralupy n.

Vltavou se také odehrál bez dopravních komplikací. Projet trasu opačným směrem trvalo 1 hodinu a 10 minut, ujeté bylo 58 km. Výsledná spotřeba po projetí trasy oběma směry byla 20,5 kWh/100 km, průměrná rychlost byla 45 km/h.

6.1.6. Volkswagen ID.3

Posledním testovaným vozidlem byl elektrický Volkswagen ID.3. Jeho test proběhl 10.2.2021 dopoledne a 11.2.2021 ráno. Únorové počasí přineslo velmi nízké teploty, které dosahovaly až -10 °C. Vozidlo bylo během testu v jízdním režimu „Normal“, ve voze byly dvě osoby a brzdění obstarávala rekuperace. První test proběhl v 11:30, kdy se teplota držela okolo -10 °C. Z důvodu přejezdu vozu do areálu ČZU z druhé strany Prahy byly baterie a celé vozidlo ohřáté. První průjezd trasy směrem na Kralupy n. Vltavou proběhl bez dopravních komplikací, test trval 1 hodinu a ujeté bylo 58 km. Spotřeba se po tomto průjezdu ustálila na hodnotě 22,6 kWh / 100 km. Průjezd trasy druhým směrem trval 1 hodinu a 5 minut, ujeté bylo 57 km. Výsledná spotřeba po projetí trasy oběma směry byla 22,4 kWh / 100 km, průměrná rychlost pak byla 47 km/h. Výsledné hodnoty se na rozdíl od ostatních vozidel výrazně lišily od hodnot udaných výrobcem.

Abychom potvrdili vliv nízkých teplot na vysokou spotřebu energie, byl proveden druhý test. Test proběhl následující den ráno, vozidlo bylo přes noc zaparkováno venku, v areálu ČZU, aby byly baterie studené. První průjezd trasy směrem na Kralupy n. Vltavou trval 1 hodinu a 10 minut, ujeté bylo 58 km. Prvních přibližně 15 kilometrů dosahovala průměrná spotřeba hodnot před 40 kWh / 100 km, po projetí celé trasy se spotřeba ustálila na hodnotě 26,3 kWh / 100 km. Vysoká spotřeba v první části trasy byla nejspíše způsobena vytápěním vozu a baterií. Průjezd trasy druhým směrem se také obešel bez dopravních komplikací, trval 1 hodinu a 10 minut, ujeté bylo 58 km. Výsledná průměrná spotřeba po projetí trasy oběma směry byla 22,8 kWh / 100 km.

Hodnota průměrné spotřeby udávaná výrobcem dle WLTP je 16,1 kWh / 100 km. V testech vyšla spotřeba o 39, respektive 41 % vyšší, než udává výrobce. Takto velký rozdíl spotřeby energie byl s největší pravděpodobností způsobený nízkými teplotami a nutností vytápění kabiny a baterií.

V následující tabulce jsou přehledně zaneseny výsledky všech testovaných vozidel. V tabulce jsou zadány spotřeby vozidel udávané výrobcem, spotřeby změřené, průměrné rychlosti, datum a venkovní teplota.

Vozidlo	Udávaná spotřeba na 100 km	Průměrná spotřeba během testu kWh/100 km	Průměrná rychlost km/h	Datum	Venkovní teplota °C
Hyundai Kona	14,7 kWh	12,2	45	25.8.2020	23
Mercedes EQC	21,5 kWh	20,5	45	3.6.2020	19
Peugeot 3008 H 4	1.5 l	8.3 kWh + 4.1 l benzínu	40	18.8.2020	24
VW e-Golf	12.7 kWh	11,9	42	6.10.2020	12
VW Golf GTE hybrid	12 kWh	2.2 kWh + 3.9 l benzínu	48	11.6.2020	19
VW ID3	16,1 kWh	22,4	47	11.2.2021	-10

Tabulka 7 Přehled výsledků testů všech vozidel

6.2. Provozní parametry Volkswagenu Golf GTE

Testovaným vozidlům byla pomocí diagnostických zařízení sledována provozní data v průběhu jízd. Volkswagen Golf GTE byl připojen pomocí diagnostického zařízení VAG-COM Hex V2. Sledovány byly různé parametry jako jsou: rychlost vozidla, otáčky obou motorů, napětí hybridního akumulátoru, nabíjecí a odebíraný proud hybridního akumulátoru, napětí a proud elektromotoru. Aby bylo možné určit, k jakému úseku trasy daná data korespondují, byla spárována podle přesného času se záznamy z GPS přijímače. Tímto způsobem bylo možné vytvořit soubor dat určených přesným časem. Pro zobrazení dat v mapě, byl vytvořen soubor GPS souřadnic zapsaných po 10 sekundách s časovými značkami. Tento soubor je možné prohlížet například v mapovém prohlížeči a editoru Google Earth.

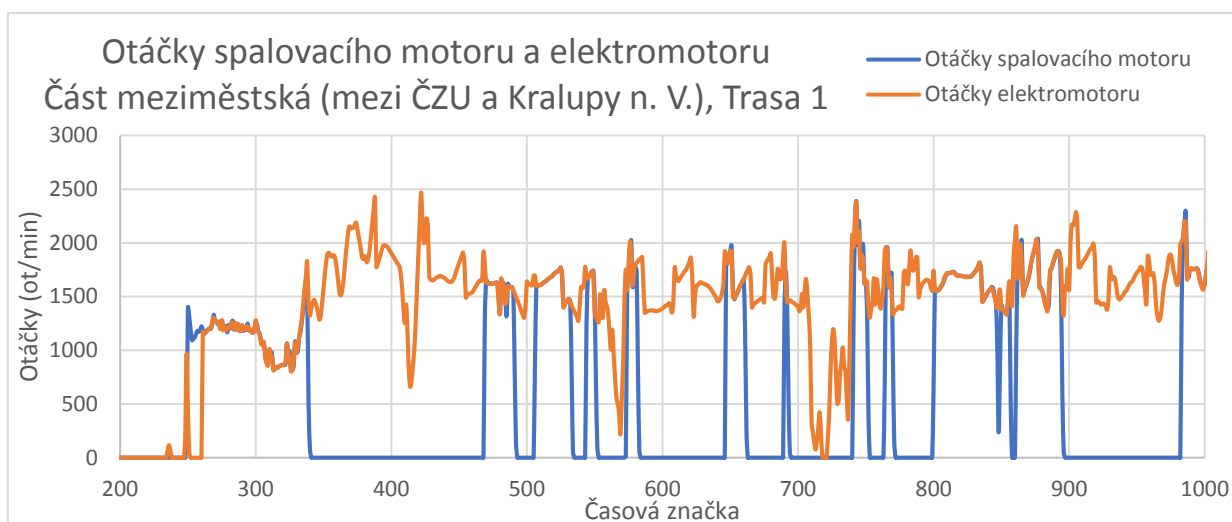


Obrázek 34 Mapa se zobrazenými časovými značkami trasy

Získaná data byla zpracována do tabulky, kde je možné data dále zkoumat a vytvářet grafy, které pomohou s lepší vizualizací procesů ve vozidle.

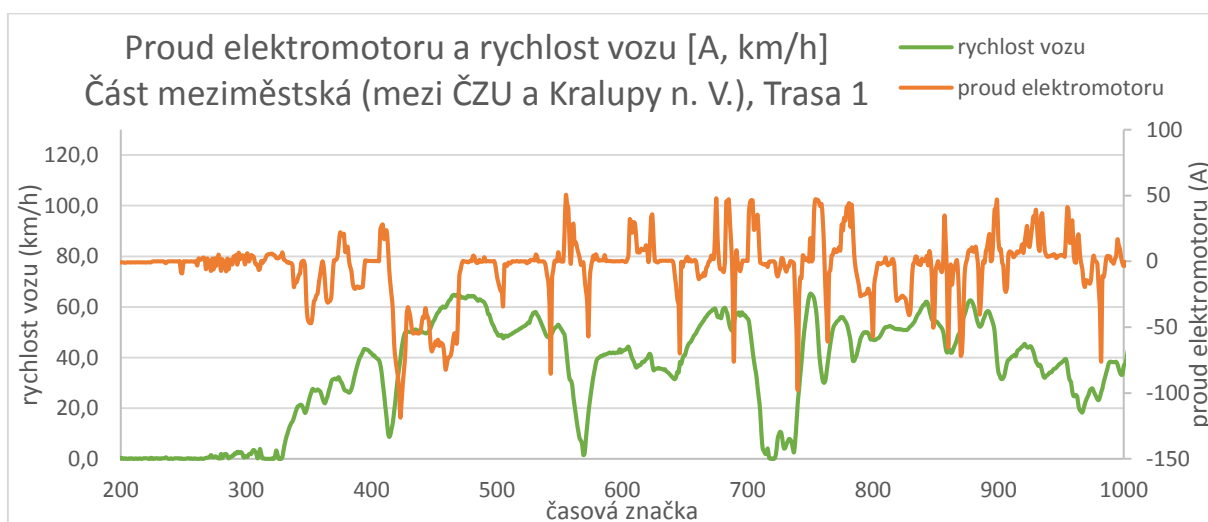
6.2.1. Spolupráce spalovacího motoru a elektromotoru

V následujících grafech jsou provozní parametry vozu v první části testu. V grafu 1 jsou zobrazeny otáčky spalovacího motoru, a tedy i jeho zapojení do pohonu vozu. Graf ukazuje časový úsek 200 až 1000 sekund. V tomto čase se vůz pohyboval od areálu ČZU do Horoměřic dále po silnici číslo 240 přes Velké Přílepy a Tursko až do Kralup nad Vltavou. Tento úsek obsahuje velké množství stoupání a úseků zrychlení z 50 km/h v obci na 90 km/h mimo obec. Taková zrychlení a táhlá stoupání vyžadují poměrně vysoký výkon, a tak docházelo k poměrně častému připojení spalovacího motoru. Jak je však z grafu patrné, spalovací motor je často využit jen na pár sekund a je zase vypnut.



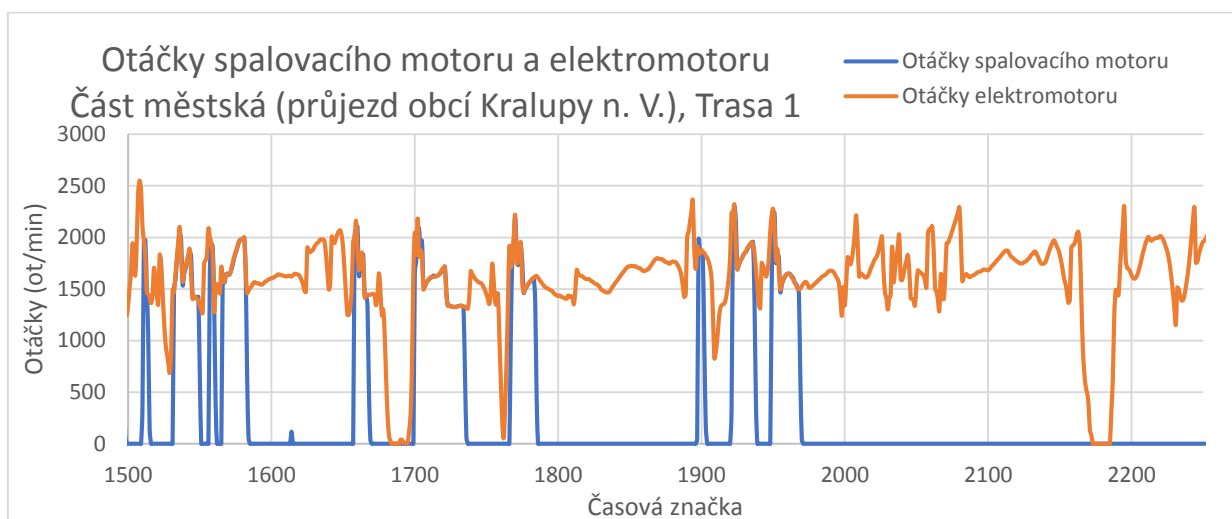
Graf 1 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část meziměstská (ČZU-Kralupy n. V.), Trasa 1

Na grafu 2 je zobrazený odebíraný a dodávaný proud elektromotoru. Záporné hodnoty značí proud odebíraný, kladné hodnoty proud elektromotorem dodaný. Za zmínku stojí špička odebíraného proudu dosahující 118 A při otáčkách 2470 ot/min. V bodě 423 došlo k rozjezdu z křižovatky do ulice Štěpnice, která v tomto úseku prudce stoupá. Spalovací motor nebyl k této akceleraci využit, zřejmě z důvodu nízké teploty chladicí kapaliny a také z důvodu plně nabité baterie, jelikož se jednalo téměř o začátek testu. Dále je z grafu proudu patrné, že k vypnutí spalovacího motoru dochází, když dochází k plachtění, či rekuperaci. K zapnutí spalovacího motoru pak často dochází, překročí-li hodnota odebíraného proudu 50 ampér.



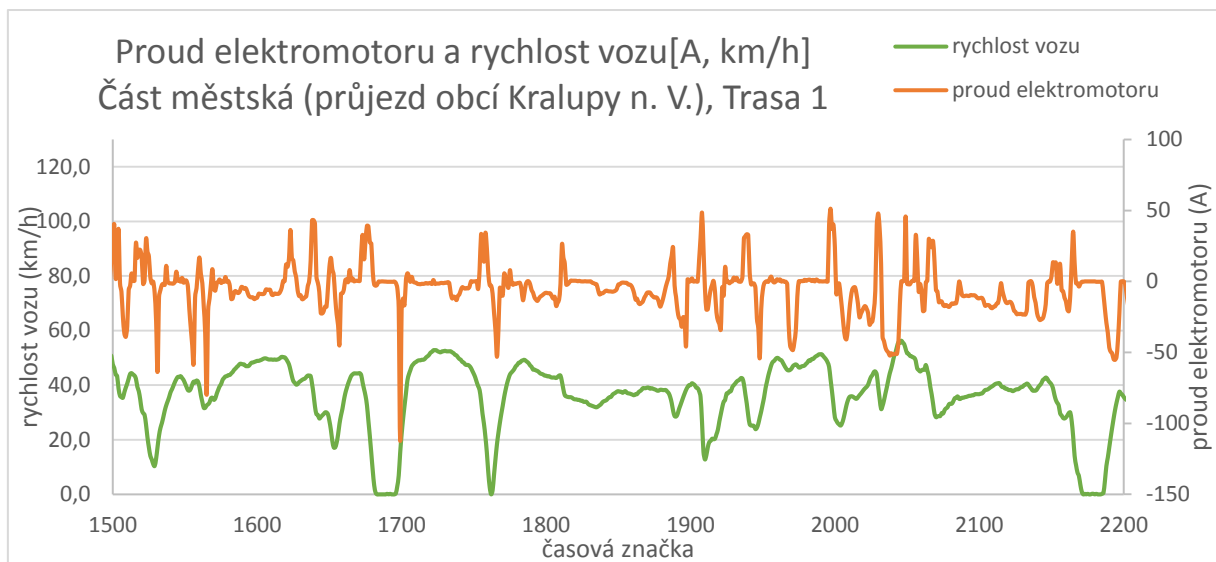
Graf 2 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část meziměstská (mezi ČZU a Kralupy n. V.), Trasa 1

Po příjezdu do Kralup nad Vltavou je však spalovací motor zapojován méně. Hybridní vozidla mají za cíl snížit emise, zejména pak městské emise osobní dopravy. Graf 3 vyobrazuje otáčky spalovacího motoru při průjezdu obcí Kralupy nad Vltavou v úseku 1500 až 2250 sekund. Z grafu je patrné, že je elektromotor využíván v nejvyšší možné míře a spalovací motor byl využit pouze 9x a na vždy jen na několik sekund. Například nejdelší připojení proběhlo na 35 sekund v úseku 1700–1735. V úseku 1690 až 1700 byla rychlost vozu nulová, jelikož došlo k zastavení před křižovatkou. Po uvolnění křižovatky došlo k rozjezdu na 50 km/h, a právě k tomuto rozjezdu byl využit spalovací motor. Situace s rozjezdy se ještě opakovala v centru města, kde je zvýšený pohyb chodců a časté křižovatky. Po dosažení rychlosti a nízké potřebě výkonu již pohon obstarával elektromotor.



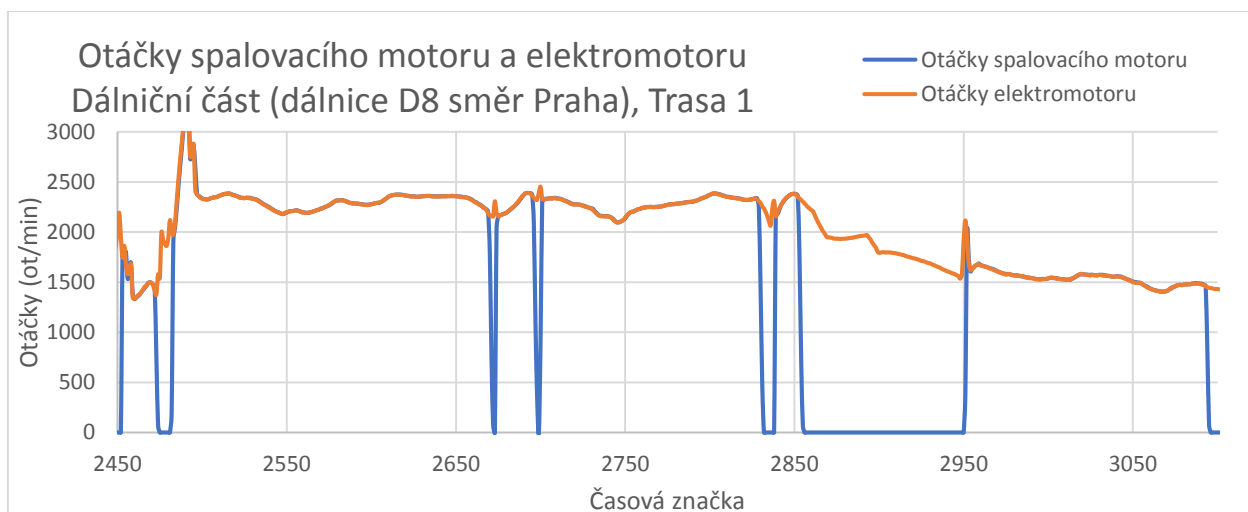
Graf 3 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 1

Na grafu 4 je záznam proudu elektromotoru. Záporné hodnoty jsou motorem odebrané, kladné hodnoty motorem dodané. Opět je patrné, že se spalovací motor většinou připojil, když odběr proudu přesáhl 50 ampér. Za zmínku stojí bod 1700, ve kterém došlo k prudšímu rozjezdu z křižovatky. Jelikož bylo zapotřebí vysokého výkonu, odběr proudu elektromotoru dosáhl 112 ampér, poté se na 37 sekund připojil spalovací motor.



Graf 4 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 1

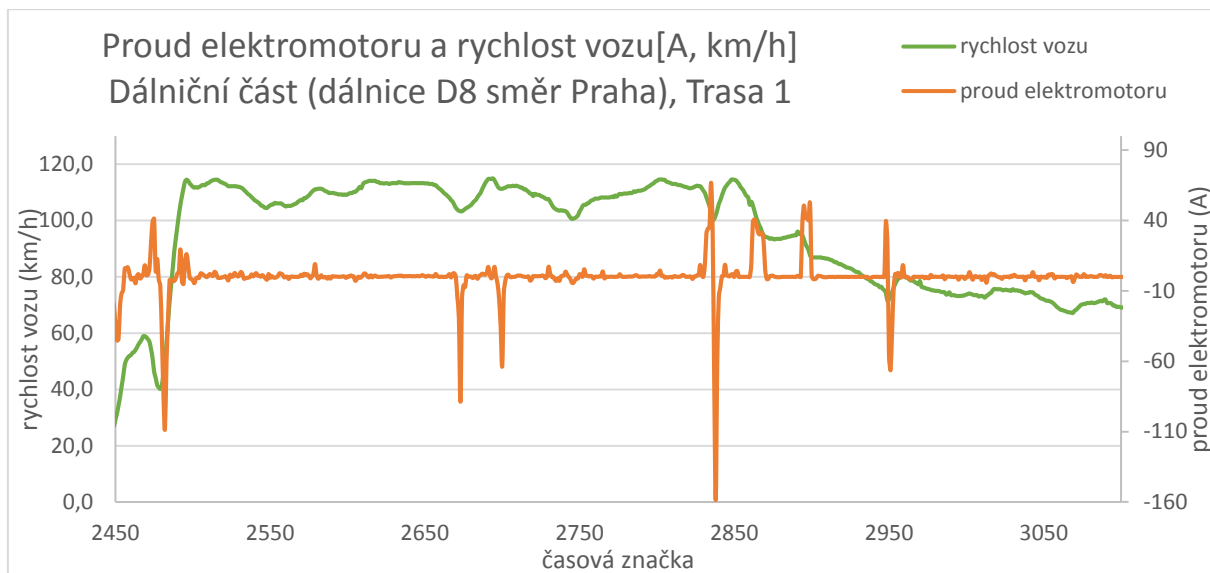
Po průjezdu obcí Kralupy nad Vltavou následuje dálniční úsek trasy. Na dálnici D8 směrem na Prahu na 8,5. kilometru se nachází táhlé stoupání a zároveň dochází k napojení pomocí dlouhého přípojovacího pruhu. Na tomto úseku musí vozidlo akcelarovat, aby bylo možné se bezpečně připojit do průběžného pruhu. Tento požadavek vyššího výkonu je na grafu viditelný v úseku 2480-2600. K vypnutí spalovacího motoru na dálnici docházelo pouze na několik sekund, a to jen v případě úplného nebo téměř úplného puštění plynového pedálu. V úseku 2850 až 2950 došlo k vypnutí spalovacího motoru, jelikož je v tomto úseku klesání a zároveň dálnice vjíždí do Prahy, kde je nižší maximální povolená rychlost.



Graf 5 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, dálniční část trasy (D8 směr Praha), Trasa 1

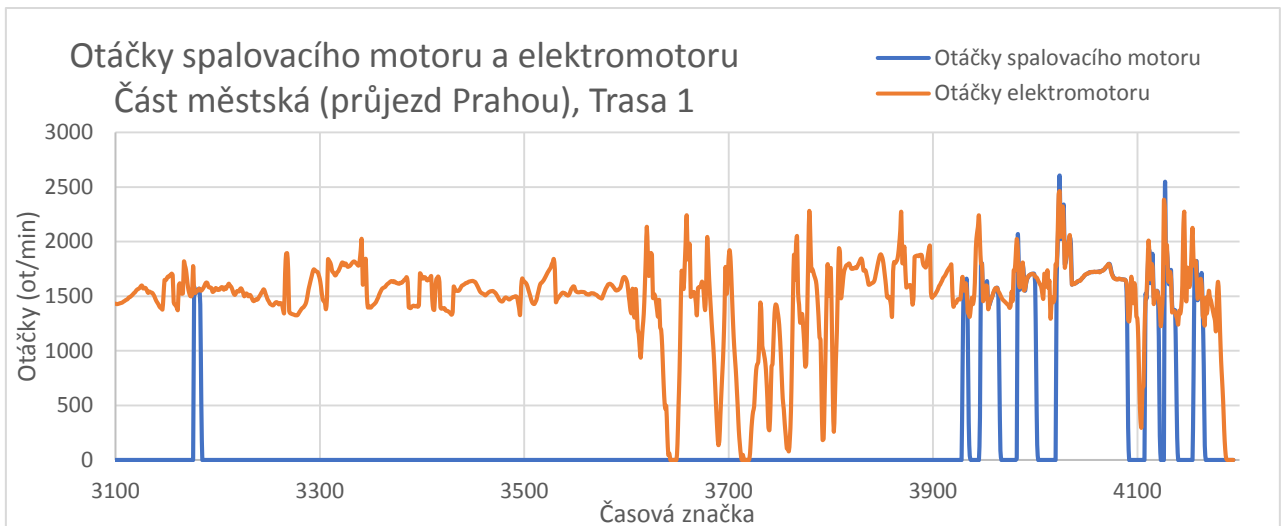
Z předchozího grafu je vidět, že je na dálnici využit hlavně spalovací motor. Na grafu proudů elektromotoru je patrné, že okamžitý odběr elektromotoru při dálničním tempu dosahuje

vysokých hodnot, a tak je nahrazen motorem spalovacím. V grafu je několik špiček vysokého odběru, v bodě 2838 byl odběr dokonce 158 ampér. Elektromotor byl několikrát na okamžik využit a ihned opět nahrazen spalovacím motorem. K vypnutí spalovacího motoru došlo kvůli chvilkovému povolení pedálu plynu pro zpomalení za nákladním vozem.



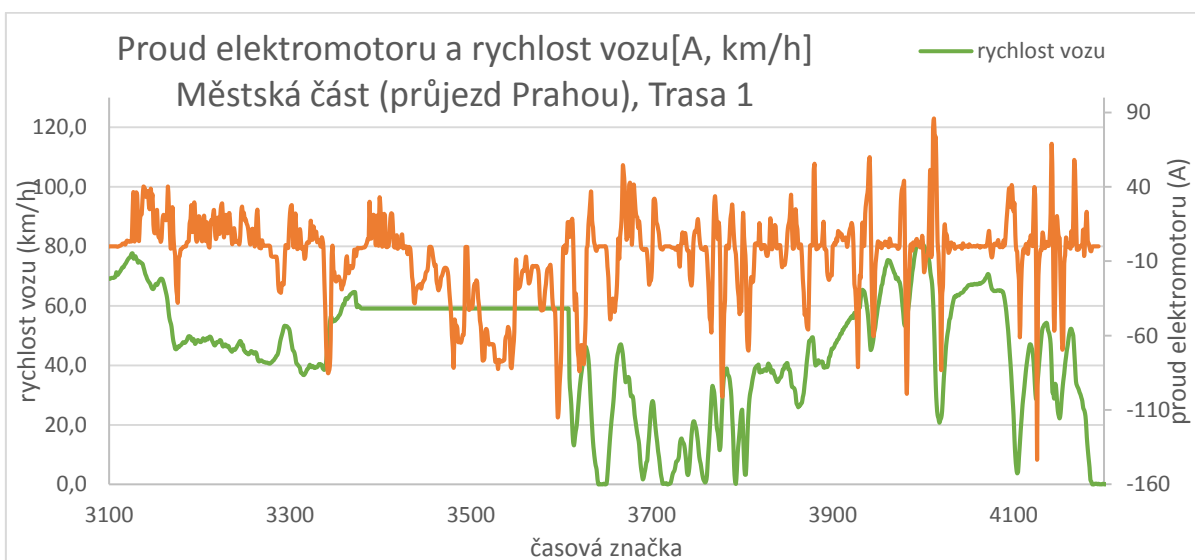
Graf 6 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], dálniční část (dálnice D8 směr Praha), Trasa 1

Dalším úsekem trasy, přesněji od značky 3100 do 4200, byl průjezd Prahou. Zpočátku úseku je dlouhé klesání Cínovecké ulice, dále trasa vede po městském okruhu, tunelovým komplexem Blanka. Trasa dále pokračuje přes Vítězné náměstí a Podbabu do areálu ČZU. Jak je z následujícího grafu patrné, spalovací motor byl po vjetí do města a snížení rychlosti na 80 km/h použit minimálně. Při jízdě v tunelu (úsek 3400-3600) byl spalovací motor zcela vypnutý a pohon obstaral pouze elektromotor. Opačná situace nastala v úseku 3900 až 4100, kdy bylo potřeba překonat stoupání do městské části Suchdol. V tomto úseku byl spalovací motor využit téměř celou dobu.



Graf 7 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd Prahou), Trasa 1

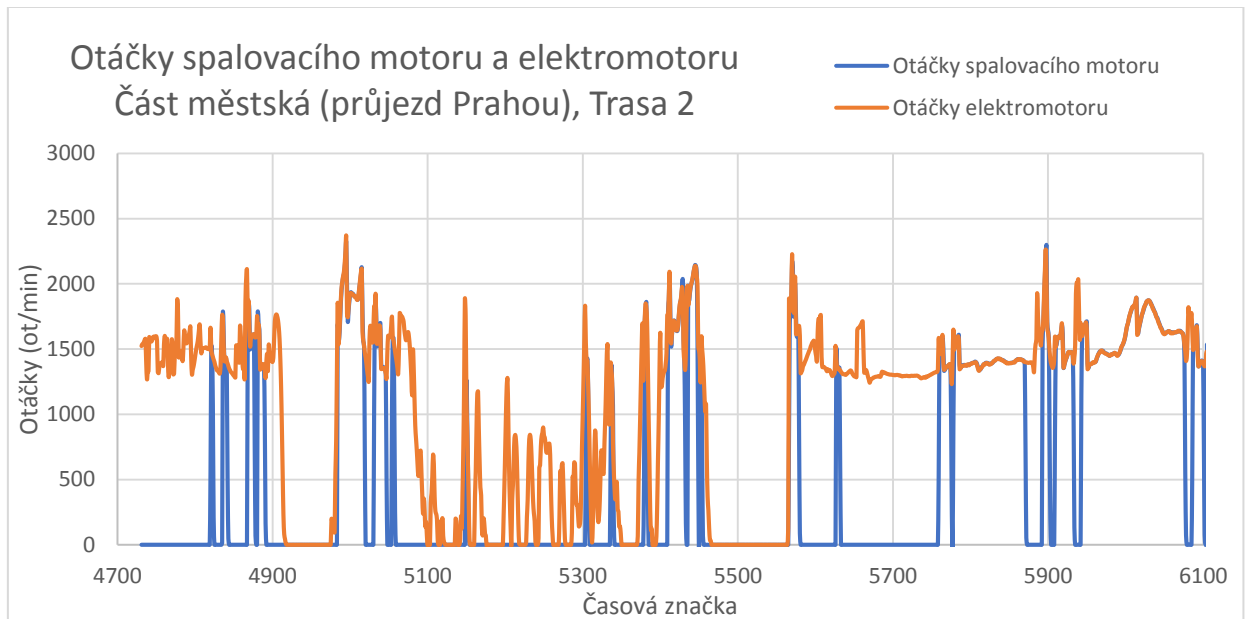
Při průjezdu Prahou již byl elektromotor využit většinu trasy. Zpočátku je vidět rekuperační brzdění v podobě kladných hodnot proudu elektromotoru. Při jízdě v tunelu pak elektromotor zvládl udržet rychlost 70 km/h a nedošlo k připojení spalovacího motoru, ačkoliv byly odběry proudu vyšší než 50 ampér. V grafu je viditelný úsek stejné rychlosti. Tento úsek ukazuje jízdu v tunelu, kde byl ztracen GPS signál a přijímač použil vjezdovou rychlost do tunelu.



Graf 8 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], městská část (průjezd Prahou) Trasa 1

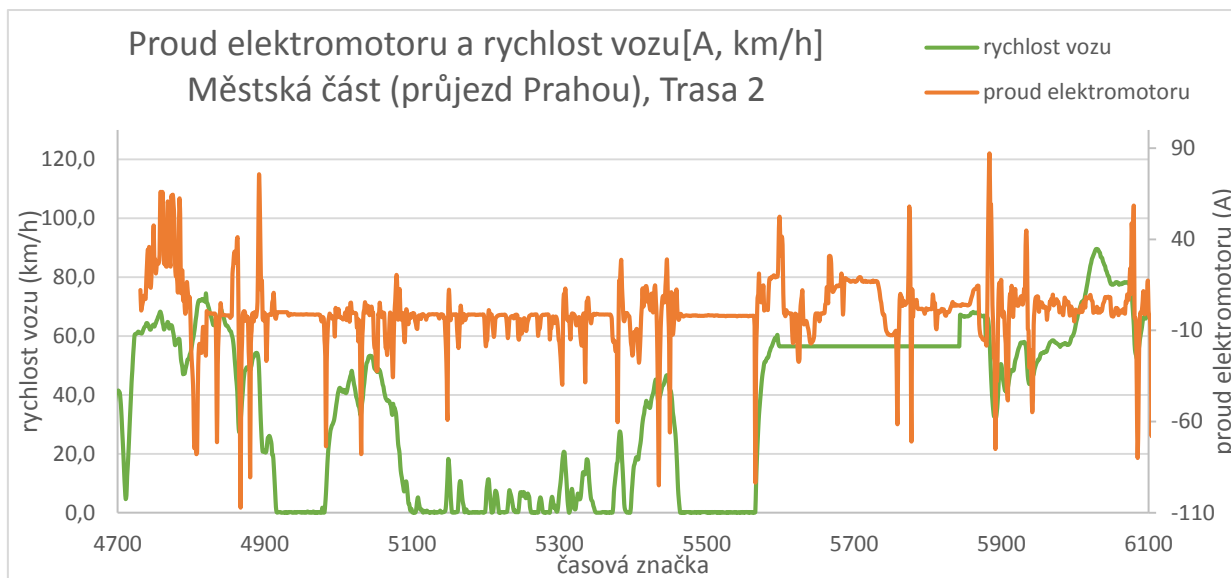
V následující části jsou zkoumána data z průjezdu testovací trasy opačným směrem z areálu ČZU přes Prahu, dálnici D8 do Kralup n. Vltavou a zpět do areálu ČZU. Tento směr je nazván jako Trasa 2. V následujícím grafu je záznam dat při průjezdu Prahou opačným směrem. V úseku trasy v bodech 4700 až 4825 je klesání ze Suchdola a rovinný úsek podél

řeky. V úseku trasy v bodech 5500 až 5850 je opět průjezd tunelem Blanka. V tomto úseku byl opět hlavně využit elektromotor. V bodech 5900 až 6100 je vidět opětovné zapojení spalovacího motoru, a to kvůli stoupání a následnému zvýšení rychlosti v ulici Cínovecká.



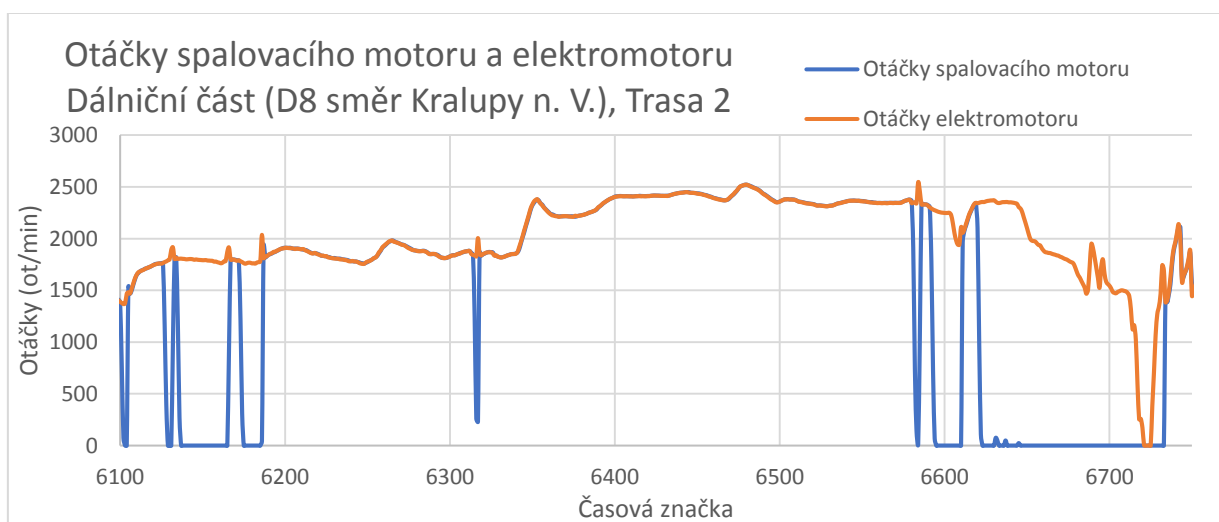
Graf 9 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd Prahou), Trasa 2

Počáteční klesání ze Suchdola na Podbabu lze vidět na dodaných proudech od elektromotoru. Rekuperační brzdění dodávalo proud přes 60 ampér. Špičkové přibrzdění v bodě 4892 dokonce generovalo proud 74 ampér. Následný průjezd přes Vítězné náměstí a poté tunelem Blanka je v grafu vidět mezi body 4900 až 5900, kdy elektromotor proud spíše odbíral. Opět je vidět, že ke startu spalovacího motoru dochází po vyšším odběru proudu elektromotorem.



Graf 10 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], městská část (průjezd Prahou), Trasa 2

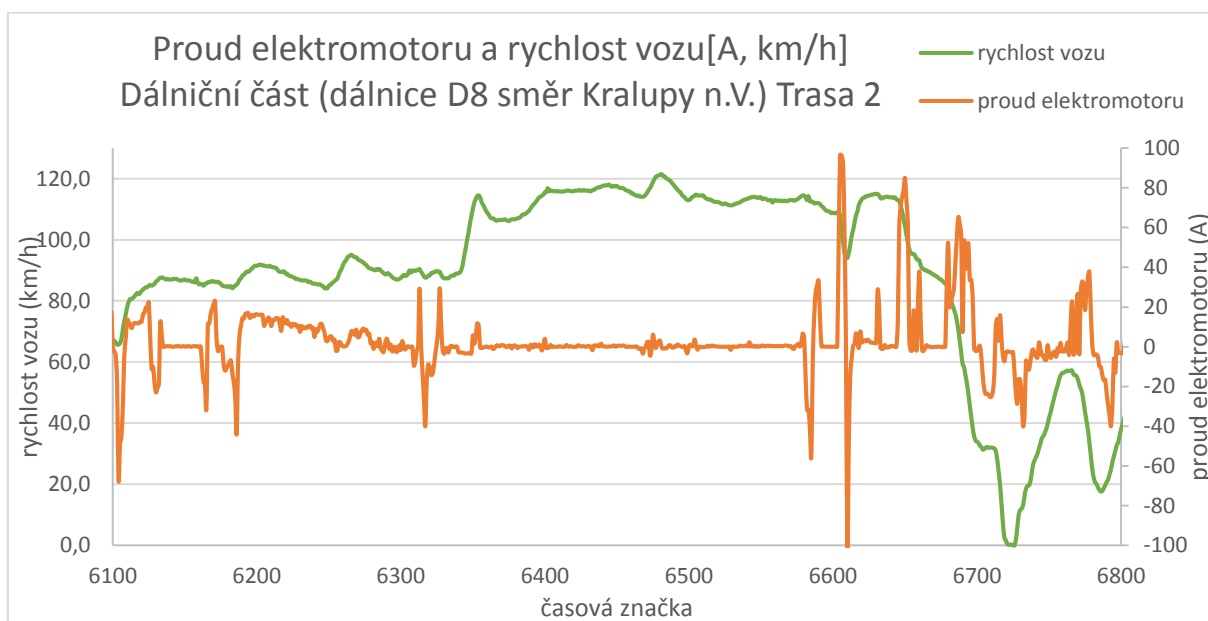
Dalším úsekem trasy je dálnice D8. Tento devítikilometrový úsek je znázorněn na následujícím grafu. Úsek 6100 až 6200 ukazuje jízdu příměstskou částí dálnice, kde je zároveň měřený úsek. Při pouhém udržování stejné rychlosti je občas využit pouze elektromotor, v dalších úsecích je vidět akcelerace a poté dálniční přejezd až na sjezd 9 na Kralupy nad Vltavou. V úseku 6650 až 6800 je vidět pozvolné zpomalování vozu před sjezdem. V tomto úseku byla využita rekuperace a spalovací motor byl na delší dobu vypnutý.



Graf 11 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, dálniční část (D8 směr Kralupy n. V.), Trasa 2

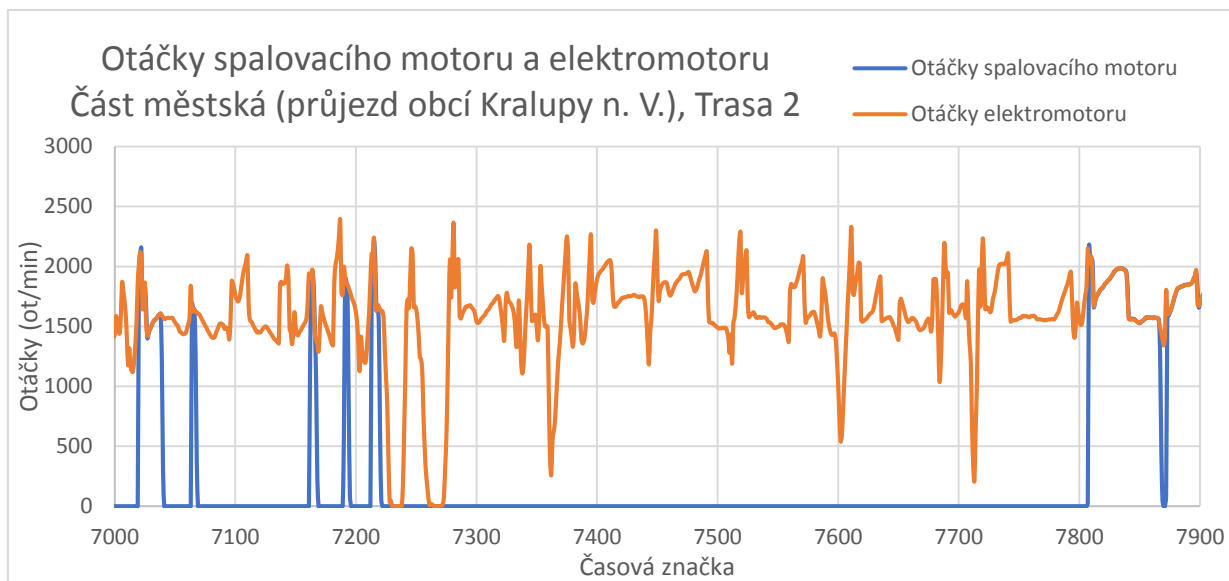
Úsek 6100 až 6200 ukazuje příměstskou část dálnice s měřeným úsekem. V této části dálnice se ještě elektromotor připojoval, místy byl spalovací motor zcela vypnutý. S nárůstem rychlosti byl pak využit zejména spalovací motor až do místa 6600, kdy došlo k velkému

výkyvu proudu. Nejprve došlo k dodání 93 ampér, následně byl opačný výkyv, kdy motor 102 ampér odebíral. Tento výkyv měl za následek nejprve vypnutí a následně opětovný start spalovacího motoru. K výkyvu došlo při úhybném manévru rychlejšímu vozu, zařazení do pravého pruhu, zpomalení a následné akceleraci a zařazení do levého jízdního pruhu. Poté následovalo klesání a postupné zpomalení až ke sjezdu z dálnice. Toto zpomalení je v grafu vidět vysokými dodávanými proudy.



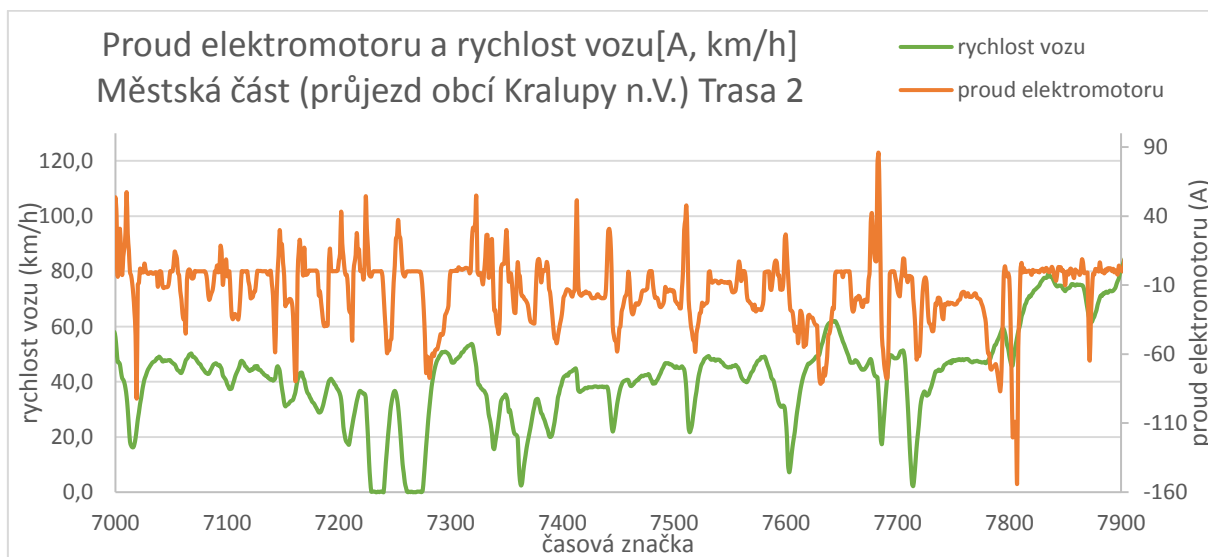
Graf 12 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], dálniční část (dálnice D8 směr Kralupy n. V.), Trasa 2

Další graf ukazuje průjezd obcí Kralupy nad Vltavou. Jak je z grafu patrné, systém vozu vyhodnotil situaci správně a při průjezdu městem byl pro pohon vozu využit hlavně elektromotor. V úsecích 7000-7200 a 7800 dále je vidět občasné zapojení spalovacího motoru. Na začátku obce se nachází velký kruhový objezd, na který při nájezdu musí vozidlo akcelarovat, aby došlo k bezpečnému připojení mezi ostatní vozidla. Na konci grafu je již viditelné využití spalovacího motoru při opuštění obce a pozvolné akceleraci.



Graf 13 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 2

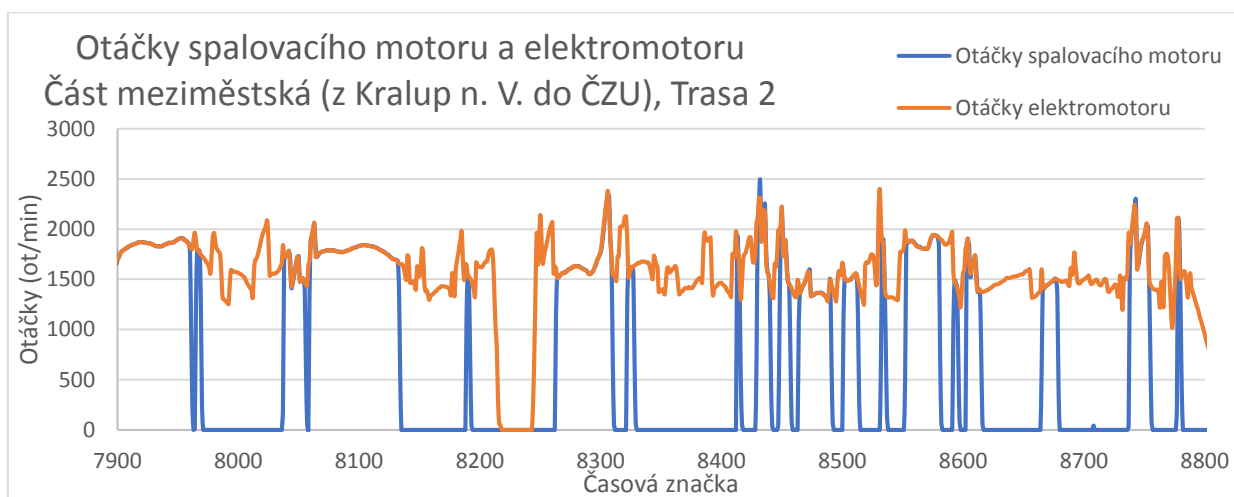
Při průjezdu obcí Kralupy n. Vltavou byl téměř celou dobu využit elektromotor. Z grafu je vidět, že motor spíše proud odebíral, a kvůli nízké rychlosti v obci nedosahovaly proudy dodané rekuperačním brzděním vysokých hodnot. Výjimkou je bod 7682, kde došlo k brzdění před železničním přejezdem a proud dosáhl 86 ampér. Vysokou hodnotu odebíraného proudu způsobila akcelerace na výjezdu z obce, proud odebíraný motorem dosáhl 150 ampér.



Graf 14 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 2

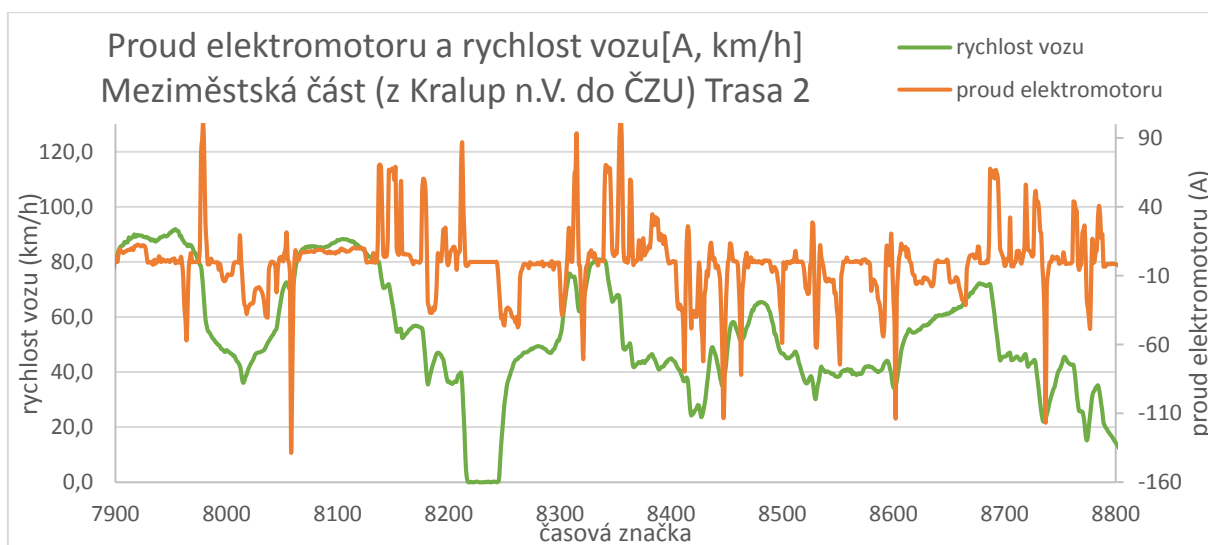
Poslední úsek testovací trasy zobrazují následující grafy. Z grafů je patrné, že byly využity oba motory, spalovací spíše během stoupání a zrychlování, elektromotor zase na rovinách, klesáních a v obcích. Úsek mezi body 7950 a 8050 byl průjezd obcí Tursko, kde pracoval

pouze elektromotor. Mezi body 8150 a 8250 je vidět opětovná práce elektromotoru, v tomto případě se jedná o průjezd obcí Velké Přílepy. Podobná situace je i v úseku 8350 až 8400, kdy se vozidlo pohybovali v obci Černý Vůl. Část 8500 až 8800 obsahuje průjezd Horoměřicemi a následný přejezd do areálu ČZU.



Graf 15 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část meziměstská (z Kralup n. V. do ČZU), Trasa 2

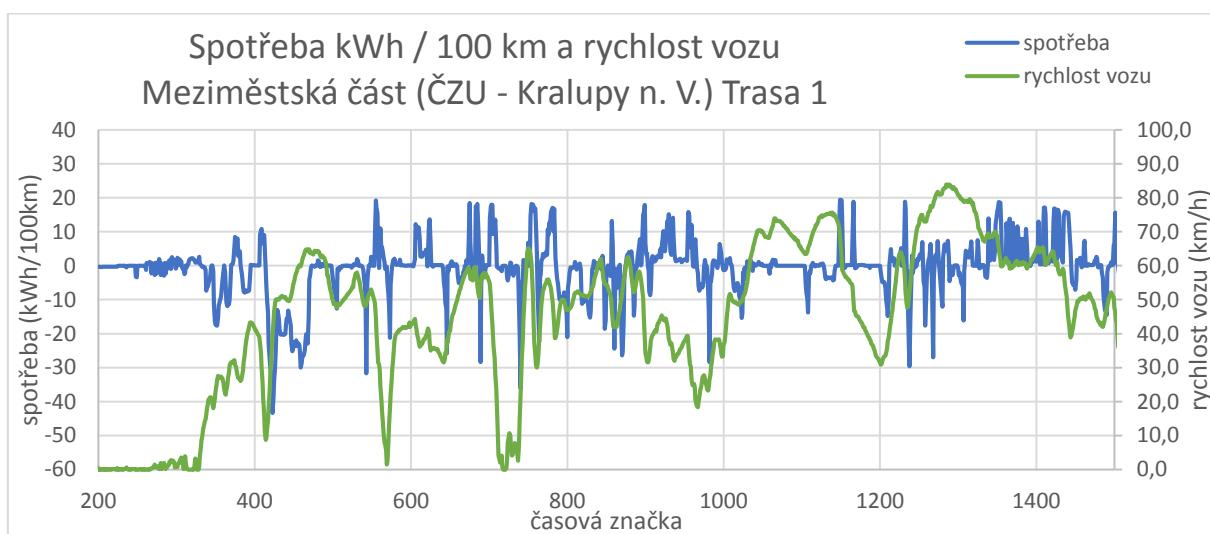
Využití obou motorů při cestování mezi městy a při průjezdech obcemi ukazuje i následující graf. Díky rozmanitému výškovému profilu této části trasy jsou na grafu proudu vidět velké výkyvy. Zpravidla při vjezdu do obce je vidět vysoký dodaný proud z rekuperačního brzdění, jako například v bodě 7979, kdy vozidlo vjíždělo do obce Tursko. Elektromotor generoval proud až 100 ampér, zatímco spalovací motor byl vypnut. Opačné výkyvy naopak způsobily rozjezdy z obcí, což je vidět například v bodě 8058, kde vozidlo vyjíždělo z obce Tursko a akcelerovalo, odebíraný proud v tomto případě dosáhl 136 ampér.



Graf 16 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část meziměstská (z Kralup n. V. do ČZU) Trasa 2

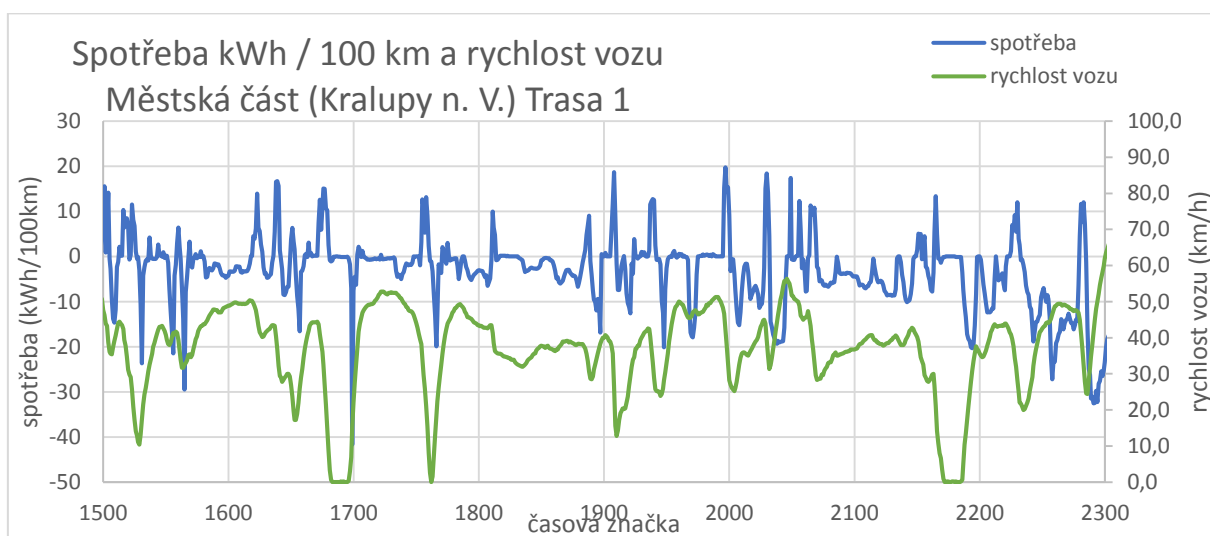
6.2.2. Okamžitá spotřeba vozu v provozu

Aby bylo možné ověřit data palubního počítače, byla z naměřených parametrů vypočtena aktuální spotřeba vozu, která byla převedena na průměrnou jednotlivých úseků trasy a následně na průměrnou spotřebu celého testu. V následujících grafech je vidět okamžitá spotřeba vozu v jednotlivých částech trasy. Kladné hodnoty značí brzdění, záporné pak akceleraci. V první fázi testovacího okruhu Trasa 1, v meziměstské části dosáhl vůz průměrné spotřeby 3,917 kWh / 100 km. V meziměstském provozu je elektromotor využit téměř stejně často, jako motor spalovací.



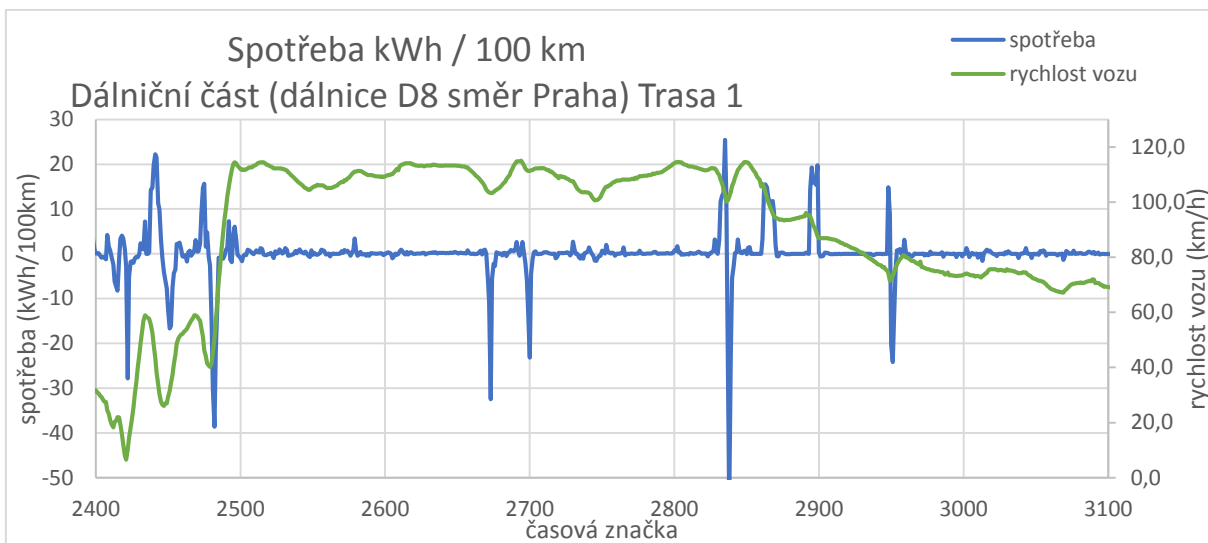
Graf 17 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], meziměstská část (ČZU – Kralupy n. V.) Trasa 1

Při průjezdu obcí Kralupy nad Vltavou dosáhl vůz průměrné spotřeby 3,18 kWh / 100 km. Při průjezdu městem je využití elektromotoru nejvyšší.



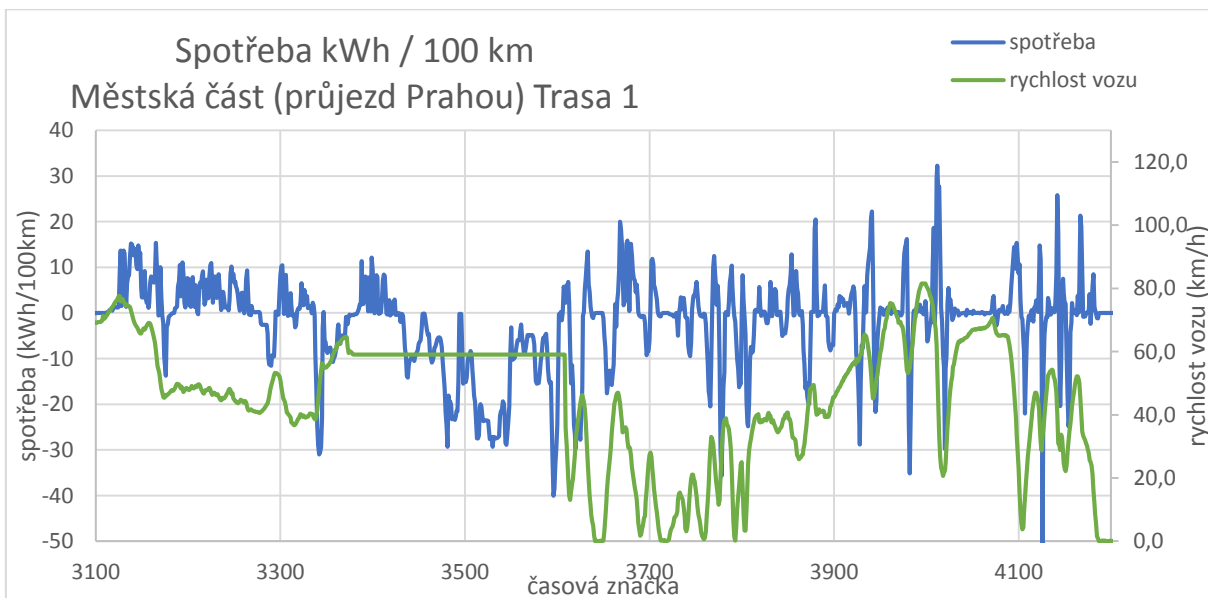
Graf 18 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městská část (Kralupy n. V.) Trasa 1

Na dálničním úseku Trasy 1 dosáhl vůz průměrné spotřeby 0,069 kWh / 100 km. Na dálničním úseku byl elektromotor využit minimálně.



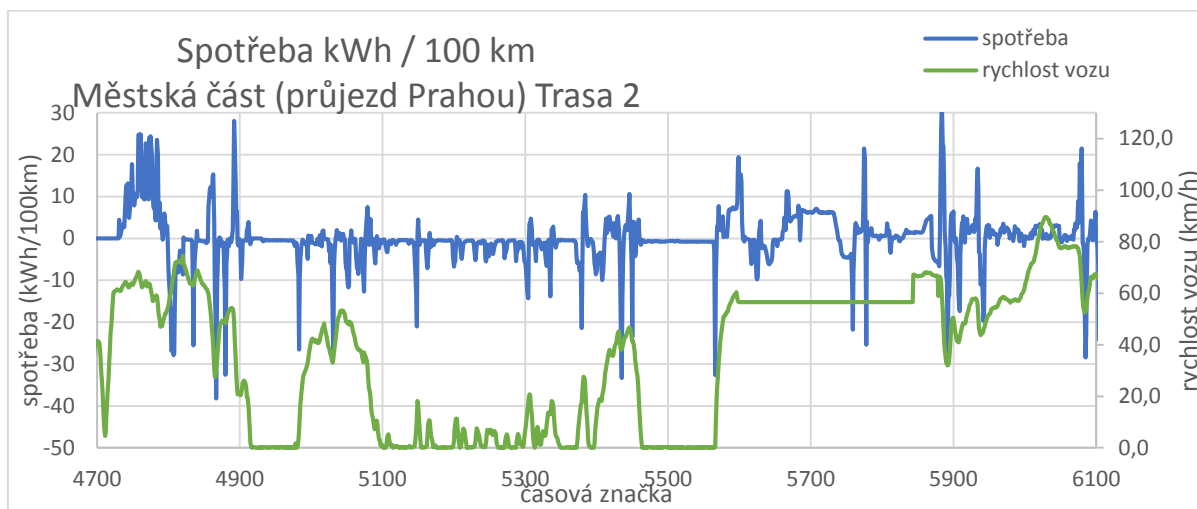
Graf 19 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], dálniční část (D8 směr Praha) Trasa 1

V městském úseku Trasy 1 při průjezdu Prahou dosáhl vůz průměrné spotřeby 2,17 kWh / 100 km. Průjezd Prahou je specifický v dlouhém klesání, které snížilo průměrnou spotřebu, jelikož je možné několik kilometrů rekuperačně brzdit. Okolo bodu 4000 je dobře viditelné prudké zpomalení o přibližně 60 km/h, při kterém rekuperační brzdění momentálně dodávalo přes 32 kWh / 100 km.



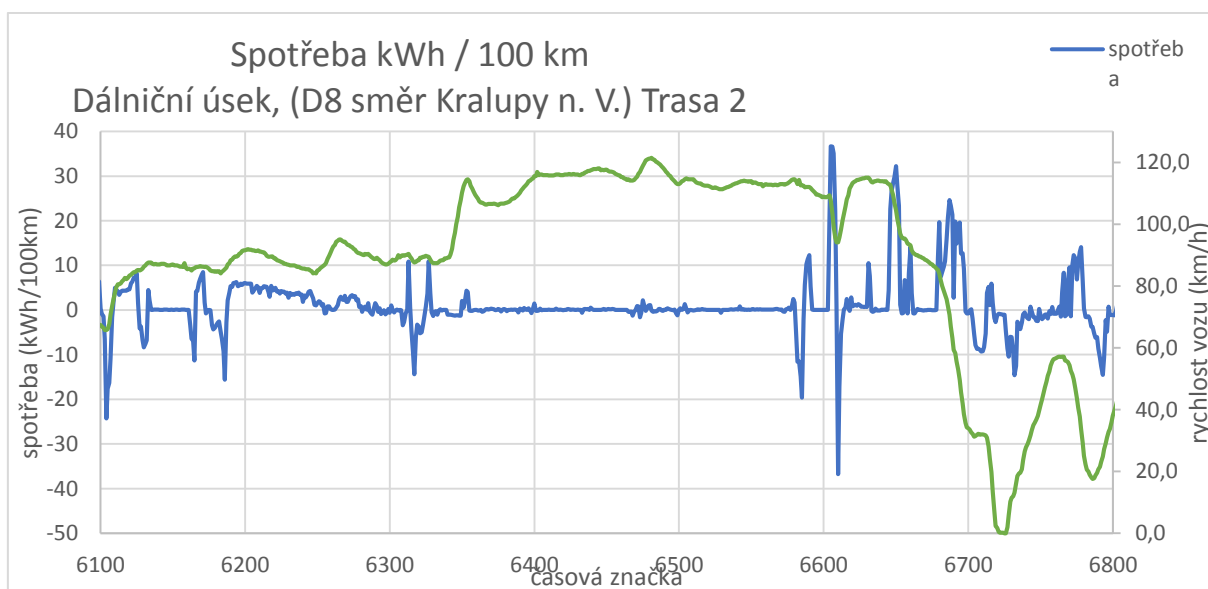
Graf 20 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městská část (průjezd Prahou) Trasa 1

Při průjezdu Prahou na Trase 2 dosáhl vůz průměrné spotřeby 0,12 kWh / 100 km. Při opačném směru průjezdu Prahou je situace s rekuperačním brzděním ještě více zřetelná, zpočátku je vidět brzdění ze suchdolského kopce a jízda podél řeky Vltavy. V úseku 5100 až 5300 vůz pomalu pojížděl k přechodu pro chodce na Vítězném náměstí. Spotřeba spalovacích motorů v kolonách může dosahovat vysokých hodnot. Elektromotor je i při popojíždění velmi úsporný.



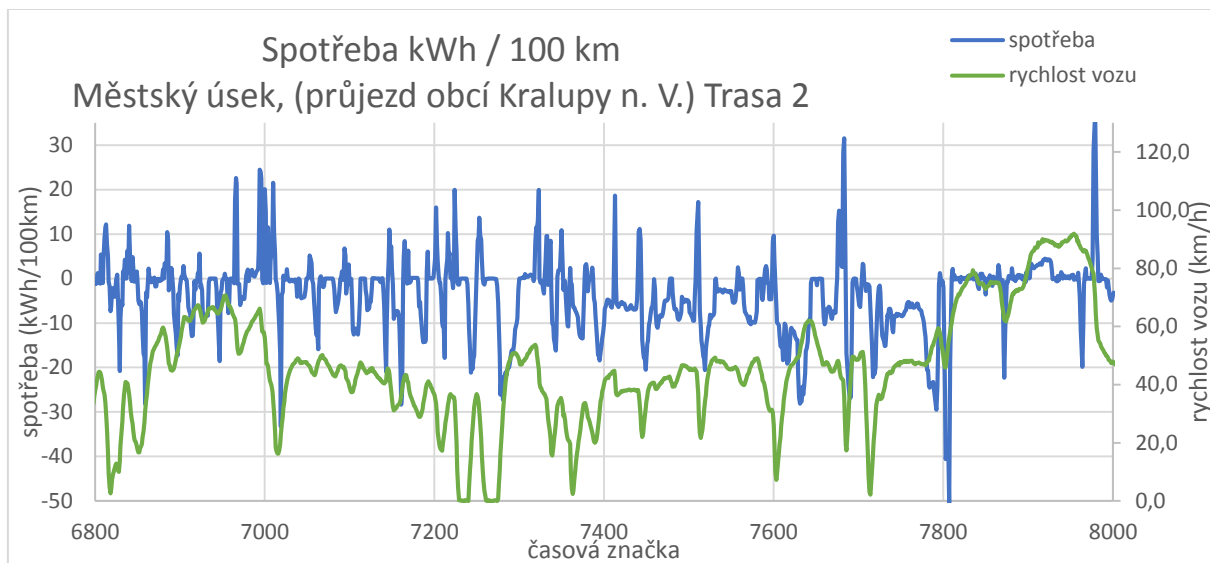
Graf 21 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městská část (průjezd Prahou) Trasa 2

Po projetí dálničního úseku Trasy 2 dosáhla průměrná spotřeba hodnoty 0,968 kWh/100 km. I druhý dálniční úsek byl projet téměř výhradně na spalovací motor, ke konci úseku je výkyv kvůli náhlému přibrzdění za pomalejším vozem a následné prudké akceleraci. Spotřeba v tomto momentu dosáhla 36 kWh / 100 km.



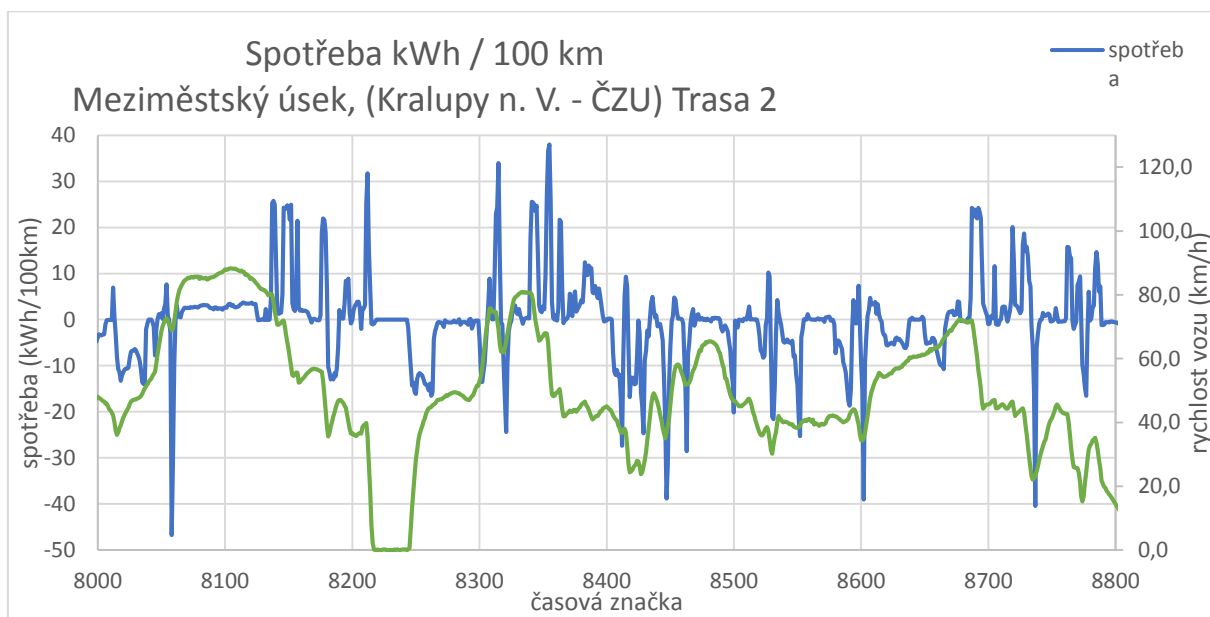
Graf 22 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], dálniční úsek (D8 směr Kralupy n. V.) Trasa 2

V městské části trasy 2 při průjezdu obcí Kralupy nad Vltavou dosáhl vůz průměrné spotřeby 3,69 kWh / 100 km. Elektromotor byl aktivní téměř v celém městském úseku. Vyšší spotřeba je způsobena častými změnami rychlosti.



Graf 23 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městský úsek (Průjezd obcí Kralupy n. V.) Trasa 2

V posledním úseku Trasy 2 při přejezdu mezi obcí Kralupy n. V. a areálem ČZU dosáhl vůz průměrné spotřeby 0,204 kWh / 100 km. Mezi obcí Kralupy n. V. a Prahou je kopcovitý terén, který způsobil vyšší výkonové špičky na obě strany. Průměrná spotřeba se pak téměř blížila nule, ačkoliv byl elektromotor špičkově dost zatížen.



Graf 24 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], meziměstský úsek (Kralupy n. V.-ČZU) Trasa 2

Celková průměrná spotřeba elektrické energie vypočtená pomocí dat změřených diagnostickým přístrojem dosahuje hodnoty 1,85 kWh / 100 km. Tato hodnota je menší, než ukázal palubní počítač vozu (2,2 kWh / 100 km). Hodnota vypočtená z naměřených dat je přibližně o 19% nižší než údaj palubního počítače. Tento rozdíl může být způsobený rozdílnou frekvencí zápisu dat vozidla oproti diagnostice, kde se data zapisovala s intervalem 1 sekundy.

7. Závěr

Pro pochopení problematiky hybridních vozidel, byly na začátku práce zkoumány a popsány zásadní rozdíly a komponenty hybridních a elektrických vozidel. V průběhu roku 2020 a 2021 bylo v rámci zkoumání otestováno a změřeno šest vozidel. Dvě hybridní a čtyři elektrická vozidla byla zapůjčena v průběhu roku podle aktuální dostupnosti. Ke zjištění provozních parametrů bylo použito několik diagnostických zařízení. Ačkoliv byla všechna diagnostická zařízení aktualizována, mnohdy nebylo možné dostat se u vozidla k požadované jednotce a provozním datům. Na vozidla Volkswagen však byla využita dedikovaná diagnostika pro vozy koncernu VAG, která umožnila přístup do většiny řídicích jednotek, a tak bylo možné získat detailní potřebná data. Nejen z těchto důvodů byl jako hlavní vozidlo vybrán Volkswagen Golf GTE. Při měření vozidel byly zaznamenávány hodnoty spotřeby energie a paliva, které poté byly porovnány s hodnotami udávanými výrobcí. Výsledky měření se od hodnot udávaných výrobcí příliš neliší, ačkoliv bylo prokázáno, že spotřeba závisí na povětrnostních vlivech, stylu řízení a ostatních vnějších příčinách. Nejvíce byl rozdíl viditelný v případě Volkswagenu ID.3 testovaného za velmi nízkých teplot, kde byla naměřená spotřeba o 40% vyšší, než udává výrobce. Pro minimalizaci rozdílných vlivů na spotřebu energie byly všechny testy prováděny stejným řidičem v dopoledních hodinách kvůli nižší intenzitě dopravy. Bylo tedy ověřeno, že volba testovací trasy byla vhodná a výsledky měření lze porovnávat s výsledky získanými z jízdnicích cyklů WLTP.

Dále byla zhodnocena a porovnána ekonomická stránka nákupu a provozu hybridních vozidel s vozidly konvenčně poháněnými. Ačkoliv jsou náklady na ujetý kilometr hybridních a elektrických vozidel výrazně menší než u vozidel se spalovacím motorem, pořizovací cena je však tak vysoká, že se úspora na palivu projeví až po ujetí několik stovek tisíc kilometrů.

V závěru práce byly zkoumány aktuální provozní parametry Golfu GTE na jednotlivých úsecích trasy. Z dat bylo zjištěno, že v hybridním režimu jsou kombinovány oba motory v závislosti na aktuálním zatížení a potřebě výkonu, kdy se spalovací motor zpravidla připojí při odběru elektromotoru vyšším než 50 ampér. Dále byla zkoumána průměrná spotřeba v daných úsecích trasy. Výsledná změřená průměrná spotřeba elektrické energie se od údaje palubního počítače lišila o 19%.

Společenský tlak na nízké emise osobních vozidel způsobuje rychlý rozvoj hybridních a elektrických vozidel. Téměř každý výrobce automobilů má v nabídce alespoň nějaký elektrifikovaný model a v blízké budoucnosti můžeme očekávat čím dál vyšší zastoupení těchto vozidel na silnicích. Vysoká pořizovací cena je však prozatím velkou překážkou pro většinu kupujících, zároveň je problémem nedostatečná infrastruktura nabíjecích stanic a doba nabíjení. Plug-in hybridy a elektrická vozidla mají velké baterie a nabíjení trvá zpravidla desítky minut až několik hodin. Ačkoliv rychlonabíjecí stanice dodávají okolo 100 kW výkonu, oproti benzínové stanici je tento přenos energie velmi pomalý. Při tankování benzínu jde do vozidla přibližně 60 litrů benzínu za minutu (benzín má energii 8,6 kWh / L [19]), a tak je konvenčnímu vozidlo teoreticky energie dodávána rychlostí 30 960 kW. Takovou rychlost dobíjení v případě elektrických vozidel není možné plošně nabídnout, a tak nelze očekávat masový nástup čistých elektromobilů v nejbližší budoucnosti, jelikož jsou řidiči zvyklí získat stovky kilometrů dojezdu za pár minut. Kompromis mezi konvenčními vozidly a elektromobily nabízí hybridní vozidla, která kombinují výhody obou pohonů a nabídnou nízké emise ve městě bez omezení výkonu a dojezdu například na dálnici. Problémem nové technologie je prozatím cena, nicméně s postupným rozvojem a více prodanými hybridními auty cena bezpochyby klesne.

8. Seznam použitých zdrojů

- [1] Definition of Hybrid Vehicle Technology. Hybrid vehicle - hybrid cars and trucks, fuel cell, clean fuel's [online]. 2005 [vid. 12.3.2021]. Dostupné z: <http://www.hybrid-vehicle.org/hybrid-vehicle-definition.html>
- [2] Battery cell comparison. Comparison of Energy Density in Battery Cells [online]. Anton Beck 2014 [vid. 12.3.2021]. Dostupné online z: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- [3] Micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, plug-in hybrid. Jaký je mezi nimi rozdíl? [online]. Martin Wagenknecht 2018 [vid. 13.3.2021]. Dostupné online z: <https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-1857>
- [4] Mild-hybrid – co to znamená a jak se liší od ostatních hybridních pohonů? [online]. Jiří Zelinka 2020 [vid. 13.3.2021]. Dostupné online z: <https://www.autohled.cz/magazin/mild-hybrid-ndash-co-to-znamena-a-jak-se-lisi-od-ostatnich-hybridnich-pohonu/2166>
- [5] Plug-in hybrid technology [online]. Peugeot 2020 [vid. 16.3.2021] Dostupné online z: <https://www.peugeot.ie/brand-and-technology/hybrid-electric-vehicles/peugeot-plug-in-hybrid/plug-in-hybrid-technology.html>
- [6] Don't start-stop systems wear out your car's starter? [online]. John Voelcker 2017. [vid. 12.4.2021]. Dostupné online z: https://www.greencarreports.com/news/1109687_dont-start-stop-systems-wear-out-your-cars-starter
- [7] How Often Can Stop-Start Systems Restart An Engine? More Than 1 Million Times [online]. Antony Ingram 2013. [vid. 29.4.2021]. Dostupné online z: https://www.greencarreports.com/news/1084891_how-often-can-stop-start-systems-restart-an-engine-more-than-1-million-times
- [8] Voltage Cashes for Electric Mobility. [online] ZVEI - German Electrical and Electronic Manufacturers' Association, Centre of Excellence Electric Mobility. Hans-Martin Fischer 2013. [vid. 8.4.2021]
- [9] Starter Motors and Generators. [online]. The BRS boost recuperation system: increased power, enhanced comfort and lower fuel consumption. Bosch 2020 [vid. 17.3.2021]. Dostupné online z: https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/media/migrated_download/de/BRS_Broschuere_RZ_en.pdf
- [10] The 48-Volt Starter Generator for Electric Vehicle Architectures. [online] All about circuits. Ivan Petrov 2018. [vid. 12.4.2021]. Dostupné online z: <https://www.allaboutcircuits.com/industry-articles/the-48-volt-starter-generator-electric-vehicle-architectures/>
- [11] Fundamentals of Power Electronics Controlled Electric Propulsion. [online] Power Electronics Handbook (Fourth Edition). Shailendra Jain, Lalit Kumar 2018. [cit. 4.3.2021] Dostupné z: doi:10.1016/C2016-0-00847-1

- [12] Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles. [online] Electric road vehicle battery charging systems and infrastructure 445–467. B. Lunz, D.U. Sauer 2015 [vid. 18.4.2021] Dostupné z: doi:10.1016/b978-1-78242-377-5.00017-0
- [13] Hyundai Kona Electric specification. [online] Hyundai Motor 2021. [cit. 9.5.2021] Dostupné online z: <https://www.hyundai.com/in/en/find-a-car/kona-electric/specification>
- [14] On the Low Temperature Performance of Nickel-Metal Hydride (NiMH) Batteries, International Journal of electrochemical science 6 (2011) 860-866, Boguslaw Pierzynski 2011 [vid. 1.5.2021] Dostupné online z: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol6/6040860.pdf>
- [15] Electric Vehicle Batteries. Electric Vehicle Battery Systems, Dhameja, S. (2002). 1–21. Dostupné z doi:10.1016/b978-075069916-7/50001-7.
- [16] Aluminium Extrusions Are Winning The Race For Battery Enclosure In EVs, Aluminium Insider [online], Goran Djukanovic 2019 [vid. 1.5.2021] Dostupné online z: <https://aluminiuminsider.com/aluminium-extrusions-are-winning-the-race-for-battery-enclosure-in-evs/>
- [17] AGM or GEL? Choosing best solar battery for solar power system, Lighten World Industry 2017 [online], [vid. 2.5.2021] Dostupné online z: https://www.lightenworld.com.tw/learning_detail2.php
- [18] Srovnání spotřeby Volkswagenů e-Golf, Golf GTE a Golf TSI. Který pohon má ekonomičtější provoz? fDrive Test. [online] Jakub Špaček 2018, [cit. 5.5.2021] Dostupné online z: <https://fdrive.cz/clanky/test-srovnani-spotreby-volkswagenu-e-golf-golf-gte-a-golf-tsi-ktery-pohon-ma-ekonomictejsi-provoz-2571>
- [19] Čas elektromobilů ještě nepřišel. AutoRevue.cz [online], Pavel Janda 2010, [cit. 10.5.2021] Dostupné online z: https://www.autorevue.cz/cas-elektromobilu-jeste-neprišel_1

8.1. Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma sériového hybridního pohonu.....	3
Obrázek 2 Schéma paralelního hybridního pohonu	3
Obrázek 3 Mikro hybridní technologie Peugeot 308 e-HDI	5
Obrázek 4 Mild hybridní 48 V technologie automobilky BMW	6
Obrázek 5 Full hybridní soustava Toyoty Prius 2020.....	7
Obrázek 6 Plug-in hybridní Golf GTE	8
Obrázek 7 Startér pro vozidla se systémem start-stop	9
Obrázek 8 48 V startér generátor	10
Obrázek 9 Elektromotor umístěný v převodovce e-EAT8 v Peugeotu 3008 hybrid	11
Obrázek 10 Kapalínou chlazený elektromotor s převodovkou a diferencíálem	11
Obrázek 11 Energeticko-objemová hustota různých typů baterií	12
Obrázek 12 Uspořádání AGM baterie.....	14
Obrázek 13 Článek typu 18650	16
Obrázek 14 Baterie uložené v hliníkovém obalu	17
Obrázek 15 Univerzální nabíječka na 230 V s konektorem Mennekes typ 2	18

Obrázek 16 Wallbox nabíjecí stanice Siemens	19
Obrázek 17 Rychlonabíjecí stanice firmy Siemens v Praze.....	20
Obrázek 18 Typy konektorů dostupné v Evropě.....	20
Obrázek 19 Lexus ES300h.....	21
Obrázek 20 Testovaný Peugeot 3008 hybrid 4	22
Obrázek 21 Testovaný VW Golf GTE	24
Obrázek 22 Motor, elektromotor a převodovka Golfu GTE.....	24
Obrázek 23 Volič automatické převodovky s možností volby rekuperačního brzdění „B“	25
Obrázek 24 Testovaný VW e-Golf.....	26
Obrázek 25 Konektor Mennekes Typ 2 respektive konektor CCS combo v e-Golfu.....	27
Obrázek 26 Testovaný VW ID.3.....	28
Obrázek 27 Testovaný Hyundai Kona Electric.....	29
Obrázek 28 Testovaný Mercedes Benz EQC 400	30
Obrázek 29 Diagnostika TEXA	31
Obrázek 30 Připojené zařízení HEX-CAN v testovaném Golfu GTE.....	32
Obrázek 31 Diagnostická jednotka BOSCH KTS 590.....	33
Obrázek 32 Umístění antény na střeše testovaného vozu	33
Obrázek 33 Znárodněná testovací trasa.....	34
Obrázek 34 Mapa se zobrazenými časovými značkami trasy.....	44

8.2. Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled klíčových vlastností různých typů hybridních vozidel	4
Tabulka 2 Pořizovací ceny základních verzí v roce 2018.....	35
Tabulka 3 Výsledky testu magazínu fDrive.....	36
Tabulka 4 Provozní náklady Golfu 1,5 TSI	37
Tabulka 5 Provozní náklady Golfu GTE.....	38
Tabulka 6 Provozní náklady e-Golfu	38
Tabulka 7 Přehled výsledků testů všech vozidel.....	43

8.3. Seznam grafů

Graf 1 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část meziměstská (ČZU-Kralupy n. V.), Trasa 1	45
Graf 2 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část meziměstská (mezi ČZU a Kralupy n. V.), Trasa 1.....	45
Graf 3 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 1	46
Graf 4 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 1	47
Graf 5 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, dálniční část trasy (D8 směr Praha), Trasa 1	47
Graf 6 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], dálniční část (dálnice D8 směr Praha), Trasa 1	48
Graf 7 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd Prahou), Trasa 1	49

Graf 8 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], městská část (průjezd Prahou) Trasa 1	49
Graf 9 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd Prahou), Trasa 2	50
Graf 10 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], městská část (průjezd Prahou), Trasa 2	51
Graf 11 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, dálniční část (D8 směr Kralupy n. V.), Trasa 2	51
Graf 12 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], dálniční část (dálnice D8 směr Kralupy n. V.), Trasa 2	52
Graf 13 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 2	53
Graf 14 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část městská (průjezd obcí Kralupy n. V.), Trasa 2	53
Graf 15 Otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, část meziměstská (z Kralup n. V. do ČZU), Trasa 2	54
Graf 16 Proud elektromotoru a rychlost vozu [A, km/h], část meziměstská (z Kralup n. V. do ČZU) Trasa 2	54
Graf 17 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], meziměstská část (ČZU – Kralupy n. V.) Trasa 1	55
Graf 18 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městská část (Kralupy n. V.) Trasa 1	55
Graf 19 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], dálniční část (D8 směr Praha) Trasa 1	56
Graf 20 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městská část (průjezd Prahou) Trasa 1	56
Graf 21 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městská část (průjezd Prahou) Trasa 2	57
Graf 22 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], dálniční úsek (D8 směr Kralupy n. V.) Trasa 2	57
Graf 23 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], městský úsek (Průjezd obcí Kralupy n. V.) Trasa 2	58
Graf 24 Spotřeba a rychlost vozu [kWh / 100 km, km/h], meziměstský úsek (Kralupy n. V. - ČZU) Trasa 2	58

8.4. Zdroje obrázků

Obrázek 3 Mikro hybridní technologie Peugeot 308 e-HDI dostupný z:

<https://www.automotorblog.com/e-hdi-technology-revealed-by-psa-group-8590.html>

Obrázek 4 Mild hybridní 48 V technologie automobilky BMW dostupný z:

<https://www.press.bmwgroup.com/czech/photo/detail/P90380085/BMW-48-V-Mild-Hybrid-Technology-Components-01-2020>

Obrázek 5 Full hybridní soustava Toyoty Prius 2020 dostupný z:

<https://www.toyota.cz/hybrid-innovation/>

Obrázek 6 Plug-in hybridní Golf GTE dostupný z:

<http://www.hybrid.cz/volkswagen-golf-gte-cena-dojezd-specifikace>

Obrázek 7 Startér pro vozidla se systémem start-stop dostupný z:

<https://www.denso-am.eu/media/corporate-news/2016/december-newsletter-denso-ts-starter-enables-quicker-engine-restart-and-improved-efficiency/>

Obrázek 8 48v startér generátor dostupný z:

<https://www.valeo.com/en/48v-affordable-hybrid/>

Obrázek 9 Elektromotor umístěný v převodovce e-EAT8 v Peugeotu 3008 hybrid dostupný z:

<http://peugeotcentrum.cz/new/nove-suv-peugeot-3008-hybrid-hybrid4/>

Obrázek 10 Kapalínou chlazený elektromotor s převodovkou a diferenciálem dostupný z:

<https://www.mahle.com/en/products-and-services/emobility/electric-drive-systems/>

Obrázek 11 Energeticko-objemová hustota různých typů baterií dostupný z:

<https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>

Obrázek 12 Uspořádání AGM baterie dostupný z:

https://www.lightenworld.com.tw/learning_detail2.php

Obrázek 13 Článek typu 18650 dostupný z: <https://www.battery.cz/18650-li-ion/>

Obrázek 14 Baterie uložené v hliníkovém obalu dostupný z:

<https://aluminiuminsider.com/aluminium-extrusions-are-winning-the-race-for-battery-enclosure-in-evs/>

Obrázek 15 Univerzální nabíječka na 230 V s konektorem Mennekes typ 2 dostupný z:

<https://esku.cz/elektromobily-bazar-prodej/589-univerzalni-nabijec-pro-elektromobily-percedos-mk4.html>

Obrázek 16 Wallbox nabíjecí stanice Siemens dostupný z:

<https://smartchargeamerica.com/electric-car-chargers/home/siemens-versicharge-vc30gryhw/>

Obrázek 18 Typy konektorů dostupné v Evropě dostupný z:

<https://www.elektroprumysl.cz/alternativni-energie/typy-konektoru-pro-dobijeni-elektromobilu-od-pomalych-po-rychlou-nabijeci>

Obrázek 19 Lexus ES300h dostupný z: <https://autoroad.cz/testy-aut/95617-test-lexus-es300h-luxury-tvrdy-utok-na-nadvladu-nemeckych-premiovek>

Obrázek 22 Motor, elektromotor a převodovka Golfu GTE dostupný z:

<https://insideevs.com/news/323342/just-the-facts-volkswagen-golf-gte/>

Obrázek 29 Diagnostika TEXA dostupný z: <http://www.diagnostika-texa.cz/#navigator-txt-txc>

Obrázek 31 Diagnostická jednotka BOSCH KTS 590 dostupný z:

<https://www.wmvybaveni.cz/diagnostika-osobnich-vozidel/pristroj-kts-590/>

9. Přílohy