

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Porovnání provozních parametrů elektrovozidel v různém prostředí

Diplomová práce

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

Autor: Bc. Dušan Jína

Praha, 2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Dušan Jína

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

Název práce

Porovnání provozních parametrů elektrovozidel v různém prostředí

Název anglicky

Comparison of operating parameters of electric vehicles in different environments

Cíle práce

Cílem práce bude porovnat provozní parametry několika elektrovozidel v různém prostředí a popsat faktory, které je nejvíce ovlivňují. Dále uvést možnosti dobíjení, jakou rychlostí a z jakého zdroje se dají dobíjet.

Metodika

V rešeršní části na základě studia a analýz odborných informačních zdrojů obecně popsat provozní parametry elektrických vozidel a jejich ovlivňující faktory. Dále uvést možnosti dobíjení a porovnat jejich rychlost a také cenu.

V praktické části porovnat provozní parametry různých elektrických vozidel v různém prostředí. Porovnání v městském provozu, na dálnici, v letním a zimním období atd. Dále jednotlivé elektromobily porovnat dle možností a rychlosti dobíjení a následně zjištění rozdílů mezi způsoby dobíjení.

Práce bude strukturovaná dle následující osnovy:

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

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

elektromobilita, elektromobil, provozní parametry, dobíjení, dojezd

Doporučené zdroje informací

EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2018]. ISBN 978-1-4987-6177-2

FRIVALDSKÝ, Michal, Michal PRAŽENICA, Roman KOŇARIK, Pavol ŠPÁNIK, Peter ČUBOŇ, Roman RADVAN a Vladimír RÁČEK. Elektromobilita. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2019. ISBN 9788055415987

Hromádka, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, Nakladatelství Grada, Praha, 2012, ISBN 978-80-247-4455-1

KHAJEPOUR, Amir, M. Saber FALLAH a Avesta GOODARZI. Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling, and control : a mechatronic approach. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2014. ISBN 978-1-1183-4151-3

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2021

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2023

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Porovnání provozních parametrů elektrovozidel v různém prostředí“ 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.

V Praze dne 15. 3. 2023

.....

Dušan Jína

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za vedení této diplomové práce, za jeho ochotu, odborné rady a cenné připomínky, které mi během psaní práce poskytoval.

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá provozními parametry elektrických vozidel. Práce byla zpracována pomocí studií a analýz odborných informačních zdrojů. Rešeršní práce se věnuje definování elektromobility, elektrického vozidla, jeho technologii a nabíjení. Jsou zde rozebrány různé druhy elektrických vozidel. Praktická část práce se zabývala analýzou provozních parametrů v různém prostředí. Porovnány byly tři vozidla při různých teplotách a dopravních situacích. Práce obsahuje i analýzu a souhrn nabíjení všech tří vozidel. V závěru se nachází shrnutí výsledků, výhody, ale také důvody, které brání dalšímu rozvoji.

Klíčová slova: elektromobilita; dobíjecí stanice; elektromobil; kapacita baterie; akumulátor

Summary: This thesis deals with the operating parameters of electric vehicles. The thesis has been prepared by studying and analyzing specialized information sources. The research work is devoted to defining electric mobility, electric vehicle, its technology and charging. Different types of electric vehicles are discussed. The practical part of the thesis dealt with the analysis of operating parameters in different environments. Three vehicles were compared at different temperatures and traffic situations. An analysis and summary of the charging performance of the three vehicles is also presented. In the conclusion there is a summary of the results, advantages but also reasons that hinder further development.

Key words: electromobility; charging station; electric vehicle; battery capacity; battery

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Metodika práce.....	2
4	Přehled řešené problematiky	2
4.1	Historie elektromobility	3
4.2	Elektromobil	4
4.2.1	Bateriová elektrická vozidla (BEV).....	4
4.2.2	Elektromotor	7
4.2.2.1	Stejnoseměrný motor	8
4.2.2.2	Střídavý motor.....	9
4.2.3	Baterie	11
4.2.3.1	Charakteristiky a požadavky na baterie	12
4.2.3.2	Systém správy baterie (Battery Management System – BMS).....	16
4.2.4	Nabíjení	17
4.2.4.1	Nabíjecí režimy	20
4.2.4.2	Druhy nabíjecích konektorů.....	21
4.2.5	Další druhy elektrických vozidel	26
4.2.5.1	Hybridní automobily	27
4.2.5.2	Vozidla s palivovými články (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles)	31
5	Praktická část práce.....	33
5.1	Testovaná vozidla	33
5.1.1	Škoda Enyaq iV 80	33

5.1.2	Renault Zoe	34
5.1.3	Nissan Leaf	34
5.2	Testovací trasa	34
5.3	Diagnostické nástroje.....	36
5.4	Měření parametrů během jízdy	37
5.4.1	Použité výpočty	37
5.4.2	Mimoměstský provoz.....	38
5.4.3	Městský provoz – Kralupy nad Vltavou	39
5.4.4	Městský provoz – Praha	40
5.4.5	Dálniční provoz.....	41
5.4.6	Celoroční výsledky	42
5.5	Měření parametrů při nabíjení	43
5.5.1	Nabíjení Škoda Enyaq.....	43
5.5.2	Nabíjení Renault Zoe	44
5.5.3	Nabíjení Nissan Leaf.....	45
6	Závěr.....	46
7	Seznam použité literatury	48
8	Seznam obrázků	52
9	Seznam tabulek	53

1 Úvod

Neustálý růst počtu automobilů způsobuje spoustu problémů, jako jsou dopravní kongesce, nedostatek parkovacích míst nebo znečištění ovzduší. Většina těchto problémů se vyskytuje v městských oblastech. Vzhledem k tomu, že spalovací motory, ať už zážehové nebo vznětové, pohánějí většinu současných automobilů, se zejména větší města potýkají se špatnou kvalitou ovzduší. Právě nahrazení konvenčních automobilů elektromobily, by pomohlo se zlepšením této situace. Městská doprava je specifická krátkými vzdálenostmi, takže odpadá problém s krátkým dojezdem. I když dojezd dnešních elektromobilů standardně dosahuje 300 km, což by pro většinu uživatelů mělo být vyhovující pro každodenní užívání. Na druhou stranu existuje stále nevyřešený problém s nabíjením. Jelikož většina lidí bydlí v bytových domech, nemají možnost domácího nabíjení, a proto by se musely vybudovat stanice poblíž obytných oblastí, pracovišť, obchodních center apod. Stanice se sice ve velké míře budují, ale stále jich není dostatek.

K rozvoji a rozšíření elektromobilů také přispívá nově schválená legislativa EU, která stanovuje nulové emise CO₂ u nových osobních automobilů a lehkých užitkových vozidel v roce 2035. Kromě snížení emisí si legislativa slíbje odklon od neobnovitelných zdrojů směrem k obnovitelným právě kvůli zmenšujícím se zásobám ropy, nebo problémy s jejími dodávkami.

I když se elektromobilita jeví jako řešení, stále existuje mnoho problémů, které brání jejímu masivnějšímu rozšíření. Jedním z největších problémů jsou baterie, které mají stále vysokou cenu a od ní se odvíjí i cena automobilu. Dalším problémem je těžba prvků potřebných pro výrobu baterie, která je energeticky náročná. Dále pak není zcela vyřešena likvidace nebo recyklace baterie po ukončení její životnosti.

Většina světových výrobců automobilů v současné době investují do vývoje elektrických vozidel velké částky, a lze tak v budoucnu očekávat velký pokrok. Po vyřešení zmíněných problémů, snížení ceny elektromobilu a vybudování dostatečné infrastruktury dobíjecích stanic by mohlo dojít k většímu rozšíření.

2 Cíl práce

Cílem teoretické části je vytvořit přehled oblasti elektromobility. Popsat elektrická vozidla, jejich technologii a způsoby nabíjení.

Cílem praktické části je porovnat provozní parametry různých elektrických vozidel v různém prostředí. Porovnání v městském provozu, na dálnici, v letním a zimním období atd. Dále porovnat nabíjení jednotlivých elektromobilů

3 Metodika práce

K vypracování teoretické části budou využity analýzy odborných informačních zdrojů, databází a knih zabývajících se problematikou elektromobility.

Analýza provozních parametrů bude provedena na vozidlech Škoda Enyaq, Renault Zoe a Nissan Leaf. Testovací trasa obsahuje městské, mimoměstské a dálniční úseky. Data budou získávána pomocí diagnostických přístrojů TEXA. Dalším analytickým nástrojem bude GPS, který bude snímat aktuální polohu vozidla, nadmořskou výšku a také rychlost. Výsledky budou zpracovány v programu MS Excel.

4 Přehled řešené problematiky

Elektromobilita by se dala definovat jako používání elektrických automobilů, ale i motocyklů, autobusů nebo také elektrokol. Společným znakem všech těchto dopravních prostředků je, že jsou plně nebo částečně poháněny elektrickou energií, mají prostředky pro ukládání energie a energii získávají především z elektrické sítě. Elektrické vozy jsou tiché, účinné a nízko-emisní. Do pojmu elektromobility patří i dobíjecí infrastruktura.[1]

Podle průzkumu mezinárodního panelu pro změnu klimatu (IPCC) je doprava zodpovědná za 24 % všech emisí CO₂ na světě. Elektromobily, na rozdíl od benzinových nebo naftových automobilů, vypouštějí při jízdě téměř nulové emise. I přesto jsou elektromobily CO₂ neutrální v plném slova smyslu pouze tehdy, pokud jsou baterie a elektřina pro jejich pohon vyráběny z obnovitelných zdrojů energie.[1]

4.1 Historie elektromobility

Myšlenka pohánět automobil elektřinou není vůbec nová. První elektromobily vznikly v první polovině 19. století. V roce 1828 Ányos Jedlik vynalezl elektrický prototyp elektrického motoru. O šest let později, Thomas Davenport, postavil prototyp malého modelu auta na kolejích. Tyto pokusy z důvodu malé kapacity a nemožnosti dobíjení skončily neúspěchem.[2][3]

Velká změna přišla v roce 1859, kdy Francouz Gaston Planté vynalezl olověnou baterii, která se používá dodnes. Její výhody, oproti starším typům baterií, byla vyšší kapacita, a hlavně možnost opětovného dobíjení, což poskytovalo dobrý základ pro větší rychlost a dojezd elektromobilů. Okolo roku 1900 bylo 38 procent z veškeré produkce automobilů v USA elektrických (z 4192 vyrobených vozů, 1575 elektrických).[3]

Elektrické vozy překonávaly i rekordy, když v roce 1899 vůz Jamais Contente překonal rychlost 100 km/h. Vůz měl 2 motory s výkonem 25 kW a karoserii tvořenou z prvků hořčíku a hliníku. Tato karoserie vážila pouhých 200 kg, ale s olověnými články a motory přesáhl vůz hmotnost 1000 kg.[4]

První český elektromobil vznikl v roce 1895 a zkonstruoval ho František Křížík. Byl poháněn stejnosměrným motorem o výkonu 3,6 kW, který byl napájen olověným akumulátorem se 42 články. Jeho další vůz byl poháněn dvěma elektromotory, a navíc byl vybaven benzinovým agregátem, který vyráběl elektřinu pro baterie a zajišťoval větší dojezd. Jednalo se tedy o hybrid. Toto řešení používal i Ferdinand Porsche.[4][5][6]

I když se přelom 19. a 20. století zdál pro elektromobily slibný, tak představení Fordu model T mělo za následek jejich úpadek. Ford měl výhodu v dojezdu přes 200 km a rychlost 60 km/h. Rychlá výroba a levné součástky snižovaly cenu, která klesla z 850 dolarů na polovinu. Elektromobil podobných parametrů by stál 1700 dolarů.[3][4]

Další rána pro elektromobily přišla v podobě nalezení nových ložisek ropy a následným výrazným snížením ceny benzínu. V roce 1912 byl vynalezen elektrický startér, díky kterému odpadla další velká nevýhoda benzinového auta – nepohodlné, fyzicky náročné startování klikou. Nízká rychlost a krátký dojezd elektromobilů způsoboval malý zájem zákazníků. Na druhou stranu prodeje spalovacích motorů stále rostly a ceny klesaly. Velkou výhodou

elektromobilů nadále byla tichost. To ale nebylo dostačující a elektromobily se dostaly do pozadí až do Druhé světové války. V průběhu Druhé světové války nedostatek ropy vzbudil opět zájem o elektrická vozidla. Toto úsilí ale bylo pouze krátkodobé.[3]

Až v devadesátých letech začali velcí výrobci nabízet elektrické vozy. V letech 1980 až 1990 pracovala firma General Motors na uvedení elektromobilu na trh. V roce 1990 předvedli automobil EV1 a do roku 2002 se jich vyrobilo 1 117.

V roce 2011 se Mitsubishi MiEV stalo prvním elektromobilem, kterého se prodalo více než 10 000 kusů. O pár měsíců později převzal toto prvenství Nissan Leaf a stal se tak vůbec nejprodávanějším elektromobilem. Úspěch Nissanu Leaf byl impuls pro další velké výrobce automobilů, aby začali vyrábět svá elektrická vozidla.[2]

4.2 Elektromobil

Elektromobil je rozsáhlý pojem, který zahrnuje jakékoliv vozidlo, které ke svému pohonu využívá elektřinu. Elektromobily se dělí na elektromobily na baterie (BEV – Battery Electric Vehicles), hybridní elektromobily (HEV – Hybrid Electric Vehicles) a elektromobily s palivovými články, které v současnosti využívají téměř výhradně vodík (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles).[7]

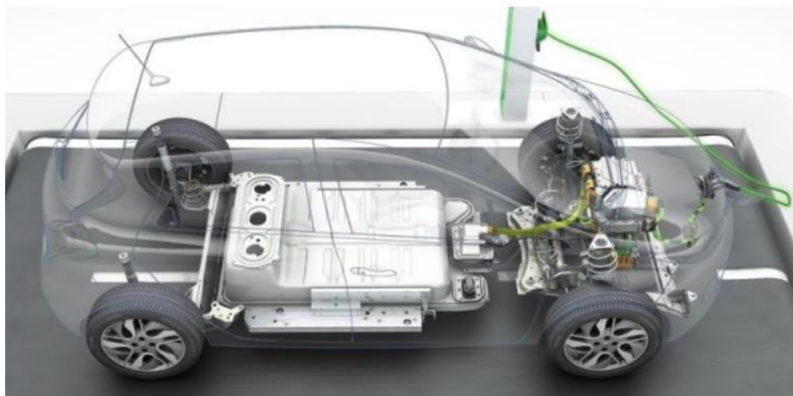
4.2.1 Bateriová elektrická vozidla (BEV)

Bateriová elektrická vozidla využívají pro svůj pohon výhradně elektromotory a baterie pro skladování elektrické energie. Nejjednodušší hnací ústrojí se skládá z vysokonapěťové baterie, elektromotoru, regulátoru výkonové elektroniky a jednostupňové převodovky.[8][9]

V porovnání s automobily se spalovacím motorem má elektromobil vyšší celkovou účinnost, která u něj dosahuje alespoň 75 %, zatímco u konvenčního automobilu může jeho účinnost v extrémních případech klesnout až k 15 %. Zároveň jsou elektromobily méně náročné na údržbu, protože se skládají z méně mechanických částí. Na druhou stranu existují i nevýhody. Mezi ně patří stále pomalé nabíjení v porovnání s dotankováním nádrže, krátký dojezd, velká hmotnost a vysoká cena baterií.[8]

Většina elektromobilů je složena tak, že hnací ústrojí má umístěné na přední nápravě a vysokonapěťovou baterii v podlaze mezi přední a zadní nápravou. Toto uspořádání poskytuje

mnoho prostoru pro cestující a v zavazadlovém prostoru. Na obr. 1 je znázorněno hnací ústrojí Renault Zoe.[9]



Obr. 1 Hnací ústrojí Renault Zoe [10]

Vysokonapěťová baterie je nejtěžší elektrická součást vozidla a pokud se umístí nízko do podlahy, sníží se těžiště alepší se celková stabilita vozidla. Toto by se dalo považovat za další výhodu oproti konvenčnímu automobilu.[9]

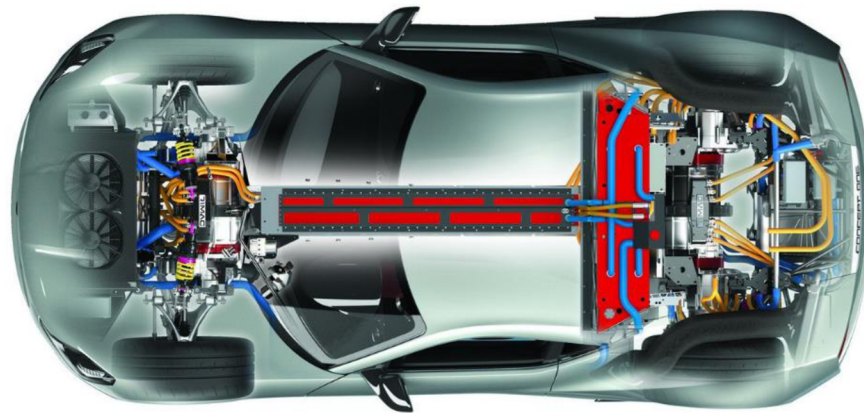
Elektromobily s vysokým výkonem, jako je Tesla Model S, mají dva trakční elektromotory. Jeden na přední nápravě a druhý na zadní. Oba motory mají svůj vlastní regulátor výkonové elektroniky. Toto uspořádání, které je vidět na obr. 2 umožňuje pohon čtyř kol a také lepší zrychlení a jízdní dynamiku.[9]



Obr. 2 Šasi a motory Tesla Model S [9]

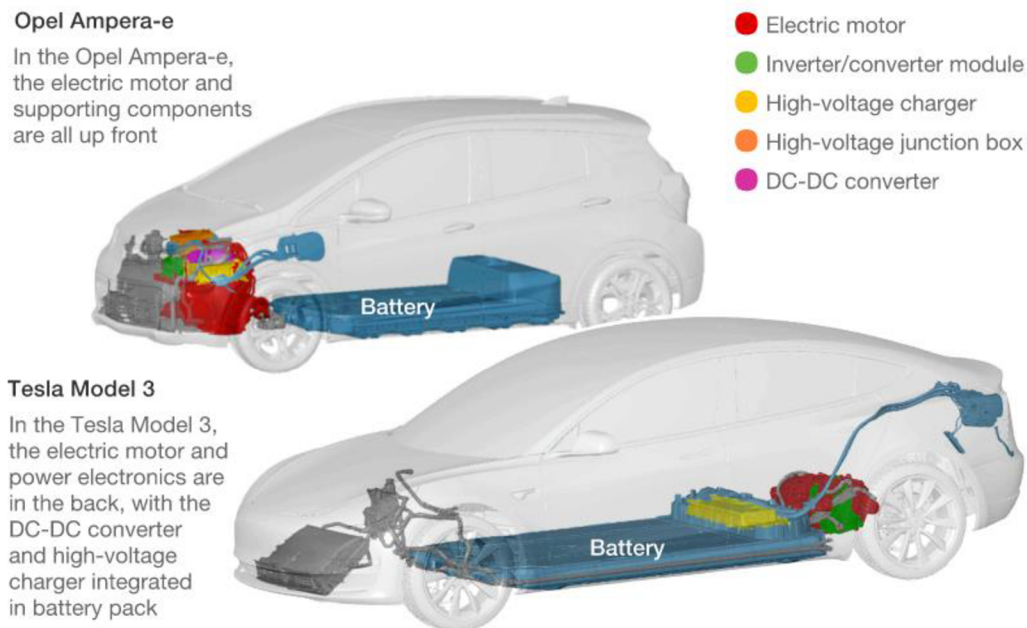
Vozidla s extrémním výkonem, jako je Rimac Concept_One mají hnací ústrojí složené ze čtyř elektromotorů, každý na jedno kolo. Každý motor má svou vlastní převodovku, která je na přední nápravě jednostupňové a na zadní dvoustupňové. Vysokonapěťová baterie je

umístěna do tvaru „T“ mezi přední a zadní nápravu. Toto uspořádání lze pozorovat na obr. 3. [9]



Obr. 3 Rimac Concept_One [9]

Elektrická vozidla se stále vyvíjí a jejich poměrně jednoduchá konstrukce přispívá k velké rozmanitosti designu pohonné jednotky. Jelikož součásti elektromobilu jsou menší a jejich uspořádání závisí také na volném prostoru v karoserii automobilu, mají výrobci při návrhu hnacího ústrojí větší volnost než u automobilu se spalovacím motorem. A tak i podobná vozidla mohou mít naprosto odlišnou koncepci. Na následujícím obr. 4 lze pozorovat rozdíl v uspořádání, kdy Opel Ampera-e má své hnací ústrojí poskládané podobným způsobem jako v konvenčních automobilech, včetně typických komponentů karoserie a nápravy, zatímco u Tesly Model 3 je většina komponentů integrována do zadní části automobilu přímo na zadní nápravu. Toto uspořádání umožňuje využít přední část pro přídavný úložný prostor.[11]



Obr. 4 Rozdíly v uspořádání hnacího ústrojí [11]

Součástí pro skladování energie se nazývá vysokonapěťová (HV – high voltage) baterie. Ve většině případů se její nominální napětí pohybuje mezi 360 a 450 V. Kromě této baterie má elektrické vozidlo ještě nízkonapěťovou baterii (obvykle 12 V), která se používá k napájení přídatného vybavení, jako je multimediální systém, světla atd.[9]

Pro pohon elektrických vozidel se používají elektromotory, které ale dokážou produkovat elektrickou energii i během brzdění. Tento proces se nazývá rekuperace. Když vozidlo zrychluje, odebírá se elektrická energie z baterie a motor vytváří točivý moment. Pokud ale elektromobil zpomaluje, elektrický motor funguje jako generátor a přeměňuje kinetickou energii vozidla na elektrickou energii, kterou dodává zpět do baterie.[9]

4.2.2 Elektromotor

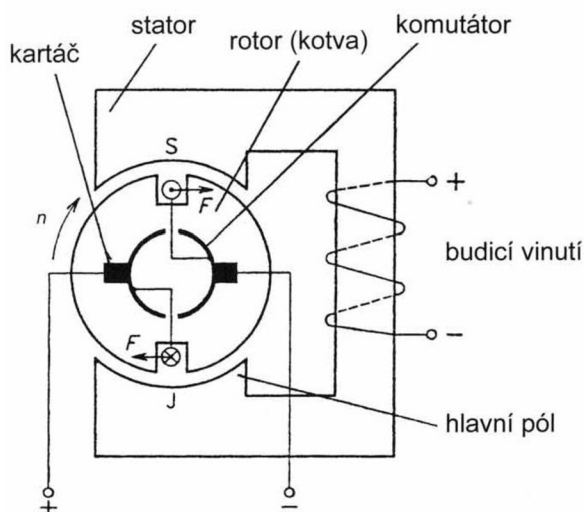
V zásadě je možno ve stavbě elektromotorů použít celou řadu tradičních principů činností, využitelných pro trakční pohony. Trakční elektromotory jsou definovány především hodnotou momentu, menší význam má hodnota výkonu. Motory musí mít spolehlivou konstrukci a disponovat dostatečným výkonem ve velkém rozsahu otáček. Dále je důležitá kompaktní stavba při malé hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, nízké náklady na údržbu a výhodná cena.[12]

Elektromotory se dělí na dvě hlavní skupiny, a to na motory stejnosměrné a střídavé, podle toho, jaký zdroj proudu využívají pro svůj chod. V současnosti se v elektrických vozidlech využívají převážně motory střídavé.

4.2.2.1 Stejnosměrný motor

Stejnosměrný motor se skládá ze statoru, rotoru a komutátoru. Stator je tvořen ocelovým prstencem, na kterém jsou uloženy póly s budícím vinutím nebo může být buzen permanentními magnety. Póly tvoří pravidelně se střídající magnetické návstavce, které mají opačnou polaritu. Za hlavním pólem dané polaridy se ve směru otáčení kotvy nachází pomocný pól stejné polaridy. Stator vždy obsahuje minimálně dva póly, ale běžně má i více pólů, které napomáhají plynulosti chodu motoru. Rotor je složen z elektrotechnických plechů, v jejíž drážkách nese rozložené vinutí s cívkami, které jsou vyvedeny k mechanickému komutátoru. Ke komutátoru přiléhají grafitové nebo elektrografitové kartáče (uhlíky).[13, 14]

Magnetický tok je vybuzen budícím vinutím ve statoru. Proud se do rotoru přivádí přes kartáče a komutátor, který plní funkci přepínače a mění směr elektrického proudu a polaritu magnetického pole procházející rotorem. Tímto je zajištěno, že síla působící na póly rotoru má stále stejný směr. Schéma stejnosměrného motoru je znázorněno na obr. 5.[15]



Obr. 5 Schéma stejnosměrného motoru[14]

K regulaci stejnosměrných elektromotorů se používá elektronická regulace napájení vinutí motoru pomocí křemíkových tyristorů s pravouhlým průběhem napětí. Zvolená střední hodnota proudu je nastavována změnou frekvence a amplitudy.[15]

Tyto motory disponují velkou přetížitelností, která při trvalém výkonu po dobu jedné hodiny dosahuje 20 % nad trvalým výkonem. Při rozjezdu dosahuje přetížitelnost krátkodobě až 100 %. Nejvyšší dosažitelné otáčky jsou přibližně 7000 min^{-1} a z toho důvodu je všeobecně potřebné použít vícestupňovou převodovku. Nejlepší využití těchto motorů je pro krátkodobé zrychlení[8][15]

Nevýhodami těchto motorů je velká hmotnost, malá účinnost, malá spolehlivost a velké nároky na údržbu, která je způsobena opotřebením kartáčů, které vyžadují pravidelnou výměnu. Naopak jejich hlavní výhodou je jednoduchý systém řízení, díky kterému se snižuje i celková cena motoru. [8, 15]

4.2.2.2 Střídavý motor

Stejně jako stejnosměrné motory se střídavé motory skládají ze statoru a rotoru. U těchto typů motoru není potřebný komutátor a kartáče kvůli periodickému průběhu střídavého proudu. V porovnání se stejnosměrnými motory, mají střídavé motory výhody ve větší účinnosti, větší hustotě výkonu, menší hmotnosti a jejich nulových nároků na údržbu. Největší nevýhodou je cena výkonové elektroniky, která je potřebná k přeměně stejnosměrného proudu z baterie na proud střídavý.[8]

Střídavé motory s největším potenciálem pro využití v elektrických pohonech jsou asynchronní (indukční) motory, synchronní motory a spínaný reluktanční motor.[8]

a) Asynchronní (indukční) motory

Asynchronní motor je často používán s rotorem nakrátko složeným z několika pólových párů. Stator je obvykle třífázový, vinutý do hvězdy nebo do trojúhelníku. Rotující magnetické pole ve statoru indukuje napětí v rotoru, který, protože se jedná o kompletní obvod, způsobuje tok proudu. Vlivem indukovaného proudu působí síly magnetického pole na rotor, který se otáčí. Rozdíl otáček rotoru a otáček točivého magnetického pole statoru se nazývá skluz a největší účinnost motor dosahuje, pokud je skluz okolo 5 %. Indukční motory se většinou používají ve větších vozidlech, jako jsou například SUV.[8, 12, 16]

b) Synchronní motory

Na rozdíl od předchozího typu motoru se v tomto případě rotor otáčí synchronně s točivým polem. Stator má stejnou konstrukci jako asynchronní motor a rotor je tvořen

permanentním magnetem, nebo elektromagnetem. Elektromagnet je složen ze svazku plechů a vinutí napájeného přes sběrné kroužky stejnosměrným elektrickým proudem. Po zapnutí elektromotoru se ve statoru vytváří točivé magnetické pole a póly rotoru se střídavě přitahují protipóly a odpuzují souhlasnými póly statoru. Rotor se v tomto uspořádání sám neroztočí a je tak potřeba použití vnější síly, která rotor uvede do pohybu. K tomu se používá pomocný rozběhový systém, například klecové vinutí. Poté je rotor točivým magnetickým polem vtažen do synchronních otáček a pohybuje se dále synchronně. Výhodou tohoto motoru je, že je to ideální generátor. Je také velmi podobný alternátoru používanému v konvenčních automobilech.[12, 16]

Synchronní motory se používají v menších a středních osobních automobilech a také v aplikacích, kdy je motor umístěn uvnitř kola.[8]

c) Spínaný reluktanční motor

Spínané reluktanční motory pracují na základně spínání proudů ve vinutí statoru v reakci na změny v magnetickém obvodu tvořeném rotorem a státorem. Stator obsahuje vinutí, ale rotor je jednoduše vyroben z oceli, která je vytvarována do vyčnívajících pólů, které jsou však bez vinutí nebo magnetů. Aby se předešlo situaci, kdy se všechny póly rotoru a statoru zarovnají (v ten moment by nevznikal žádný točivý moment), je na rotoru méně pólů než na statoru.

Když jsou póly rotoru a statoru vyosené, magnetický obvod mezi nimi má vysokou reluktanci (magnetický odpor). Když jsou páry statorových pólů napájeny, rotor se otáčí, aby se vyrovnal s napájenými póly statoru, což minimalizuje reluktanci magnetického obvodu.

Napájení pólů statoru musí být přesně načasováno, aby bylo zajištěno, že k němu dojde, když se pól rotoru blíží k vyrovnání s napájeným pólem statoru. Reluktanční motory tak vyžadují zpětnou vazbu polohy, aby řídily komutaci statorových proudů na základě přesné pozice rotoru.[17]

Tyto motory mohou mít velký potenciál pro použití v elektrických vozidlech díky jejich vynikající charakteristice točivého momentu a otáček. Nicméně, jejich nevýhody převažují a v současné době nejsou použitelné. V následující tabulce 1 je srovnání výhod a nevýhod těchto motorů.[8]

Tabulka 1 Porovnání střídavých elektromotorů [8]

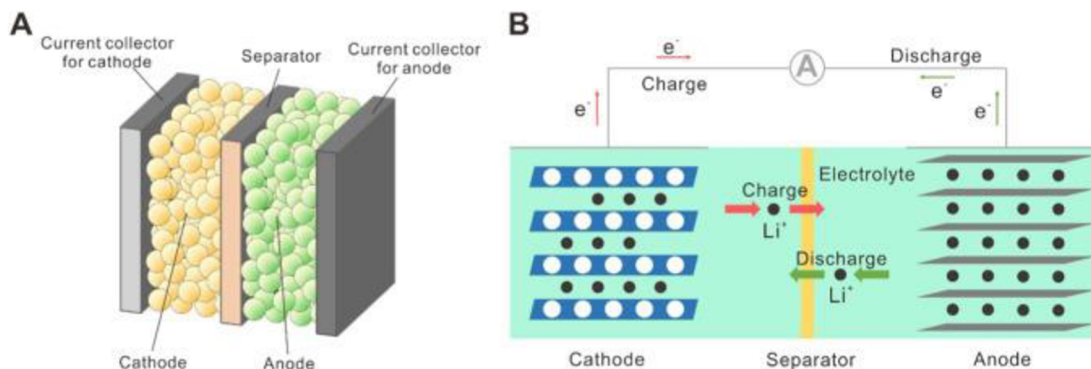
Druh motoru	Výhody	Nevýhody
Asynchronní motor	Splehlivý	Velké ztráty
	Malá údržba	Malá účinnost
	Nízká cena	Nízký rychlostní poměr
	Odolný v náročných provozních podmínkách	Složitě řízení
Synchronní motor	Malá velikost	Nízký rychlostní poměr
	Vysoká hustota výkonu	Nízký výstupní výkon
	Nízká cena	Složitě řízení
	Velká účinnost	
Spínaný reluktanční motor	Vynikající charakteristika točivého momentu a otáček	Nerevnoměrný točivý moment
	Vysoká přetížitelnost a malý ohřev	Velké emise hluku
	Jednoduchá konstrukce	Složitě řízení

4.2.3 Baterie

Elektrochemický článek je zařízení, které skladuje energii ve formě chemické potenciální energie a uvolňuje ji jako elektrickou energii. Nejmenší elektrochemickou jednotkou, která dokáže dodávat energii se nazývá článek. Jelikož napětí jednoho článku je malé, obvykle 3,6 V pro Li-ion baterie, jsou tak jednotlivé články kombinovány do modulů a tyto moduly jsou spojovány do tzv. battery packů.[18]

Každý článek je tvořen pozitivní elektrodou (katoda) a negativní elektrodou (anoda). Mezi nimi se nachází elektrolyt, který umožňuje pozitivně nabitým iontům přecházet mezi elektrodami, a separátor, který zabraňuje vzájemnému kontaktu elektrod a následnému zkratu. Když je článek zapojený do obvodu, elektrony prochází obvodem mezi elektrodami.[18]

Když dochází k nabíjení baterie, elektrony tečou obvodem od katody k anodě, zatímco pozitivně nabité ionty prochází paralelně elektrolytem. Když se baterie vybíjí, proces je opačný. Na obr. 6 je tento proces schematicky znázorněn.[18]



Obr. 6 Schéma funkce baterie [19]

4.2.3.1 Charakteristiky a požadavky na baterie

Jelikož naprostá většina elektrických vozidel na trhu v současné době využívá lithium-iontové baterie, bude tato práce zaměřená převážně na toto chemické složení. Ačkoliv vývoj li-ion baterií jde stále dopředu, je tato technologie stále drahá a je tedy snaha o nalezení alternativy, která by měla optimální parametry následujících charakteristik.

a) Bezpečnost

Baterie by měla splňovat bezpečnostní požadavky, tak by při provozu nehrozilo žádné riziko tepelného úniku nebo exotermického chování v případě havárie nebo zkratu. Je velmi důležité zvolit správný bateriový systém v kombinaci se správnými nabíjecími, vybíjecími a skladovacími podmínkami, tak aby byl zajištěn spolehlivý a bezpečný provoz. Li-ion baterie mají obvykle hořlavý elektrolyt udržovaný pod tlakem. Příliš nízké či vysoké napětí na konci vybíjení nebo vysoká rychlost nabíjení/vybíjení mohou ovlivnit nejen životnost, ale také může způsobit přetížení, což může mít za následek prasknutí nebo až výbuch článku. Zkrat baterie způsobí přehřátí článku, který následně může začít hořet. Od tohoto článku se budou přehřívat a selhávat sousední články, což nakonec může způsobit vzplanutí celého battery packu. K tomu, aby se zajistily správné provozní podmínky a předešlo se těmto bezpečnostním rizikům se používá management baterie (Battery Management System-BMS).[20]

b) Životnost baterie

Maximální kapacita baterie se v důsledku jejího používání a stárnutí snižuje. To je způsobeno zhoršováním stavu materiálů anody a katody v procesu podobném korodování oceli. Prvním měřítkem životnosti jsou nabíjecí cykly baterie. To určuje, kolik nabíjecích a vybíjecích cyklů je baterie schopna vykonat, než dosáhne podmínek, které určují konec její životnosti.

Baterie jsou obvykle považovány za vyhovující, dokud nedosáhnou 80 % z jejich původní kapacity. Kalendářní životnost je další měřítko. Kapacita baterie se může zhoršit v důsledku vedlejších chemických reakcí, které probíhají nejen během nabíjení a vybíjení, ale také během skladování.[18, 20]

c) Energetická hustota

Rozlišují se dva ukazatele hustoty elektrické energie, které jsou velmi důležité v kontextu elektrických vozidel.

První z nich je specifická hustota, která stanovuje množství energie, které může být uloženo v baterii o dané hmotnosti. Udává se v jednotkách Wh/kg. Množství energie (ve Wh) vydělené specifickou hustotou určí hmotnost baterie. Při výpočtu specifické hustoty je důležité si uvědomit, jaké hmotnosti jsou uvažovány. Například udávaná specifická hustota bateriového článku, používaném v automobilech Tesla je přibližně 250 Wh/kg. Tato hodnota se však výrazně sníží, při sestavení do battery packů, kvůli přidané hmotnosti dalších komponentů, které jsou jeho součástí (např. chlazení).[18]

Vývoj baterií v posledních letech zaznamenal značný pokrok. V minulosti byly v elektrických vozech používány olověné baterie se specifickou hustotou menší než 50 Wh/kg. Současné Li-ion baterie dosahují až pětinasobné hodnoty. Avšak teoretická maximální hodnota specifické hustoty u těchto článků se pohybuje mírně nad 300 Wh/kg, která ale není realisticky dosažitelná, jelikož články nikdy nemají 100 % účinnost. Specifická hustota baterií by musela dosáhnout 700 Wh/kg, aby se vyrovnala kapalným palivům používaných v automobilech.[20]

Druhým ukazatelem je objemová energetická hustota, vyjadřující množství energie, jaké může být uloženo v baterii o daném objemu. Udává se v jednotkách Wh/l. Stanovené množství energie vydělené objemovou energetickou hustotou udává velikost baterie (v L).[18]

d) Výkonová hustota a specifický výkon

Hustota výkonu je množství a rychlost, s jakou lze energii dodat na jednotku objemu, zatímco v případě specifického výkonu je to vztaženo na jednotku hmotnosti. V závislosti na použití, baterie mohou být navrženy s velkým specifickým výkonem, specifickou energií nebo vyrovnaným poměrem obou.[18, 20]

V případě použití v elektrických vozidlech je důležité uvažovat co je prioritou daného vozu. Pokud se navrhuje sportovní automobil, je vhodné použít baterie s vyšším specifickým výkonem, což ale znamená menší specifickou hustotu energie a spolu s tím i kratší dojezd.[18]

e) Operační teploty

Typické operační teploty pro baterie používané v automobilovém průmyslu se pohybují od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota má kromě efektu samovybití vliv i na další vlastnosti akumulátoru. Pokud Li-ion baterie pracuje při velmi nízkých teplotách, snižuje se její kapacita a výkon. Naopak provoz při vysokých teplotách urychluje degradaci baterie, což snižuje její celkovou životnost. Pro optimální provoz baterie je tak zapotřebí použít chladicí, nebo ohřívací systém, který bude udržovat baterii v ideálním rozsahu provozních teplot.[18, 20]

f) Nabíjecí a energetická účinnost

Ideální baterie by byla taková, která dodá zpět 100 % do ní vložené energie. V praxi ale není žádná baterie schopna dosáhnout této účinnosti. I když se účinnost Li-ion baterií pohybuje v hodnotách přes 99 %, část energie dodané při nabíjení se ztratí v článku z důvodu vnitřního odporu.[18]

Dalším důvodem ztráty energie uvnitř baterie je proces, při kterém se v čase samy vybíjí, tzv. samovybití. V průměru Li-ion baterie v důsledku tohoto procesu ztratí, v závislosti na teplotě, v jaké jsou uloženy, několik procent nabití za měsíc.[18]

g) Stav nabití a hloubka vybití

Tyto dvě charakteristiky jsou řidičem za jízdy nejvíce vnímány. Stav nabití procentuálně vyjadřuje, kolik energie z celkové kapacity baterie zbývá. Je to analogie ukazatele paliva v automobilu se spalovacím motorem. Hloubka vybití je přesný opak čili je to procento energie, které bylo použito. Součet těchto dvou charakteristik se rovná celkové kapacitě baterie.[18]

Stanovení úrovně nabití je zásadní pro používání elektrického vozu, protože pokud by určení této hodnoty bylo špatné a automobil se vybil během provozu, tak neexistuje žádná jednoduchá metoda dobití. Bohužel neexistuje žádná přímá metoda měření zbývající energie v baterii, která by předně uváděla, kolik Ah v baterii zbývá. Existuje však několik metod, jak tuto hodnotu stanovit:

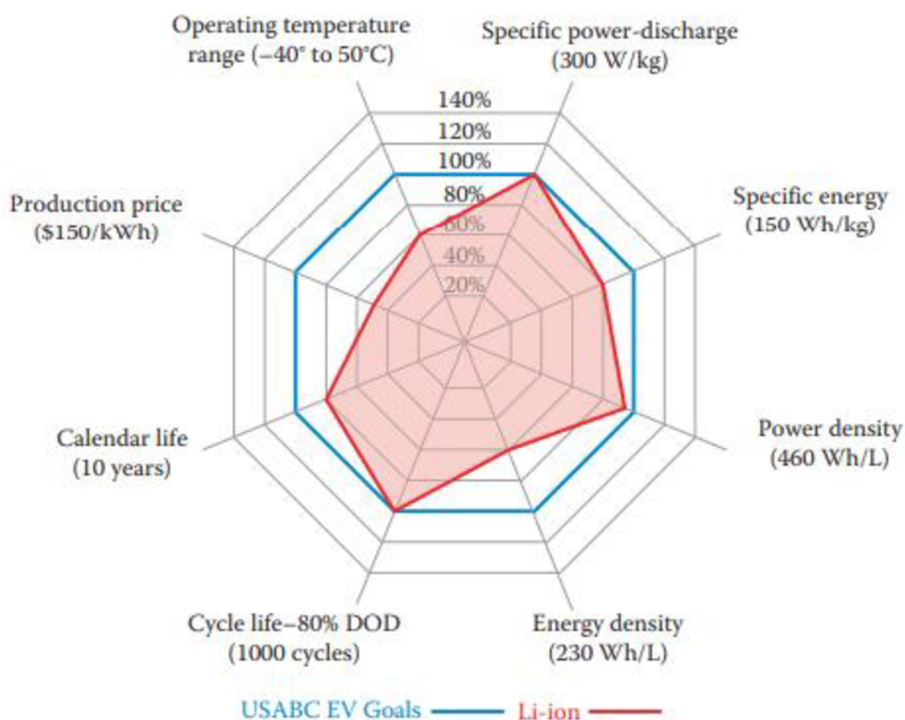
- **Metoda měření napětí**

Napětí baterie klesá spolu se zbývajícím kapacitou. Použitím tohoto známého vztahu mezi napětím a stavem nabití lze za pomoci měření napětí stav nabití odhadnout. Jelikož napětí záleží také na teplotě, zpřesňuje se tato metoda korekcí těchto faktorů.[18]

- **Metoda měření proudu**

Touto metodou, také nazývanou „coulomb counting“, se průběžně měří proud vytékající z baterie a integruje se v čase, čímž se získá odhad kumulativní energie odebírané z baterie. Tato metoda samozřejmě není dokonale přesná, protože trpí odchylkami v čase, kdy se v důsledku stárnutí mění celková kapacita baterie. Přesnost je ale možné zvýšit pravidelným resetováním čítače, například když je baterie plně nabitá.[18]

Konečným cílem pro výkonnost baterií je nabídnout podobnou hustotu podobnou hustotu energie a výkonu, jako v případě ropných paliv používaných v běžných vozidlech při srovnatelných nákladech jako u spalovacích motorů. To však není se současnou technologií proveditelné. Na následujícím obr. 7 jsou vyobrazeny požadavky a parametry současných Li-ion baterií.[20]



Obr. 7 Výkonnost současných Li-ion baterií [20]

4.2.3.2 Systém správy baterie (Battery Management System – BMS)

Pro zajištění bezpečnosti elektromobilů je nezbytný systém správy baterií, který řídí elektroniku dobíjecí baterie, ať už článku nebo sady baterií. Tím, že zajišťuje, aby článek pracoval v rámci svých bezpečných provozních parametrů, chrání uživatele i baterii. BMS sleduje stav baterie, shromažďuje data, kontroluje vnější faktory, které ovlivňují článek a vyrovnává je tak, aby udržoval rovnoměrné napětí napříč články.[21]

Baterie se systémem BMS připojeným k externímu komunikačnímu systému přenosu dat nebo datové sběrnici je označována jako inteligentní baterie. Může obsahovat další funkce a vlastnosti, jako jsou komunikační protokoly inteligentní sběrnice, možnosti vstupů a výstupů, vyvažování článků nebo vestavěné nabíječky a obvody. Všechny tyto funkce mají za cíl poskytovat podrobnější informace o baterii. Pomocí těchto informací lze snížit spotřebu energie.[21]

Chytrá baterie dokáže sama řídit své nabíjení, podávat chybová hlášení, upozornit řidiče na stav nízkého nabití a předpovídat, jak dlouho ještě vydrží pracovat. Dále poskytuje informace o proudu, napětí a teplotě článku.[21]

Hlavní funkce BMS jsou:

- **Monitorování baterie:** Při nabíjení a vybíjení systém BMS sleduje základní veličiny, jako je napětí proud a teplota. Na základě těchto údajů BMS vypočítá stav baterie. Na přístrojové desce poté zobrazuje relevantní informace pro řidiče.
- **Energy management:** Primárním cílem této funkce je napájení důležitých funkcí elektrickou energií. Pro každý z možných režimů (jízda, zaparkované vozidlo) vozidla mohou být upřednostněny různé funkce a je tak velmi důležité, aby všechny řídicí systémy vozidla správně fungovaly v každém režimu.
- **Optimalizace výkonu baterií:** BMS systém zajišťuje nabití všech článků na stejnou úroveň tak, aby byla zajištěna co největší kapacita.
- **Komunikace:** BMS komunikuje s ostatními systémy, jako jsou management motoru, bezpečnostní systémy, klimatizace atd.

- **Kontrola nabíjení:** BMS udržuje baterii v bezpečném provozním rozsahu omezením rychlosti přivádění nebo odvádění elektrického proudu z každého článku. Tím je zajištěna ochrana proti přebíjení, přepětí a hlubokému vybití.
- **Vyrovňávání článků:** Mezi články v bateriích existují malé rozdíly způsobené výrobní tolerancí, různými provozními podmínkami apod. S každým nabíjecím cyklem mají tyto rozdíly tendenci se zvětšovat. Slabší články se přebíjejí, čímž se ještě více oslabují a zvyšuje se riziko poruchy. Udržováním rovnoměrného nabití všech článků baterie, tomu tato funkce zabraňuje.
- **Stanovení úrovně nabití**
- **Stanovení úrovně zdraví baterie:** Úroveň je relativní hodnota, která udává skutečný stav baterie ve srovnání s úplně novou baterií. Lze určit podle poklesu kapacity baterie s rostoucím stářím.
- **Historie (funkce knihy záznamů):** Sledování a ukládání dat po delší časové období je další možnou funkcí BMS. Lze sledovat parametry, jako je počet cyklů, maximální nebo minimální napětí, teplota a maximální nabíjecí a vybíjecí proud.[2]

4.2.4 Nabíjení

Nabíjení, které je v současnosti oproti automobilům se spalovacím motorem stále pomalé, je jedním z největších problémů elektrických vozidel. Zatímco natankování automobilu trvá maximálně 10 minut, u elektromobilu to mohou být až hodiny v závislosti na způsobu nabíjení. Existují dva nejrozšířenější způsoby nabíjení, a to:

a) AC nabíjení

Při nabíjení elektromobilu střídavým proudem se používá palubní nabíječka integrovaná ve vozidle, která se stará o přeměnu zásuvkového proudu na proud akumulátoru. Přijímá tedy střídavý proud a převádí jej na stejnosměrný proud, který je následně poslán do baterie automobilu. Kapacita této palubní nabíječky je tak klíčovým parametrem elektromobilu, protože rychlost nabíjení vozu závisí na tom, jak rychle dokáže přijímat střídavý proud ze zdroje a také na tom, kolik fází je schopen využít.[22]

V průběhu nabíjení pomocí AC dobíjecích stanic je elektrická síť připojena k palubní nabíječce. Hlavní funkcí AC nabíjecí stanice je zprostředkovat potřebnou komunikaci s řídicím systémem vozidla a zajistit bezpečnost vozidla a posádky. Kromě toho nabíječka sděluje vozidlu, jaký maximální proud může v danou chvíli odebírat v závislosti na vytíženosti sítě. Střídavá nabíjecí stanice tak reguluje nabíjení podle proudových možností domu nebo nabíjecího místa, aby nedocházelo k přetěžování sítě.[22]

Hlavní výhodou AC stanic je, že jsou cenově dostupné. Díky nabíjecímu zařízení instalovaného přímo ve vozidle jsou 7x-10x levnější než DC nabíjecí stanice se stejným výkonem. Jejich další výhodou je, že jsou díky nižší ceně mnohem rozšířenější. Zároveň jsou výrazně menší a jejich instalace je jednodušší, rychlejší a levnější. Díky svým vlastnostem jsou střídavé nabíjecí stanice vhodné i pro domácí instalaci a noční nabíjení, tzv. Wallbox.[22]

Při nabíjení z domácí zásuvky může nabíjení trvat až několik hodin kvůli omezenému výkonu přes zásuvku v závislosti na kapacitě akumulátoru a nabíjecím proudem. Doba nabíjení se výrazně zkrátí při použití dobíjecí stanice.[16]

b) DC nabíjení

Stejnosemné nabíjení nebo tzv. rychlé nabíjení se provádí pomocí stejnosměrné nabíjecí stanice, která dokáže měnit střídavý proud (AC) na stejnosměrný (DC), následně "obejde" palubní nabíječku elektromobilu a tento stejnosměrný proud pošle prostřednictvím systému BMS do baterie podle pokynů řídicího systému nabíjení vozidla. Nabíjení tak není omezeno nabíječkou zabudovanou ve vozidle a může probíhat mnohem rychleji.[22]

DC nabíjecí stanice je technologicky mnohem složitější a mnohonásobně dražší než AC nabíjecí stanice, a navíc vyžaduje výkonný zdroj. Kromě toho musí být stejnosměrná nabíjecí stanice schopna komunikovat s vozidlem namísto palubní nabíječky, aby bylo možné upravit parametry výstupního výkonu podle stavu a možností baterie.[22]

Nabíjecí výkon standardní nejrozšířenější DC nabíjecí stanice je 50kW, což je více než dvojnásobek nabíjecí stanice. Ultra-rychlé nabíjecí stanice disponují nabíjecím výkonem až 150kW. Společnost Ionity provozuje nabíjecí stanice s výkonem dosahujícím až 350kW[22][23]

Vedle již zmíněných standardně využívaných způsobů nabíjení existují ještě další, které nejsou velmi rozšířené, ale jedná se spíše o výzkumné a experimentální projekty.

c) Výměna baterie

Na rozdíl od předchozích metod, tento způsob spočívá ve výměně vybité baterie za plně nabitou. Tento proces obvykle trvá 5 minut, což je výrazné zkrácení ve srovnání s typicky 30minutovým a delším čekáním u dobíjecí stanice.

Celý proces probíhá tak, že automobil přijede ke stanici pro výměnu baterií a stanice sama vykoná zbytek práce, včetně zvednutí vozu, odstranění šroubů podvozku a akumulátoru a následné výměny prázdné baterie. To vše probíhá zcela autonomně.

Průkopníkem v této oblasti je čínská společnost Nio, která v současné době provozuje asi 1000 těchto stanic v Číně a 2 v Norsku, přičemž plánuje rozšíření po zbytku Norska a Evropy. Do dnešního dne bylo na těchto stanicích provedeno více než sedm milionů výměn.

Mezi výhody této metody patří již zmíněná rychlost, ale také možnost si baterii u společnosti za relativně nízký poplatek pronajmout, což by mělo za následek větší dostupnost elektromobilů pro veřejnost. Na druhou stranu je vybudování těchto stanic velice nákladné (vybudování jedné stanice stojí přibližně 700 000 EUR a to nezahrnuje náklady na pozemek ani provozní náklady po jejím zprovoznění). A to souvisí s další nevýhodou, kterou je velký vyžadovaný prostor pro provoz. Na stejném prostoru je možné provozovat 10 ultra-rychlých dobíjecích stanic, což by znamenalo, že celkově by se auta rychleji dobíjela, než vyměňovala baterie.[24, 25]

d) Bezdrátové nabíjení

Bezdrátové nabíjení by pro automobilový průmysl znamenalo převratnou změnu a zvýšilo celkovou efektivitu nabíjení. Ačkoli je současný proces zapojení elektromobilu do nabíječky snadný, bezdrátové nabíjení je plynulejší a umožňuje uživateli nabíjet elektromobil, aniž by musel opustit vozidlo.

Při tomto způsobu nabíjení se energie přenáší magnetickým polem pomocí indukční vazby mezi cívkami drátu (indukční nabíjení) nebo elektrickým polem pomocí kapacitní vazby mezi kovovými elektrodami (kapacitní nabíjení). Indukční nabíjení je nejrozšířenější bezdrátovou technologií a bude dominovat i v automobilovém průmyslu.

System se na straně vozidla skládá z přijímací podložky a elektronického modulu. Pozemní strana se skládá z nabíjecí podložky instalované v silnici, která je připojena ke skříně s elektronikou. Tou je generován vysokofrekvenční střídavý proud, který je přenášen nabíjecí podložkou do vozidla.

Tímto způsobem lze elektromobil nabíjet při parkování nad nabíjecí podložkou, aniž by byly připojeny k síti. To by se mohlo stát zásadní součástí budoucích ekosystémů autonomních vozidel. Dále by se bezdrátové nabíjení dalo využít pro nabíjení městských autobusů při čekání v zastávkách.

Vzhledem k tomu, že bezdrátové nabíjení má stále několik problémů, jako jsou nízký výkon a nutnost přesného umístění vozu nad podložkou, je stále ve fázi vývoje a není pravděpodobné, že by se v blízké době rozšířilo.[26]

4.2.4.1 Nabíjecí režimy

Normy IEC 61851 a IEC 62196, které upravují nabíjení elektromobilů, popisují různé režimy nabíjení a typy připojení nezbytné pro nabíjení elektromobilů. Ty jsou uvedeny níže.[26]

a) Režim 1

K nabíjení vozidla se používá střídavý proud z typického zásuvkového zdroje. Pro jednofázovou povoleno napětí do 250 V a do 380 V pro třífázovou. Nabíjecí proud dosahuje maximálně 16 A. V tomto režimu nabíjení neprobíhá mezi vozidlem a nabíjecí stanicí žádná komunikace. Zásuvné zařízení na straně infrastruktury musí být pro svou funkci vybaveno bezpečnostním zařízením, které chrání před poruchovým proudem. Jelikož u starších instalací toto není vždy zajištěno, doporučuje se nabíjení v režimu 2.[27]

b) Režim 2

V tomto režimu se jedná také o pomalé nabíjení střídavým proudem ze standardní zásuvky, ale vedení je prováděno kabelem s integrovanou kontrolní a ochrannou funkcí (IC-CPD – In-Cable Control and Protection Device), který zajišťuje komunikaci s vozidlem. Jmenovité hodnoty proudu a napětí nesmí překročit 32 A a 250 V v jednofázové a 32 A a 480 V v třífázové instalaci. Nabíjecí výkon může dosáhnout až 22 kW, který však nedokážou všechna vozidla využít v důsledku nedostatečného výkonu palubní nabíječky.[28]

c) Režim 3

V režimu 3 nabíjení probíhá pomocí wallboxu nebo nabíjecí stanice, která je trvale připojena k síti střídavého proudu a zahrnuje ochranné a řídicí funkce. Rozsah výkonu je vyšší než u předchozích režimů (od 3,7 kW do 22 kW), čímž je umožněno rychlejší nabíjení. Díky komunikaci mezi vozidlem a nabíjecí stanicí je umožněno ověření, zda je elektromobil správně připojen, zapnutí a vypnutí napájení nebo přenos informací o maximálním povoleném odebíraném proudu. Díky použití vyhrazeného a nezávislého elektrického obvodu se eliminuje riziko připojení k nevyhovující instalaci, čímž je zajištěna bezpečnost. Také je zde zajištěno optimální nabíjení baterií a tím je prodlužována jejich životnost.[28]

d) Režim 4

Na rozdíl od prvních tří režimů se zde provádí nabíjení stejnosměrným proudem dodávaným z nabíjecí stanice přímo do akumulátoru. Jelikož se převodník AC/DC nachází přímo v nabíjecí stanici, obchází tak palubní nabíječku. Výkon nabíjení se pohybuje v rozmezí přibližně od 50 kW do 400 kW. Nabíjení stejnosměrným proudem se nazývá rychlonabíjení, v případě vyšších výkonů ultra rychlé nabíjení. [28, 29]

4.2.4.2 Druhy nabíjecích konektorů

Jako u většiny nových technologií, tak i v oblasti elektromobility se v začátcích vyskytuje plno konkurenčních norem. Každý výrobce používá a vyvíjí své vlastní standardy a postupy a v praxi to znamená, že se používá hned několik různých konektorů pro nabíjení.

Zjednodušeně se nabíjecí konektory dají rozdělit podle oblastí, ve které se používají, nebo také na konektory pro nabíjení střídavým nebo stejnosměrným proudem. Pro AC nabíjení jsou používány tyto typy.[30]

a) Typ 1 J1772, SAE J1772

Na obr. 8 je ukázka konektoru, který byl zaveden v Kalifornii v roce 2001, ale měl výkon pouhých 6,6 kW, a proto v roce 2008 společnost Yazaki vyvinula vylepšenou verzi konektoru s výkonem 19,2 kW, která se v roce 2010 stala standardem pro všechna americká vozidla.

Konektor má pět kolíků. Dva z nich kontrolují velikost nabíjecího proudu, zabráňují pohybu vozu když je připojen a slouží ke komunikaci mezi vozem a nabíjecí stanicí. Nabíjení a uzemnění je zajištěno zbývajících třemi kolíky. Hlavní nevýhodou tohoto konektoru je, že umožňuje použití pouze jedné fáze a nepodporuje vestavěný systém automatického zamykání.

Původně byla tímto typem konektoru vybavena i elektrická vozidla v Evropě, takže řada starších elektromobilů nebo hybridů je stále vybavena typem 1. Nyní se však používá hlavně v Severní Americe a Asii.[30]



Obr. 8 Typ 1 J1772 [30]

b) Typ 2 – Mennekes

Elektromobily v Evropě používaly konektor typu 1, dokud velké evropské automobilky nezačaly hledat nové řešení, které by využívalo všechny tři fáze. V roce 2003 byly stanoveny nové specifikace IEC 62196, na jejichž základě byl vyroben konektor typu 2 (Mennekes), který se stal novým evropským standardem. Díky tomu, že oba druhy konektorů (Typ 1 i 2) používají pro komunikaci stejný signalizační protokol J1772, mohou výrobci automobilů vyrábět vozidla stejným způsobem a až na konci instalují typ konektoru, který odpovídá trhu, kde se bude vozidlo prodávat.

Má sedm kolíků. Dvěma je zajišťována komunikace s vozidlem, další dva jsou uzemňující a zbylé tři slouží k samotnému nabíjení. Právě díky třem nabíjecím kolíkům je umožněno třífázové nabíjení. Schéma a reálná podoba jsou na obr. 9.[30]



Obr. 9 Typ 2 Mennekes [30]

c) GB/T standard

V Číně byl vyvinut konektor pro nabíjení střídavým proudem GB/T (viz obr. 10), který se jako jediný v celé zemi používá. Díky tomu, že v Číně neexistují jiné typy konektorů, které by si konkurovaly, je usnadněn rozvoj nabíjecí infrastruktury. Čína je také zemí s nejhustší sítí dobíjecích stanic a má největší podíl elektromobilů na světě.

Na první pohled se zdá, že konektor je stejný jako typ 2, ale vodiče uvnitř jsou uspořádány v opačném pořadí, takže nejsou kompatibilní.[30]



Obr. 10 GB/T AC standard [30, 31]

a) CCS Typ 1 a Typ 2 (Combined Charging System)

CCS je řešení pro rychlé nabíjení stejnosměrným proudem. Jedná se o původní konektory, buď typu 1, nebo typu 2, ke kterým jsou ve spodní části přidány další dva kolíky. V případě stejnosměrného nabíjení se tyto dva spodní kolíky podílejí na samotném nabíjení a

z horní části se používá pouze komunikační kolík a zemnicí vodič, který poskytuje referenční bod pro ochranné systémy. Tyto konektory mohou přenášet výkon až 350 kW.

V současnosti se jedná o nejrozšířenější typ stejnosměrného konektoru. Typ 1 je běžný ve Spojených státech, zatímco typ 2 CCS se používá v Evropě. Snahy Evropského parlamentu ohledně používání pouze tohoto typu a ukončení používání ostatních konektorů nebyly zatím úspěšné. Ale i přes to je tento standard nejrozšířenější, především proto, že automobil má pouze jeden konektor, zatímco při použití CHAdeMO musí mít vůz vždy dvě zásuvky. Podobu konektorů lze pozorovat na obr. 11 a obr. 12.[30]



Obr. 11 Typ 1 CCS [30, 32]



Obr. 12 Typ 2 CCS [30, 32]

b) CHAdeMO

CHAdeMO (viz obr. 13) je originální stejnosměrný konektor vyvinutý pěti japonskými automobilkami, které se ho od roku 2010 snažily prosadit jako celosvětový standard. To se sice nepodařilo, ale i tak počet nabíječek s tímto konektorem stoupal.

Evropský parlament se pokusil prosadit směrnici, aby tento konektor z Evropy postupně zmizel ve prospěch CCS. Současné znění uvádí, že každá rychlonabíjecí stanice musí mít alespoň konektor CCS, což ale znamená, že nabíjecí stanice může mít i více druhů konektorů. Samotní výrobci však od těchto konektorů upouštějí. V současné době se vyrábějí pouze dva elektromobily s tímto konektorem a jeden z nich již přechází na CCS, takže se zdá, že tento standard bude běžný pouze v Japonsku a Číně. V roce 2018 představila asociace CHAdeMO druhou verzi svého konektoru, která umožňuje nabíjet až 400.[30]



Obr. 13 CHAdeMO konektor [30, 33]

c) GB/T

Stejně jako v případě nabíjení střídavým proudem existuje v Číně i standard pro nabíjení stejnosměrným proudem, kterým je konektor GB/T (viz obr. 14). V současné době asociace CHAdeMO spolupracuje s Čínou na vývoji ultrarychlého konektoru schopného nabíjet až 900 kW.[30]



Obr. 14 GB/T DC konektor [30, 34]

d) Tesla

Tesla ve svých vozech používá jiné konektory než ostatní výrobci, což jejím zákazníkům umožňuje nabíjet na vlastních nabíjecích stanicích, které nelze použít pro jiné vozidlo. Tesla také nabízí adaptéry, aby bylo možné vozidlo nabíjet i na jiných nabíjecích stanicích, které nedisponují konektorem Tesla.

V současnosti se však Tesla ve svých nových modelech prodávaných v Evropě přiklonila k používání konektoru CCS typu 2. Zároveň v roce 2021 umožnila využití svých dobíjecích stanic i pro jiné značky automobilů. Konektor je vyobrazen na následujícím obr. 15.[30]



Obr. 15 Tesla konektor [35]

4.2.5 Další druhy elektrických vozidel

Vedle čistě elektrických bateriových vozidel existují i další, která elektrickou energii využívají buď pro podpůrné pohony nebo si ji vyrábí přímo ve voze pomocí palivových článků.

4.2.5.1 Hybridní automobily

Hybridní vozidlo kombinuje několik různých zdrojů energie pro svůj pohon. Může to být například spalovací motor, elektromotor a baterie, setrvačnický a spalovací motor atd. Nejobvyklejším uspořádáním je spalovací motor, elektromotor a baterie.

Spalovací motory mají dnes účinnost mezi 30 a 40 %. Vznětové motory jsou nepatrně lepší, zatímco zážehové motory jsou spíše na spodní hranici tohoto rozmezí. Problémem je, že tato účinnost je omezená a lze ji dosáhnout pouze tehdy, když motor pracuje v optimálních podmínkách. V městském provozu se obvykle dosahuje účinnosti nižší než 10 %. Naproti tomu současné elektromotory pracují v širokém rozsahu otáček a zatížení s účinností kolem 90 %.

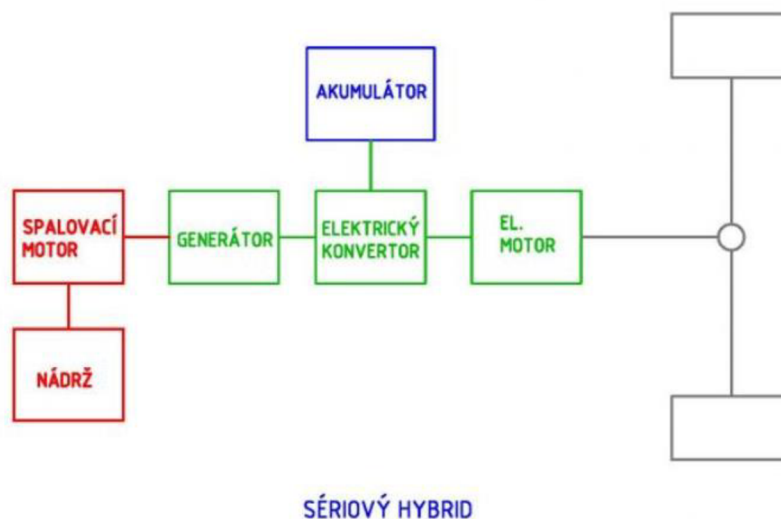
Konfigurace hnacího ústrojí hybridních vozidel lze rozdělit do dvou základních kategorií: sériové a paralelní.[15]

a) Sériový hybrid

Sériový hybridní vůz je podobně jako vozidlo na baterie poháněn pouze elektromotorem. Zdrojem energie je spalovací motor, který pohání generátor. Vyrobený elektrický proud pak pohání trakční motory nebo dobíjí baterie. Jednotlivé pohonné jednotky jsou umístěny jedna před druhou.[36]

Základní výhodou sériového hybridu je, že otáčky spalovacího motoru jsou nezávislé na otáčkách kol. V důsledku toho se spalovací motor pohybuje kolem návrhového bodu (téměř konstantní otáčky), kde dosahuje nejvyšší účinnosti a nejlepší spotřeby paliva. Naproti tomu zde existuje nevýhoda vícenásobné přeměny energie. Mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a poháněnou nápravou je vzhledem k účinnosti nabíjení stěží větší než 55 %.[15]

V porovnání s paralelním hybridem dosahuje vyšších účinností při pomalé přerušované jízdě. Naopak ve vyšších rychlostech se projevují výhody paralelního pohonu. Schéma sériového hybridu je znázorněno na obr. 16.[36]

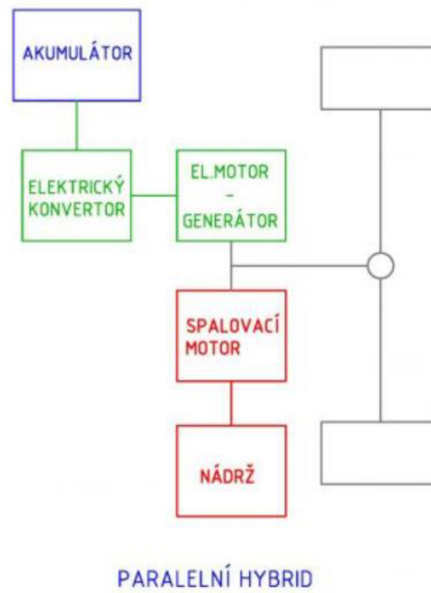


Obr. 16 Sériový hybrid [36]

b) Paralelní hybrid

Tento systém se dnes používá ve většině prodávaných hybridních vozidlech. Automobil má mechanickou převodovku, která spojuje spalovací motor a elektromotor s koly. Elektromotor/generátor je často umístěn mezi převodovkou a spalovacím motorem. Generátor funguje jako alternátor a startér. Elektrická energie je uložena v baterii, která má podstatně vyšší napětí než standardní automobily. Spotřebiče, jako je posilovač řízení nebo klimatizace, jsou obvykle poháněny elektromotorem, aby se zlepšila účinnost spalovacího motoru. V důsledku toho fungují nezávisle na otáčkách motoru a v době, kdy se spotřebič nepoužívá, nespotřebovávají žádnou elektrickou energii.[15]

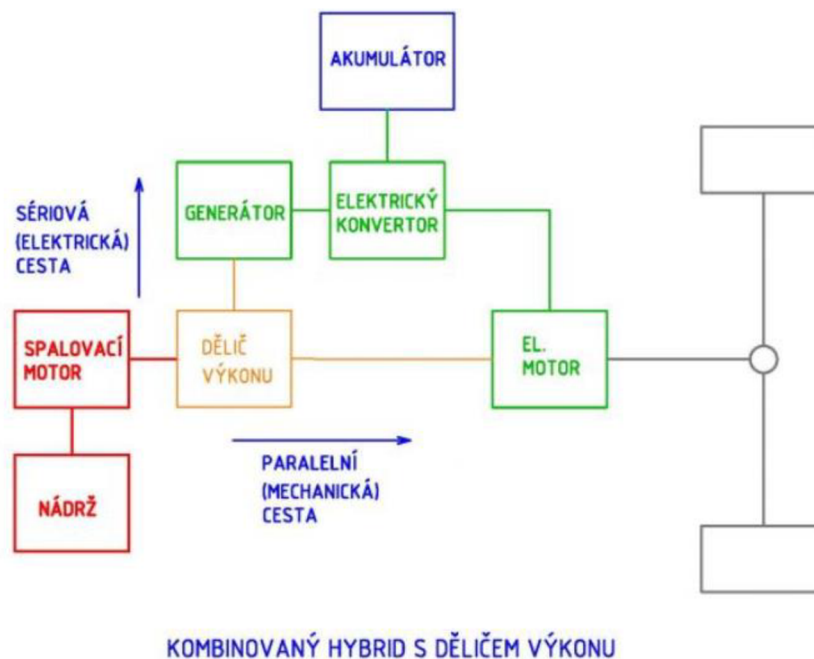
Výsledný moment je určen součtem okamžitých momentů dvou zdrojů energie, které jsou spojeny hřídelí. Pokud je v provozu pouze jeden motor, může být druhý buď odpojen přes spojku, nebo se může otáčet vedle něj, aniž by odebíral energii (volnoběh). V automobilech se nejčastěji používá spojení s planetovými převodovkami. V paralelním hybridu spalovací motor obvykle zajišťuje většinu výkonu, zatímco elektromotor se zapojuje při akceleraci. Výhodou je možnost rekuperace. Schéma paralelního hybridu je znázorněno na obr. 17.[15]



Obr. 17 Paralelní hybrid [36]

c) Kombinovaný hybrid

Má nainstalovaný tzv. dělič výkonu. Ten zaručuje, že se tok výkonu spalovacího motoru dostane ke kolům buď mechanicky (paralelní hybrid) nebo elektricky (sériový hybrid). Jaký podíl výkonu bude putovat mechanickou nebo elektrickou cestou závisí na režimu, ve kterém vůz pracuje. Jedná se například o prudkou akceleraci, jízdu z kopce, jízdu nízkou rychlostí ve městě, jízdu vysokou rychlostí a brzdění. Schéma kombinovaného hybridu lze pozorovat na následujícím obr. 18.[36]



Obr. 18 Kombinovaný hybrid [36]

Dalším možným dělením hybridních automobilů je podle stupně hybridizace, které je rozebráno dále.

a) Micro Hybrid

Micro hybrid je označení pro typ hybridního pohonu, u kterého jsou kola trvale poháněna běžným spalovacím motorem. Automobil disponuje pouze předimenzovaným startérem, který umožňuje častější zhasínání a startování motoru v závislosti na pokynech řídicí jednotky (tzv. Start & Stop systém). Micro hybrid tak nelze provozovat pouze na elektřinu.[37]

Druhá generace tohoto hybridu je vybavena funkcí rekuperace brzděné energie. Startér tedy při brzdění plní funkci alternátoru a dobíjí akumulátor. Úspornost těchto vozidel je však velmi malá a odborníky není považován za plnohodnotný hybridní automobil.[37]

b) Mild Hybrid

Základ mild-hybridu je tvořen elektromotorem a spalovacím motorem. Místo tradičního alternátoru má tento typ hybridu elektromotor (tzv. reverzibilní alternátor), který v některých jízdách pomáhá spalovacímu motoru. Například při rozjezdu, plachtění nebo zrychlování. Díky nahrazení standardního alternátoru elektromotorem jsou zde mnohem širší možnosti rekuperace a využití získané energie, která se ukládá v přídavné 48 voltové baterii.[38]

Mild Hybrid nemůže jezdit čistě na elektřinu a vždy je tedy potřeba spalovací motor. Elektromotor slouží jako tzv. start-generátor a do pohonného řetězce je připojen řemenovým převodem. Elektromotor má schopnost zastavit a spustit spalovací motor za jízdy, což je u standardního startéru technicky nemožné. Většina těchto vozidel disponuje také funkcí Boost (plná akcelerace), která pomocí elektromotoru zvýší výkon v případě potřeby. Tím se kromě hospodárnosti zvyšuje i dynamika a komfort jízdy. Mild-hybridy mohou rovněž účinněji využívat funkci plachtění, která v součinnosti s prediktivním adaptivním tempomatem dále snižuje spotřebu paliva.[38]

c) Full Hybrid

Jedná se o hybridní vozidla s možností pohonu pouze na elektřinu nebo na kombinaci elektrického a spalovacího motoru. To znamená, že je přítomen rozdělovač výkonu. Spalovací motor již není na privilegovaném místě a při výkonových parametrech srovnatelných s konvenčním automobilem má menší objem.[15]

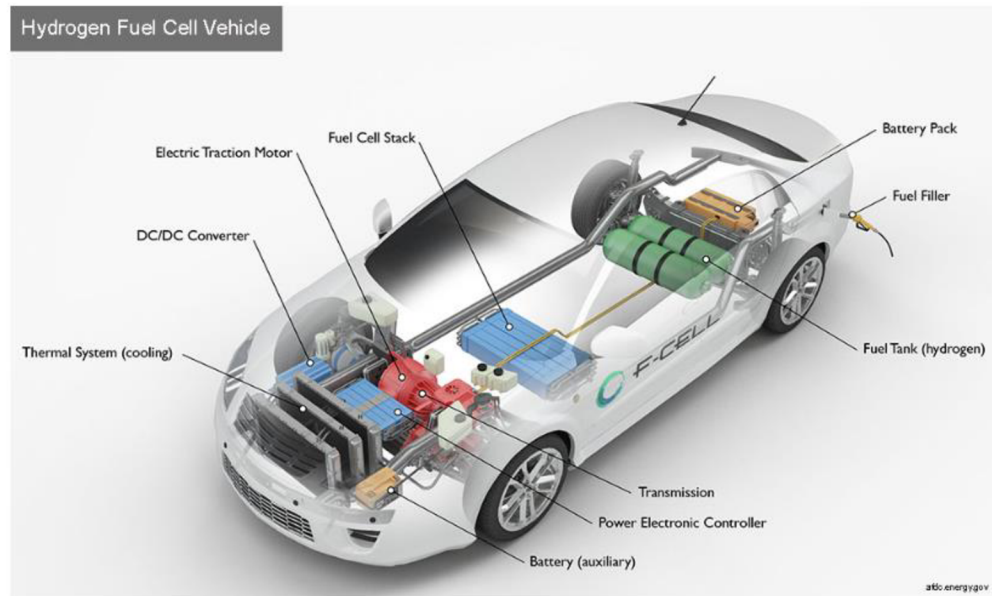
d) Plug-in Hybrid

Plug-in hybrid je v technickém základu full hybrid doplněný o možnost dobíjení trakční baterie z elektrické sítě pomocí kabelu. Jeho výhodou je schopnost provozu na vzdálenosti až 50 km čistě na elektrický pohon bez nutnosti nastartovat spalovací motor. V případě nutnosti ujetí delších vzdáleností není díky spalovacímu motoru závislý na dobíjecí infrastruktuře. Tento systém zlepšuje dynamiku vozidla, zajišťuje rekuperaci brzděné energie a podporuje účinnost motoru, což má za následek nižší spotřebu a emise. Na druhou stranu existují i nevýhody, mezi něž patří vyšší hmotnost, složitější konstrukce, a tím i vyšší pořizovací cena.[8, 39, 40]

4.2.5.2 Vozidla s palivovými články (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles)

Automobily s palivovými články, využívají stejně jako plně elektrická vozidla elektrickou energii k pohonu elektromotoru. Na rozdíl od ostatních elektrických vozidel, které čerpají elektrickou energii pouze z baterie, vozidla s palivovými články produkují elektrickou energii pomocí palivového článku, který je napájen nejčastěji vodíkem. Tento automobil disponuje palivovým článkem i baterií, kterou však ve většině případů nelze dobíjet ze sítě. Akumulátor zde slouží k ukládání energie při rekuperaci brzděné energie, poskytování dodatečného výkonu při krátkém zrychlení a k vyrovnávání výkonu dodávaného z palivového

článku s možností vypnutí palivového článku při nízké potřebě výkonu. Množství energie, uložené ve vozidle se určí podle velikosti vodíkové palivové nádrže. Tím se liší od plně elektrického vozidla, kde množství dostupné energie úzce souvisí s velikostí baterie. Na obr. 19 lze pozorovat části automobilu s palivovými články.[41]



Obr. 19 Automobil s palivovými články [41]

5 Praktická část práce

5.1 Testovaná vozidla

Měření bylo provedeno na elektromobilech Škoda Enyaq iV 80, Renault Zoe a Nissan Leaf. V následující tabulce 2 jsou uvedeny parametry testovaných vozidel.

Tabulka 2 Parametry testovaných vozidel

Parametry	Jednotky	Vozidlo		
		Škoda Enyaq iV 80	Renault Zoe	Nissan Leaf
Kapacita baterie	[kWh]	82	55	40
Využitelná kapacita	[kWh]	77	52	38
Udávaný dojezd (WLTP)	[km]	529	386	378
Udávaná spotřeba (WLTP)	[kWh/100 km]	16	18	14
Max. výkon	[kW]	150	100	110
Max. točivý moment	[Nm]	310	245	320
Pohotovostní hmotnost	[kg]	2 090	1 577	1 535
Výkon palubní nabíječky	[kW]	11	22	4
Max. dobíjecí výkon	[kW]	135	50	46
Max. rychlost	[km/h]	160	140	144
Nabíjecí konektory	[-]	CCS Combo Mennekes	CCS Combo Mennekes	CHAdeMO Mennekes
Rok výroby	[-]	2021	2021	2018
Počet najetých km	[km]	70 000	40 000	90 000

5.1.1 Škoda Enyaq iV 80

Škoda Enyaq je rodinný vůz SUV postavený na platformě MEB koncernu Volkswagen a na výběr jsou dvě varianty baterií. Dostupné kapacity jsou 62 a 82 kWh. Uváděná kapacita je nominální, využitelná je nižší (58 a 77 kWh). Celá baterie je složena z modulů obsahujících lithium-iontové prizmatické články. Jeden článek váží 1073 g a modul obsahuje 24 takových článků. Menší baterie má 9 modulů a větší je složena ze 12 modulů. Na akumulátory je nabízena záruka 8 let/ 160 000 km. Za tuto dobu by neměla původní kapacita klesnout pod 70 %.

K dispozici je několik variant o různých výkonech. Základní provedení disponuje výkonem 109 kW, zatímco nejsilnější verze RS má výkon 225 kW. Pro modely s 82 kWh baterií je k dostání pohon všech kol řešený druhým elektromotorem vpředu.

S dvojicí elektromotorů jsou dostupné verze 80X a RS. Enyaq používá různé elektromotory vpředu a vzadu. Pro modely 80X a RS bude k dispozici dvojice elektromotorů.

Zajímavé je, že Enyaq používá různé elektromotory vpředu a vzadu. Asynchronní elektromotory (75 kW/150 Nm) pohánějí přední nápravu, zatímco synchronní motory s permanentními magnety (150 kW/350 Nm) pohánějí zadní nápravu. Zadní motor slouží vždy jako primární motor. V případě potřeby je připojen přední motor. Pro tento režim je výhodnější asynchronní elektromotor, protože lépe odolává častému krátkodobému přetížení. Také asynchronní varianta bez permanentních magnetů nevyžaduje ke svému provozu nepřetržitý tok napětí, jako to vyžaduje motor s permanentními magnety.[42]

5.1.2 Renault Zoe

Renault Zoe spadá do kategorie malých městských automobilů a byl představen v roce 2012. Popularitu získal jako jeden z nejdostupnějších a nejpraktičtějších elektromobilů na trhu.

Současná generace automobilu nabízí dvě výkonová provedení, a to s motorem o výkonu 80 kW a druhé provedení se 100 kW, které v kombinaci s baterií o kapacitě 52 kWh poskytne dojezd až 390 km. Vůz disponuje konektorem CCS, díky kterému je umožněno rychlonabíjení a palubní nabíječkou o výkonu 7,3 kW (příplatkově 22 kW).[43, 44]

5.1.3 Nissan Leaf

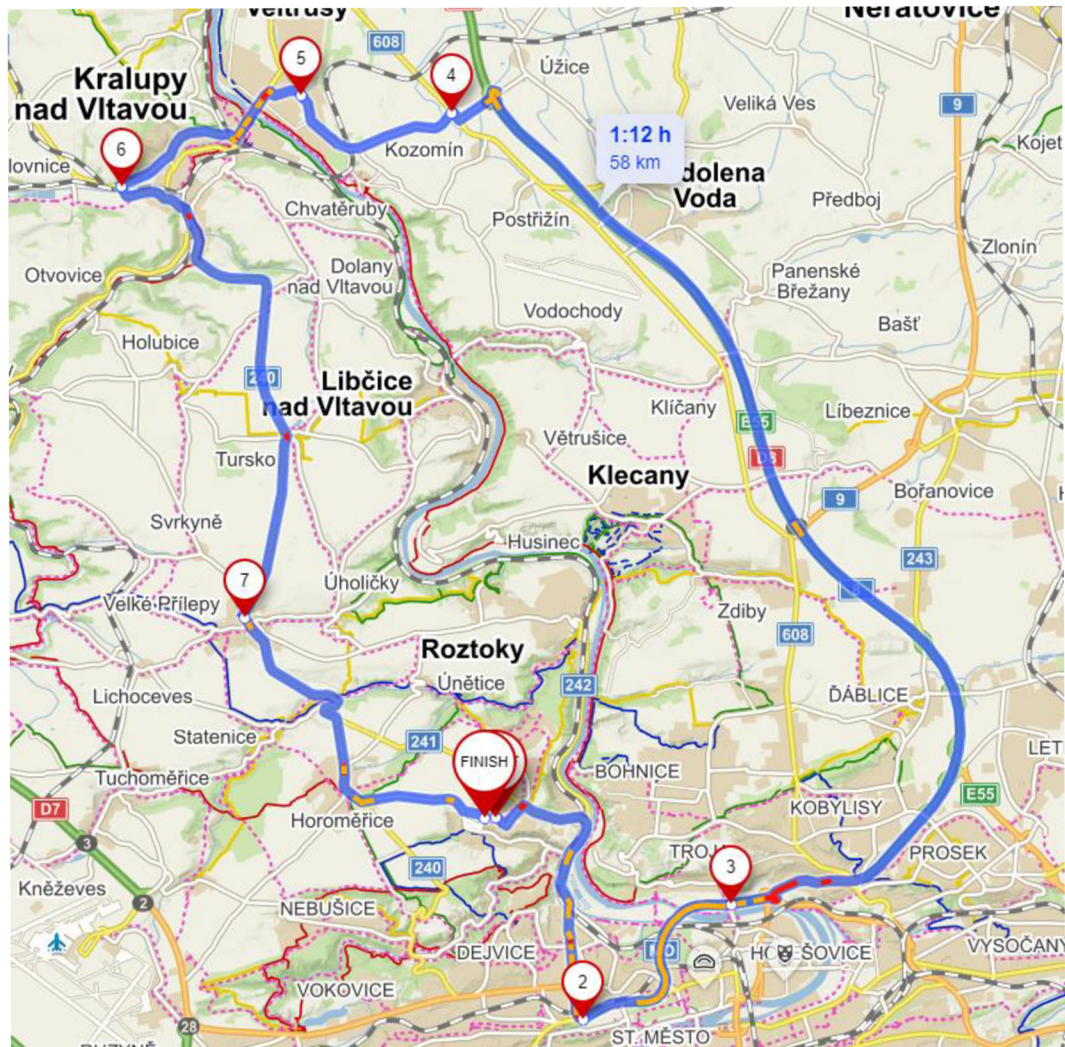
Nissan Leaf je pětidvéřový hatchback a jeho první generace se stala nejprodávanějším elektromobilem na světě. Druhá generace disponuje výkonem 110 kW a 40 kWh baterií. Maximální výkon palubní nabíječky je 6,6 kW a na rychlonabíjecí stanici lze automobil nabíjet až 50 kW.[45]

5.2 Testovací trasa

Testovací trasa odpovídá standardu WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure). WLTP používá nové celosvětově harmonizované zkušební cykly pro lehká užitková vozidla (WLTC) k měření spotřeby paliva, emisí CO₂ a znečišťujících látek u osobních a lehkých užitkových vozidel. Cílem nového protokolu je poskytnout zákazníkům realističtější údaje, které lépe odrážejí každodenní používání vozidla.[46]

Trasa používaná pro testování (viz obr. 20) má délku 58 km. Začátek je u Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze, dále prochází Horoměřicemi, Kralupy nad Vltavou a po dálnici D8 zpět do Prahy a končí znovu u Technické fakulty. Trasa obsahuje dva

městské úseky (10,6 a 15,2 km), jeden mimoměstský úsek (16,5 km) i dálniční úsek (15,6 km). Pokud to bylo možné, byla snaha dodržovat horní limity maximálních povolených rychlostí. Pro eliminaci vlivu větru a převýšení se okruh projížděl oběma směry. Výškový profil trasy je zobrazen na obr. 21.



Obr. 20 Testovací trasa[47]

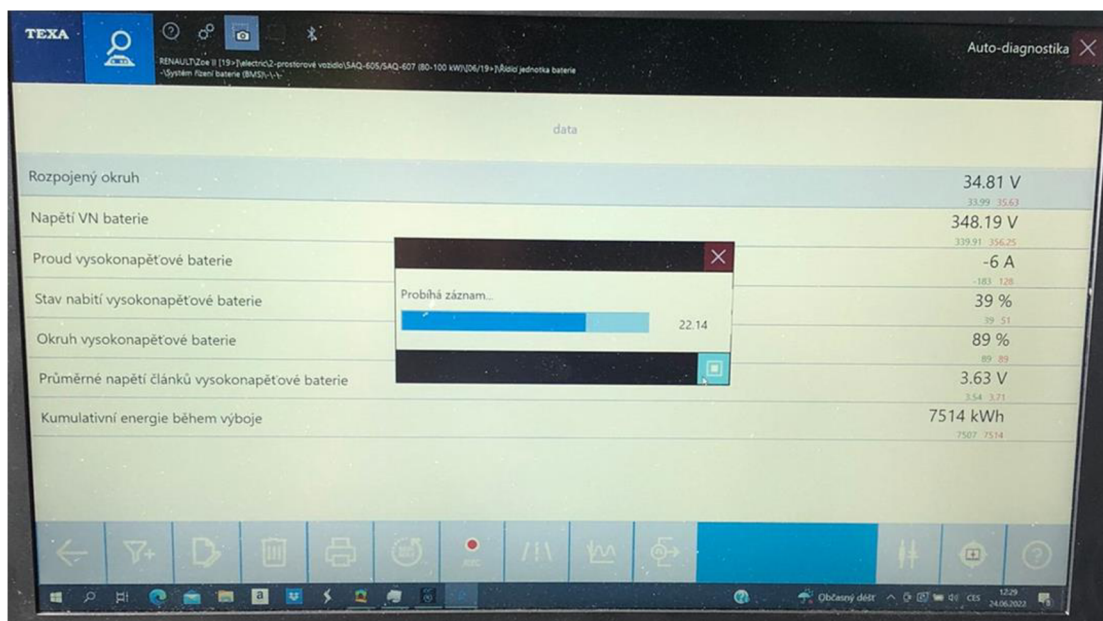


Obr. 21 Výškový profil trasy[47]

5.3 Diagnostické nástroje

Pro měření provozních parametrů všech automobilů byla použita diagnostika TEXA. Ukázka z měření na obr. 22. Jedná se o univerzální diagnostiku, která tak může být použita k diagnostice vozidel více značek, což má výhody i nevýhody. Komunikace mezi rozhraním OBD-II a počítačem probíhá prostřednictvím Bluetooth.

Diagnostika však neumožňuje zaznamenávání polohy, a proto muselo být použito zařízení GPS Garmin, které zaznamenávalo aktuální polohu vozidla, nadmořskou výšku a jeho rychlost. GPS a diagnostika mají různé snímací frekvence, takže pro zjištění výsledků bylo nutné získaná data upravit a seřadit tak, aby vycházela synchronně.



Obr. 22 Ukázka průběhu měření (zdroj: vlastní)

5.4 Měření parametrů během jízdy

Měření probíhalo v měsících únor, duben, červenec a říjen, tak aby bylo možné porovnat provozní parametry v závislosti na teplotě. Klimatizace ve všech vozidlech byla vždy nastavená na 21 °C v režimu AUTO. Enyaq byl testován v režimu automatické rekuperace, při kterém automobil sám rozhoduje, zda je pro celkovou účinnost vhodnější nechat po uvolnění akcelérátoru vozidlo plachtit nebo brzdit a zvýšit tak výkon rekuperace. Nissan a Renault tímto režimem nedisponují a byly tak provozovány v režimu D, ve kterém po zvednutí nohy z akcelérátoru příliš prudce nezpomalují a jízda je tak více podobná konvenčnímu automobilu se spalovacím motorem. Všechny tři vozy byly nastaveny na režim provozu Normal.

5.4.1 Použité výpočty

Pro stanovení spotřeby elektrické energie ve standardním formátu (kWh/100 km) používaném výrobcí bylo nutné provést několik výpočtů podle vzorce uvedeného dále.

$$\emptyset \text{ spotřeba} = \frac{\frac{P}{L}}{3600} * 100 \quad [kWh/100 km]$$

Na základě shromážděných údajů byl nejprve vynásobením proudu (A) a napětí (V) vysokonapětové baterie určen výkon (P). Vzhledem k tomu, že jedna perioda záznamu se rovná

jedné sekundě, byl výkon stanoven v jednotkách wattsekund (Ws). Poté byl proveden součet výkonů za dobu jízdy, který se následně vydělil ujetou vzdáleností (L). Tím se určila spotřeba ve wattsekundách na 1 km. Pro převod jednotky na watthodiny byla tato hodnota vydělena 3600. Spotřeba na 100 km byla určena vynásobením stem a následně se toto číslo ještě vydělilo tisícem, a tím byla získána spotřeba v požadovaných jednotkách kWh/100 km.

5.4.2 Mimoměstský provoz

Tabulka 3 Mimoměstský provoz (zdroj: vlastní)

Mimoměstský provoz: trasa Praha Suchdol - Kralupy n. V.									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	21:10	19:36	20:19	20:27	25:59	23:47	20:37	21:51	21:03
Délka trasy [km]	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
Venkovní teplota [°C]	29	12	2	30,5	14	1	30	11	2
Průměrná rychlost [km/h]	44,02	50,03	48,62	45,81	35,41	41,23	42,65	40,5	41,48
Průměrný výkon [kW]	5,022	5,736	5,861	5,992	5,117	5,923	5,617	4,991	5,926
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	10,64	11,37	11,45	12,39	13,44	13,01	11,71	11,02	11,86
Průměrný odebraný proud [A]	52,75	44,89	55,36	31,64	27,49	31,89	31,05	32,86	32,72
Průměrný rekuperovaný proud [A]	30,06	26,74	31,78	22,74	20,07	25,34	17,81	21,96	20,03
Počáteční stav nabití [%]	70	66	72	70	51	65	73	70	68
Konečný stav nabití [%]	67	63	69	68	48	62	69	66	64
Stoupání [m]	159	159	159	159	159	159	159	159	159
Klesání [m]	262	262	262	262	262	262	262	262	262
Mimoměstský provoz: trasa Kralupy n. V. - Praha Suchdol									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	22:19	21:49	21:32	20:09	20:13	20:34	21:06	24:18	22:16
Délka trasy [km]	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
Venkovní teplota [°C]	30	12	2	31	14	2	30	11	2
Průměrná rychlost [km/h]	41,16	42,05	42,56	45,06	44,56	43,12	41,2	36,1	38,9
Průměrný výkon [kW]	7,63	6,741	7,157	5,851	7,111	7,336	6,731	5,968	6,325
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	17,21	14,87	15,68	11,92	14,53	14,93	14,36	14,66	14,88
Průměrný odebraný proud [A]	62,11	42,35	57,32	38,14	39,16	38,57	36,9	32,09	34,21
Průměrný rekuperovaný proud [A]	35,62	32,02	31,57	24,65	29,69	25,62	22,94	28	21,82
Počáteční stav nabití [%]	50	44	45	39	19	34	31	30	31
Konečný stav nabití [%]	47	41	42	33	13	29	24	23	24
Stoupání [m]	262	262	262	262	262	262	262	262	262
Klesání [m]	159	159	159	159	159	159	159	159	159

Výsledky měření lze pozorovat v tabulce 3. Celková průměrná spotřeba v mimoměstském provozu za celé měření dosáhla u všech vozidel nižších hodnot, než jaké uvádí výrobce. Konkrétně u Škody Enyaq byla nižší přibližně o 15 %, u Nissanu Leaf o 6,5 % a Renault Zoe dosáhl spotřeby nižší o 26 %.

Všechna vozidla také dosáhla vyšší spotřeby při průjezdu trasy ve směru Kralupy nad Vltavou – Praha Suchdol, což bylo způsobeno zejména výškovým profilem, protože v tomto

směru převažují úseky se stoupáním. V porovnání s opačným směrem se průměrná spotřeba u Škody Enyaq zvýšila o přibližně o 30 %, u Renaultu Zoe o 6 % a u Nissanu Leaf o 21 %.

Dalším ovlivňujícím faktorem je venkovní teplota, která ovlivňuje přímo funkce baterie, ale má na spotřebu vliv i nepřímo, a to prostřednictvím zapínání přídatných systému, jako jsou topení nebo klimatizace. Škoda Enyaq a Nissan Leaf vykazují nejnižší spotřebu v jarních/podzimních teplotách a se zvyšující nebo snižující se teplotou spotřeba roste. Škodě Enyaq se spotřeba zvýšila o 6 % při letním a o 3 % při zimním měření. Nissanu byl naměřen nárůst o 1,5 % v červnovém a o 4 % v únorovém testu. Naopak u Renaultu Zoe byla nejvyšší průměrná spotřeba naměřena v jarních teplotách, což mohlo být způsobeno dopravní situací. Z výsledků je patrné, že vliv teploty není tak značný jako výškový profil trasy.

5.4.3 Městský provoz – Kralupy nad Vltavou

Tabulka 4 Městský provoz - Kralupy nad Vltavou (zdroj: vlastní)

Městský provoz: Kralupy n. V. - směr Praha Letňany									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	19:56	19:43	20:46	21:01	26:16	20:15	21:15	34:28	20:48
Délka trasy [km]	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Venkovní teplota [°C]	29	12	2	30,5	14	1	30	11	2
Průměrná rychlost [km/h]	37,08	35,08	34,37	36,24	26,76	37,31	38,14	20,28	39,12
Průměrný výkon [kW]	4,337	5,245	6,001	5,983	4,673	5,998	4,579	2,638	4,861
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	13,71	16,43	16,34	19,97	19,5	20,33	15,46	14,44	15,79
Průměrný odebraný proud [A]	36,15	29,99	32,05	28,91	20,56	30,58	21,78	14,54	22,14
Průměrný rekuperovaný proud [A]	20,14	17,08	17,86	21,62	20,37	22,76	15,58	11,29	15,36
Počáteční stav nabití [%]	67	63	69	68	48	62	69	66	64
Konečný stav nabití [%]	65	61	67	62	42	56	65	61	60
Stoupání [m]	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Klesání [m]	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Městský provoz: Kralupy n. V. - směr Praha Suchdol									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	19:58	19:34	21:55	19:32	21:58	21:00	18:35	21:59	21:37
Délka trasy [km]	10,5	12	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Venkovní teplota [°C]	30	12	2	31	14	2	30	11	2
Průměrná rychlost [km/h]	37,17	39,8	33,32	37,49	33,68	35,42	37,76	32,66	33,24
Průměrný výkon [kW]	3,638	4,147	4,053	5,341	4,872	5,436	4,804	3,589	4,075
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	8,65	12,1	11,76	16,57	17	16,95	13,26	12,53	13,36
Průměrný odebraný proud [A]	30,86	29,77	30,45	28,32	24,27	27,21	25,53	20,7	24,57
Průměrný rekuperovaný proud [A]	20,44	20,45	21,16	20,36	22,38	21,39	13,81	14,32	14,42
Počáteční stav nabití [%]	52	46	47	42	22	37	35	34	35
Konečný stav nabití [%]	50	44	45	39	19	34	31	30	31
Stoupání [m]	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Klesání [m]	54	54	54	54	54	54	54	54	54

Z výsledků měření v tabulce 4 je zřejmý nárůst průměrné spotřeby oproti mimoměstskému provozu. To je způsobené zejména menší mírou rekuperace, kterou lze pozorovat na hodnotě rekuperovaného proudu, který je menší než v případě mimoměstského provozu. Opět se do spotřeby promítl výškový profil trasy i teplota, která však na výslednou spotřebu neměla příliš velký vliv. U Renaultu a Nissanu se průměrná roční spotřeba velmi přiblížila deklarované. Renault dosáhl spotřeby 18,38 kWh/100 km (deklarovaná 18 kWh/100 km) a Nissan 14,14 kWh/100 km (deklarovaná 14 kWh/100 km). Škoda vykázala nejmenší spotřebu ze všech vozidel, která byla nižší než v mimoměstském provozu, což však bylo způsobené pravděpodobnou chybou v červnovém měření, kdy výsledky výrazně vybočují.

5.4.4 Městský provoz – Praha

Tabulka 5 Městský provoz - Praha (zdroj: vlastní)

Městský provoz: Praha Suchdol - Letňany									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	24:08	26:12	23:59	22:16	23:52	21:36	24:01	24:44	25:08
Délka trasy [km]	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
Venkovní teplota [°C]	29	12	2	30,5	14	1	30	12	2
Průměrná rychlost [km/h]	43,7	39,26	44,02	47,01	45,7	47,5	46,6	43,08	41,29
Průměrný výkon [kW]	3,863	5,078	3,978	5,961	5,685	6,127	4,391	4,664	4,891
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	12,35	15,15	12,55	14,57	14,89	14,48	11,57	12,66	12,83
Průměrný odebíraný proud [A]	39,16	36,07	39,63	31,61	33,84	32,07	30,67	28,73	28,62
Průměrný rekuperovaný proud [A]	21,98	18,71	20,98	16,13	19,61	18,95	13,29	14,82	13,77
Počáteční stav nabití [%]	62	57	63	56	36	50	57	53	52
Konečný stav nabití [%]	59	54	60	51	33	46	51	47	46
Stoupání [m]	160	160	160	160	160	160	200	160	160
Klesání [m]	200	200	200	200	200	200	160	200	200
Městský provoz: Letňany - Praha Suchdol									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	36:23	35:47	33:53	37:24	30:28	36:51	36:08	32:21	31:27
Délka trasy [km]	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
Venkovní teplota [°C]	30	12	2	31	14	2	30	12	2
Průměrná rychlost [km/h]	37,69	38,72	39,93	31,16	38,33	32,47	32,59	34,33	35,49
Průměrný výkon [kW]	4,001	5,124	4,963	5,06	5,56	6,03	4,635	4,376	4,723
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	15,97	15,36	15,86	20,76	18,58	20,87	18,37	15,53	16,89
Průměrný odebíraný proud [A]	36,85	37,98	38,45	21,54	26,03	25,48	22,32	21,68	23,18
Průměrný rekuperovaný proud [A]	23,29	24,47	25,01	19,4	18,06	17,25	17,13	17,27	17,96
Počáteční stav nabití [%]	59	53	54	39	33	46	47	47	46
Konečný stav nabití [%]	56	50	51	33	28	41	39	40	41
Stoupání [m]	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Klesání [m]	160	160	160	160	160	160	160	160	160

Druhý městský úsek, na kterém probíhalo měření byla trasa Praha Letňany – Praha Suchdol (výsledky měření viz tabulka 5), která se od předchozí trasy liší zejména maximální

povolenou rychlostí. Zatímco v Kralupech nad Vltavou je v téměř celém úseku rychlostní limit 50 km/h, tak na této trase jsou v rozmezí od 30 do 80 km/h. Do výsledné průměrné rychlosti se to ale promítlo minimálně, zejména kvůli hustotě dopravy v Praze, kdy ne vždy bylo možné se držet horní hranice povolené rychlosti.

Na tomto městském úseku byly stanoveny řádově podobné hodnoty spotřeb jako u předchozího. Stejně tak lze pozorovat vliv převýšení, kdy ve směru Praha Letňany – Praha Suchdol průměrná spotřeba výrazně vzrostla. U dvou vozidel je také zřejmý vliv teploty. Spotřeba naměřená při letním a zimním testování se zvýšila v rozsahu o hodnoty v rozsahu 0,77 až 0,93 kWh/100 km.

5.4.5 Dálniční provoz

Tabulka 6 Dálniční provoz (zdroj: vlastní)

Dálniční provoz: trasa Kralupy n. V - Letňany									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	5:59	18:57	6:55	7:07	6:36	6:45	7:11	6:09	7:34
Délka trasy [km]	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
Venkovní teplota [°C]	29	12	2	30,5	14	2	30	11	2
Průměrná rychlost [km/h]	102,8	44,82	101,62	112,66	113,01	112,69	110,98	114,71	109,51
Průměrný výkon [kW]	26,636	9,203	27,861	24,675	24,948	24,753	26,155	28,157	25,945
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	17,07	18,65	17,523	18,81	17,64	18,91	20,12	18,55	20,48
Průměrný odebíraný proud [A]	98,78	42,01	100,03	87,26	93,71	90,47	84,43	107,23	88,56
Průměrný rekuperovaný proud [A]	28,92	26,38	30,43	22,78	29,23	28,34	34,33	44,44	31,04
Počáteční stav nabití [%]	65	61	67	62	42	56	65	61	60
Konečný stav nabití [%]	62	57	63	56	36	50	57	53	52
Stoupání [m]	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Klesání [m]	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Dálniční provoz: trasa Letňany - Kralupy n. V.									
Vozidlo	Škoda Enyaq			Renault Zoe			Nissan Leaf		
Datum	24.06.2022	27.04.2022	01.03.2023	23.06.2022	07.10.2022	27.02.2023	27.06.2022	14.10.2022	28.02.2023
Celkový čas jízdy	8:25	5:46	6:32	5:55	5:59	6:01	7:35	5:56	7:00
Délka trasy [km]	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
Venkovní teplota [°C]	30	12	2	31	14	2	30,5	11	2
Průměrná rychlost [km/h]	91,95	116,5	112,68	121,78	121,76	120,24	89,36	116,41	111,36
Průměrný výkon [kW]	9,759	17,165	17,259	17,88	22,258	22,837	13,628	21,698	19,489
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	8,57	11,06	11,24	11,34	13,63	14	9	13,79	13,86
Průměrný odebíraný proud [A]	69	79,82	81,65	73,52	87,47	86,42	64,96	79,94	81,57
Průměrný rekuperovaný proud [A]	44,13	73,46	70,12	29,73	46,65	44,68	48	73,12	74,65
Počáteční stav nabití [%]	56	50	51	45	28	41	39	40	41
Konečný stav nabití [%]	52	46	47	42	22	37	35	34	35
Stoupání [m]	13	13	13	12	12	12	12	12	12
Klesání [m]	107	107	107	107	107	107	107	107	107

Výsledky měření lze pozorovat v tabulce 6. Dálniční provoz je specifický vysokou rychlostí, se kterou souvisí výkon, který je potřeba vyvinout. Ten se oproti městskému a

mimoměstskému provozu několikanásobně zvýšil. Zatímco na jiných úsecích se pohyboval v rozmezí od 4 do 7 kW, tak na dálničním úseku dosahoval až 28 kW. Ostatně se zvýšil i průměrný odebíraný proud, který se zvýšil i čtyřnásobně. Ve výsledcích měření se opět projevil výškový profil úseku, kdy se ve směru Letňany - Kralupy nad Vltavou průměrná spotřeba u všech vozidel výrazně snížila. Například u Škody Enyaq byl naměřen pokles o 7,46 kWh/100 km. Je potřeba zmínit, že výsledky měření tohoto úseku byly několikrát ovlivněny dopravní situací, kdy při jarním měření Škody Enyaq klesla průměrná rychlost až na 44 km/h.

5.4.6 Celoroční výsledky

Tabulka 7 Celoroční výsledky (zdroj: vlastní)

Celoroční výsledky			
Vozidlo	Škoda Enyaq	Renault Zoe	Nissan Leaf
Průměrná rychlost [km/h]	51,12	58,60	55,32
Průměrný výkon [kW]	8,35	10,05	9,28
Průměrný odebíraný proud [A]	50,14	44,00	41,29
Průměrný rekuperovaný proud [A]	29,7	24,49	25,71
Průměrná spotřeba - jaro/podzim [kWh/100 km]	14,37	16,15	14,14
Průměrná spotřeba - léto [kWh/100 km]	13,02	15,79	14,23
Průměrná spotřeba - zima [kWh/100 km]	14,05	16,68	14,99
Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	13,81	16,2	14,45
Udávaná spotřeba [kWh/100 km]	16	18	14

Z výsledků celoročního měření (viz tabulka 7) vyplývá závislost mezi výkonem a spotřebou, kdy vozidlo, které dosáhlo nejmenšího výkonu má i nejnižší spotřebu. U dvou vozidel lze také pozorovat zvýšení spotřeby v zimním období, avšak to nelze jasně konstatovat, protože na trase se mnohdy objevily komplikace, které ovlivnily styl jízdy a tím i výsledky. Z hodnot rekuperovaného proudu lze usoudit, že Škoda Enyaq disponuje nejúčinnější rekuperací.

U dvou vozidel byla výsledná průměrná spotřeba nižší než ta udávaná výrobcem. Nissan Leaf sice deklarovanou spotřebu překonal, ale nejvíce se k ní přiblížil. Nejnižší spotřebu vykázala Škoda Enyaq. Měření tohoto vozidla však doprovázely komplikace jak na trase, tak při samotném měření. Nejvyšší spotřebu zaznamenal Renault Zoe.

5.5 Měření parametrů při nabíjení

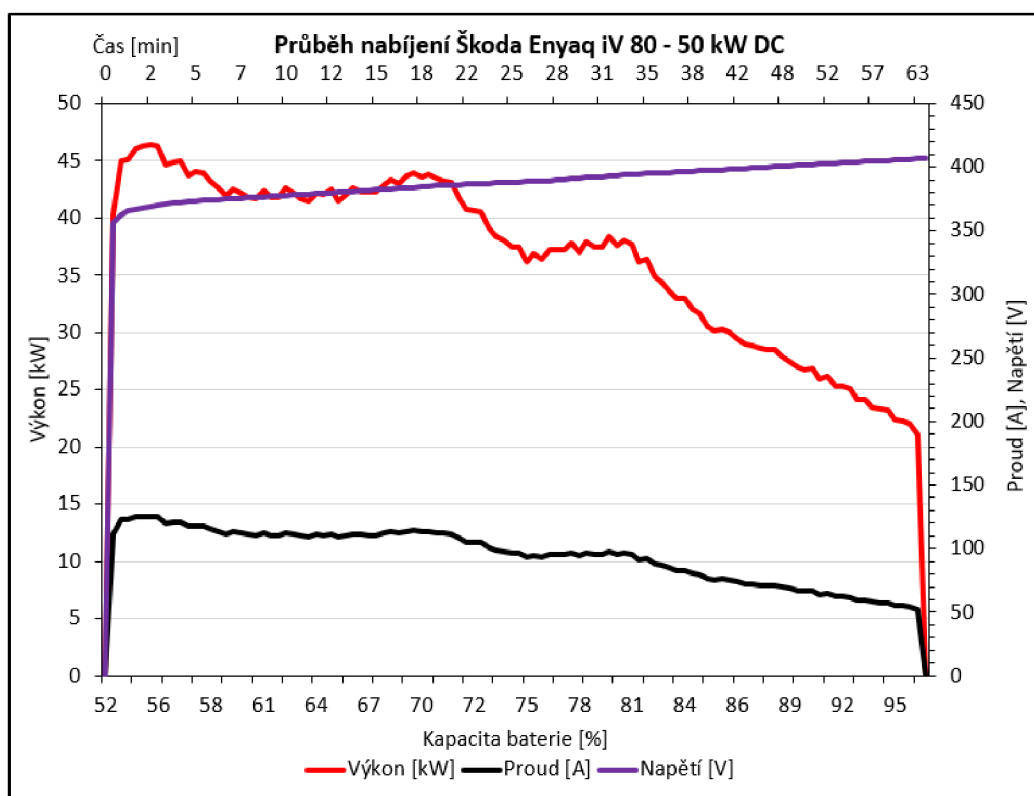
Nabíjení všech vozidel probíhalo na stejné dobíjecí stanici o výkonu 50 kW při teplotách 10 °C až 15 °C. Všechna vozidla disponují dostatečným nabíjecím výkonem, aby stanici plnohodnotně využila.

5.5.1 Nabíjení Škoda Enyaq

Tabulka 8 Výsledky měření nabíjení - Škoda Enyaq (zdroj: vlastní)

Doba nabíjení [min]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Maximální nabíjecí proud [A]	Minimální nabíjecí proud [A]
63	52	96	125	51

Základní výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 8. Vozidlo mělo při připojení k nabíjecí stanici 52 % kapacity baterie s napětím 355 V. Nejvyšší nabíjecí proud 123 A s výkonem nabíjecí stanice 46 kW byl udržen pouze na začátku nabíjení po velmi krátkou dobu. Poté byl zaznamenán pokles na přibližně 110 A a 42 kW a nabíjení se okolo těchto hodnot pohybovalo až do 22 minuty, kdy nastal další pokles na výkon přibližně 37 kW. Další znatelnější snížení nabíjecího výkonu nastalo ve 35 minutě při úrovni nabití 80 %. V té chvíli klesl nabíjecí proud pod 100 A a i nadále se snižoval. Akumulátor měl napětí 394 V. Nabíjení bylo automaticky ukončeno vozidlem při napětí 407 V, proudu 51,7 A a posledním zaznamenaným nabíjecím výkonem 21 kW. Zajímavé je, že v době přerušení nabíjení automobil i dobíjecí stanice ukazovaly úroveň nabití 100 %, zatímco diagnostika 96 %. Nabíjecí výkon tak od začátku nabíjení do dosažení hodnoty nabití 80 % klesl přibližně o 10 %. Průběh nabíjení je znázorněn na následujícím obr. 23.



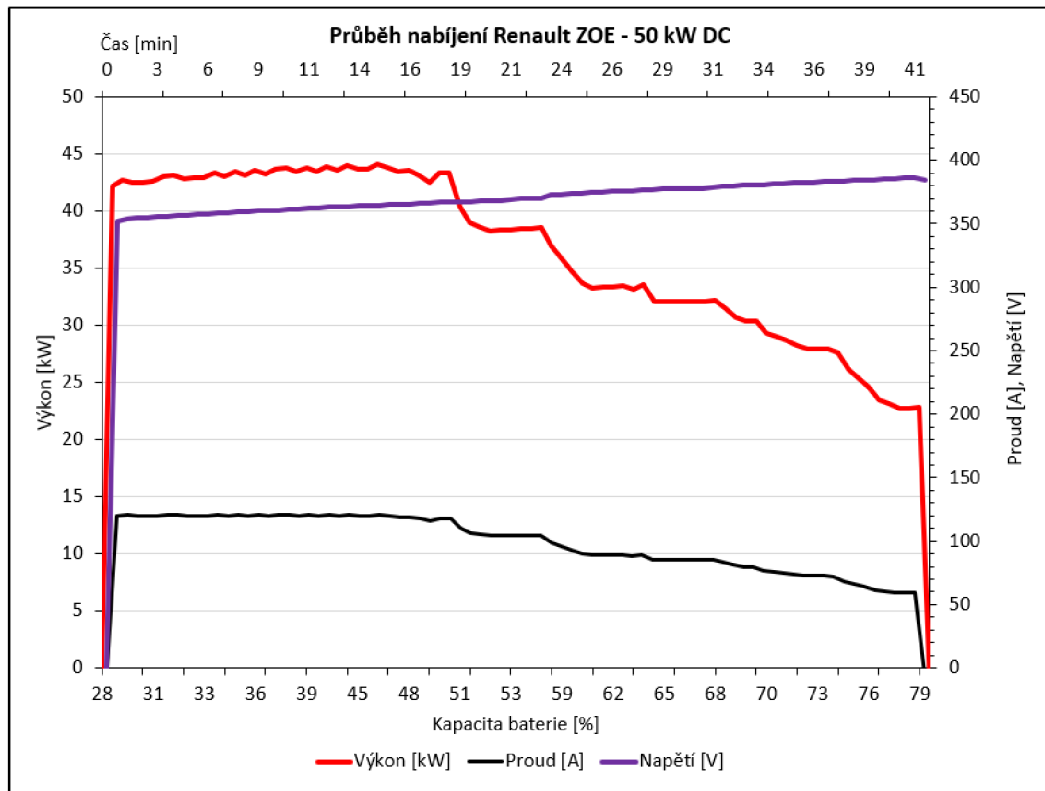
Obr. 23 Graf průběhu nabíjení Škoda Enyaq (zdroj: vlastní)

5.5.2 Nabíjení Renault Zoe

Tabulka 9 Výsledky měření nabíjení - Renault Zoe (zdroj: vlastní)

Doba nabíjení [min]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Maximální nabíjecí proud [A]	Minimální nabíjecí proud [A]
41	28	81	121	59

Výsledky z měření nabíjení jsou uvedeny v tabulce 9. Vozidlo byla připojeno k nabíjecí stanici s úrovní nabití 28 % a napětím 352,19 V. Prvních 17 minut nabíjecí proud kolísal mezi 120 a 121 A a nabíjecí výkon se pohyboval okolo 43 kW. Poté, když baterie dosáhla úrovně nabití 50 % nastal pokles na 110 A. Další pokles nastal při dosažení 60 %. Z grafu (viz obr. 24) lze pozorovat, že nabíjecí proud a výkon klesaly skokově a poté se na čas ustálily. Při dosažení 82 % byl vůz odpojen. Poslední naměřený proud dosahoval 38 A s nabíjecím výkonem přibližně 22 kW. Napětí baterie po odpojení bylo na hodnotě 384 V. Nabíjecí výkon od připojení až k dosažení 82 % tak klesl o 52 %.



Obr. 24 Graf průběhu nabíjení Renault Zoe (zdroj: vlastní)

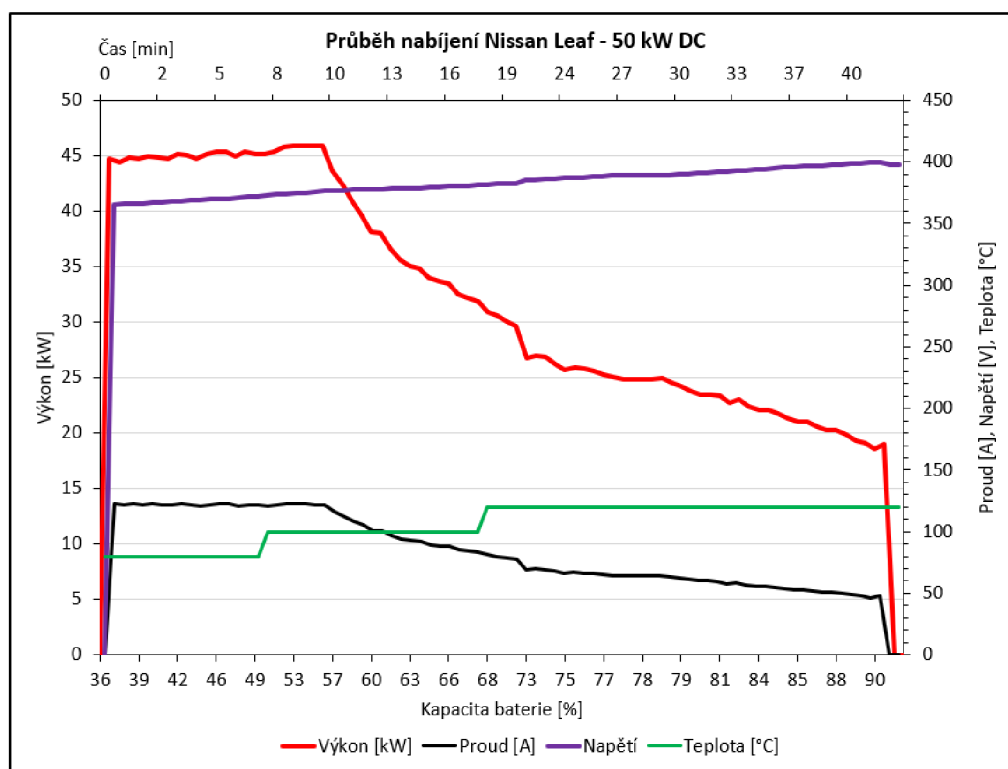
5.5.3 Nabíjení Nissan Leaf

Tabulka 10 Výsledky měření nabíjení - Nissan Leaf (zdroj: vlastní)

Doba nabíjení [min]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Maximální nabíjecí proud [A]	Minimální nabíjecí proud [A]
41	36	91	122	46

Výsledky z měření nabíjení jsou uvedeny v tabulce 10. Nissan Leaf jako jediný s testovaných vozidel disponuje konektorem CHAdeMO. Zahájení nabíjení tohoto vozidla začalo na hodnotě úrovně nabití 36 % a napětím baterie 365,5 V. Po připojení se vozidlo začalo nabíjet proudem 122 A a nabíjecí výkon dosahoval hodnoty 44 kW. Nabíjecí výkon v průběhu i překročil hranici 45 kW. Takto vysoký nabíjecí výkon se udržel přibližně 10 minut do dosažení nabití 55 %, kdy začal spolu s nabíjecím proudem prudce klesat. Další skokový prudký pokles, který lze v grafu pozorovat nastal při 70 %. Klesání nabíjecího výkonu má v tomto případě spíše průběžný průběh na rozdíl od předchozího, kde jsou v grafu (viz obr. 25) vidět skokové poklesy. Automobil byl odpojen při dosažení 91 %. V tu dobu byl nabíjen výkonem 18 kW s nabíjecím proudem 47 A. Nabíjecí výkon od počátku nabíjení po dosažení 80 % klesl o 48 %.

Diagnostika u tohoto vozidla umožnila snímat i teplotu vysokonapěťové baterie. V grafu tak lze pozorovat, jak se baterie v průběhu nabíjení zahřívá.



Obr. 25 Graf průběhu nabíjení Nissan Leaf (zdroj: vlastní)

6 Závěr

Cílem praktické části bylo vytvořit analýzu provozních parametrů elektromobilů v různých prostředí. Z naměřených dat během roku vyplývá, že teplota měla na výslednou spotřebu malý vliv a promítnutí teploty do spotřeby bylo spíše náhodné. To mohlo být způsobeno tím, že venkovní teplota dosáhla minima 1°C. Pokud by teplota klesla více pod bod mrazu, lze očekávat větší dopad na výslednou spotřebu a dojezd. Značnější dopad na spotřebu elektrické energie mělo stoupání, kde bylo možné pozorovat strmý nárůst odebíraného proudu, výkonu i spotřeby.

Z analýzy lze také konstatovat, že údaje o provozních parametrech udávané výrobcem lze považovat za pravdivé. U dvou vozidel vyšla výsledná spotřeba v celoročním testu nižší, než jakou deklaruje výrobce. U třetího vozidla uváděnou spotřebu překročila minimálně.

Odklon od fosilních paliv, snížení emisí a ekologické zátěže dopravy jsou jedním z hlavních důvodů zavádění elektromobility. Dále její rozvoj podporují různé emisní normy a regulace ze stran vlád.

Elektromobil při svém provozu, pokud neuvažujeme otěrové částice od brzd, pneumatik apod., produkuje nulové lokální emise. Elektrické vozidlo se tak jeví jako jedna z emisně neutrálních náhrad automobilů se spalovacím motorem. Pokud se však bude uvažovat o uhlíkové neutralitě v průběhu celého životního cyklu vozu od výroby až po jeho likvidaci, tak zejména kvůli baterii je jeho ekologie diskutabilní.

Kromě výhod elektromobility, jako je levnější provoz nebo náklady na údržbu díky jednodušší konstrukci elektromobilu, má i několik nezanedbatelných nevýhod. První velkou nevýhodou, která stále odrazuje velký počet lidí od pořízení elektrického vozu je doba a způsob nabíjení. Kvůli nemožnosti domácího dobíjení je mnoho uživatelů odkázáno na veřejné dobíjecí stanice, kde nabíjení jednak stále trvá dlouhou dobu oproti tankování konvenčního automobilu, ale je také v porovnání s domácím nabíjením poměrně drahé. Druhou velkou nevýhodou je cena, která je hlavně kvůli drahé baterii mnohem vyšší než cena automobilu se spalovacím motorem.

Pro budoucnost elektromobility tak bude klíčový hlavně vývoj baterie. Pokud se podaří vyvinout akumulátor, který bude mít při stejné hmotnosti a velikosti lepší parametry (větší energetická hustota, větší životnost apod.), výrazně by to pomohlo k většímu rozšíření elektromobilů.

7 Seznam použité literatury

- [1] *What you need to know about electromobility*. Infineon.com [online]. 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electromobility/>.
- [2] NIKOWITZ, Michael, ed. *Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration*. Springer Berlin Heidelberg, 2016. ISBN 978-3319263045. nedatováno.
- [3] *Historie elektromobilů: 1. díl – úsvit elektromobilů*. FDrive.cz [online]. 2016 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>.
- [4] *Vědecké okénko: Na cestě do historie elektromobility, díl 1. aneb jak to všechno začalo*. Elektricko vozy.cz [online]. 2019 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://elektricko vozy.cz/clanky/vedecke-okenko-na-ceste-do-historie-elektromobility-dil-1-aneb-jak-to-vsechno-zacalo>.
- [5] *Elektromobily jezdily po silnicích už před 100 lety, jejich čas ale přichází teprve nyní*. Hybrid.cz [online]. 2018 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/elektromobily-jezdily-po-silnicich-uz-pred-100-lety-jejich-cas-ale-prichazi-teprve-nyni/>.
- [6] *První český elektromobil z roku 1895 měl hybridní pohon, který používá BMW i3 | ecoFuture. Magazín | ecoFuture* [online]. Copyright © E.ON 2019 [cit. 20.03.2023]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanky/prvni-cesky-elektromobil-vznikl-v-roce1895-a-mel-hybridni-pohon-ktery-pouziva-bmw-i3>.
- [7] *Druhy elektromobilů – znáte je všechny? Škoda storyboard* [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>.
- [8] KHAJEPOUR, AMIR, SABER FALLAH a AVESTA GOODARZ. *Electric and Hybrid Vehicles: Technologies, Modeling and Control - A Mechatronic Approach*. John Wiley, 2014. ISBN 9781118403105. nedatováno.
- [9] *What is a battery electric vehicle (BEV)*. X-engineer.org [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/battery-electric-vehicle-bev/>.

- [10] Renault Zoe. AutoZine [online]. 2020 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <http://www.autozine.org/Archive/Renault/new/Zoe.html>.
- [11] Elektroautos: Trends in Electric Vehicle Design. McKinsey and Company [online]. 2018 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/what-a-teardown-of-the-latest-electric-vehicles-reveals-about-the-future-of-mass-market-evs/de-DE>.
- [12] JOSEF KAMEŠ. KAMEŠ, Josef. Hybridní a elektrické pohony automobilů. Praha: Kameš Josef, 2015. ISBN 2013-11-14-1. nedatováno.
- [13] 1 OBSAH 2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR. 2.1 Princip [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11891771-1-obsah-2-stejnosmerny-motor-2-1-princip.html>.
- [14] Princip stejnosměrných motorů. Profielektrika.cz [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru>.
- [15] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1. nedatováno.
- [16] DENTON, Tom. Electric and Hybrid Vehicles. UK: Taylor & Francis, 2020. ISBN 0367273233. nedatováno.
- [17] How do switched reluctance motors differ from stepper motors?. Motion Control Tips [online]. 2017 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/how-do-switched-reluctance-motors-differ-from-stepper-motors/>.
- [18] ENGE, Per, Nick ENGE a Stephen ZOEPF. Electric vehicle engineering. New York: McGraw Hill, [2021]. ISBN 978-1260464078. nedatováno.
- [19] MA, Shuai, Modi JIANG, Peng TAO, Chengyi SONG, Jianbo WU, Jun WANG, Tao DENG a Wen SHANG. Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review. Progress in Natural Science: Materials International. 2018, 28(6), 653-666. ISSN 10020071. Dostupné z: doi:10.1016/j.pnsc.2018.11.002. Progress in Natural

- Science: Materials International* [online]. 2018, **28**(6), 653–666 [vid. 2023-01-22]. ISSN 1002-0071. Dostupné z: doi:10.1016/J.PNSC.2018.11.002
- [20] *EMADI, Ali. Advanced Electric Drive Vehicles. 1. United States: Taylor & Francis, 2014. ISBN 978-1466597693. nedatováno.*
- [21] *Battery Management System in Electric Vehicles. Cyient [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.cyient.com/blog/battery-management-system-in-electric-vehicles>.*
- [22] *AC / DC Charging. EVexper [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.evexpert.eu/eshop1/knowledge-center/ac-dc-charging-electromobil-current-alternating-direct>.*
- [23] *PRVNÍ ULTRARYCHLÁ NABÍJECÍ STANICE IONITY NA ČERPACÍ STANICI SHELL V ČESKÉ REPUBLICE UVEDENA DO PROVOZU. Shell.cz [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.shell.cz/media/media-2020/first-ultra-fast-ionity-charging-station-shell-service-in-the-czech-republic-put-into-operation.html>.*
- [24] *What is battery swapping and is it a good idea?. AutoTrader [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.autotrader.co.uk/content/news/what-is-battery-swapping-and-is-it-a-good-idea>.*
- [25] *Nio opens second battery swapping station in Norway. Electrive [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.electrive.com/2022/08/17/nio-opens-second-battery-swapping-station-in-norway/>.*
- [26] *The advantages and barriers to wireless EV charging technology. Innovation News Network [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.innovationnewsnetwork.com/advantages-barriers-wireless-ev-charging-technology/21980/>.*
- [27] *AC/DC nabíjení. Autonabiječka.cz [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.autonabijecka.cz/ac-dc-nabijeni/>.*

- [28] *Electric Vehicle and EV charging fundamentals. Electrical instalation wiki [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_Vehicle_and_EV_charging_fundamentals.*
- [29] *Electric Vehicle Charging Modes Explained. Zen.auto [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://zen.auto/info-hub/electric-vehicle-charging-modes-explained>.*
- [30] *Connector types for EV charging around the world. EV expert [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.evexpert.eu/eshop1/knowledge-center/connector-types-for-ev-charging-around-the-world>.*
- [31] *GB AC Charging Cable - Chinese Standard (GB/T). Sinbon [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.sinbon.com/product/automotive-and-aviation/ac-charging-cable-china-standard>.*
- [32] *What is CCS charging?. The Driven [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://thedriven.io/2018/12/10/what-is-ccs-charging/>.*
- [33] *Introducing DC fast charging. EV create [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.evcreate.com/introducing-dc-fast-charging/>.*
- [34] *250A GBT Gun DC Fast Charger Plug 1000V EV Charging Connector. Mida [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: www.midaevse.com.*
- [35] *Opening the North American Charging Standard. Tesla [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/blog/opening-north-american-charging-standard>.*
- [36] *Hybridní automobily 2. Auto.cz [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://blog.auto.cz/baracadaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>.*
- [37] *Micro Hybrid. Autolexicon [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/micro-hybrid/>.*
- [38] *MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle). Autolexicon [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/mhev-mild-hybrid-electric-vehicle/>.*
- [39] *Druhy elektromobilů – znáte je všechny?. Škoda storyboard [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>.*

- [40] *Plug-in hybrid. Autolexicon [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/plug-in-hybrid/>.*
- [41] *How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?. Alternative Fuels Data Center [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>.*
- [42] *VÍME, JAK JEZDÍ A JAK VYPADÁ ŠKODA ENYAQ. ČESKÉ ELEKTRICKÉ SKEPTIKY BY PŘESVĚDČIT MOHLA. Autobible [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/clanky/skoda-nyaq-suv-vykon-dojezd-nabijeni-test/>.*
- [43] *RENAULT ZOE DOSTAL SILNĚJŠÍ ELEKTROMOTOR A DOJEzd AŽ 390 KM. Autobible [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/clanky/renault-zoe-facelift-2019/>.*
- [44] *TEST: nový Renault Zoe s 52kWh baterií je konečně zajímavá koupě!. Hybrid.cz [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/test-novy-renault-zoe-s-52kwh-baterii-je-konecne-zajimava-koupe/>.*
- [45] *TEST: nový Nissan Leaf 40kWh – jezdí jako blesk, ale pomalé nabíjení je problém. Hybrid.cz [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/test-novy-nissan-leaf-40kwh-jezdi-jako-blesk-ale-pomale-nabijeni-je-problem/>.*
- [46] *WLTP and RDE: New tests for the certification of fuel consumption, CO₂ and pollutant emissions. Fiat [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.fiat.com/wltp>.*
- [47] *www.en.mapy.cz. Mapy.cz [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: www.en.mapy.cz.*

8 Seznam obrázků

Obr. 1 Hnací ústrojí Renault Zoe [10].....	5
Obr. 2 Šasi a motory Tesla Model S [9].....	5
Obr. 3 Rimac Concept_One [9]	6
Obr. 4 Rozdíly v uspořádání hnacího ústrojí [11]	7
Obr. 5 Schéma stejnosměrného motoru[14].....	8
Obr. 6 Schéma funkce baterie [19]	12

<i>Obr. 7 Výkonnost současných Li-ion baterií [20]</i>	15
<i>Obr. 8 Typ 1 J1772 [30]</i>	22
<i>Obr. 9 Typ 2 Mennekes [30]</i>	23
<i>Obr. 10 GB/T AC standard [30, 31]</i>	23
<i>Obr. 11 Typ 1 CCS [30, 32]</i>	24
<i>Obr. 12 Typ 2 CCS [30, 32]</i>	24
<i>Obr. 13 CHAdeMO konektor [30, 33]</i>	25
<i>Obr. 14 GB/T DC konektor [30, 34]</i>	26
<i>Obr. 15 Tesla konektor [35]</i>	26
<i>Obr. 16 Sériový hybrid [36]</i>	28
<i>Obr. 17 Paralelní hybrid [36]</i>	29
<i>Obr. 18 Kombinovaný hybrid [36]</i>	30
<i>Obr. 19 Automobil s palivovými články [41]</i>	32
<i>Obr. 20 Testovací trasa[47]</i>	35
<i>Obr. 21 Výškový profil trasy[47]</i>	36
<i>Obr. 22 Ukázka průběhu měření (vlastní)</i>	37
<i>Obr. 23 Graf průběhu nabíjení Škoda Enyaq (zdroj: vlastní)</i>	44
<i>Obr. 24 Graf průběhu nabíjení Renault Zoe (zdroj: vlastní)</i>	45
<i>Obr. 25 Graf průběhu nabíjení Nissan Leaf (zdroj: vlastní)</i>	46

9 Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 Porovnání střídavých elektromotorů [8]</i>	11
<i>Tabulka 2 Parametry testovaných vozidel</i>	33
<i>Tabulka 3 Mimoměstský provoz (zdroj: vlastní)</i>	38
<i>Tabulka 4 Městský provoz - Kralupy nad Vltavou (zdroj: vlastní)</i>	39
<i>Tabulka 5 Městský provoz - Praha (zdroj: vlastní)</i>	40
<i>Tabulka 6 Dálniční provoz (zdroj: vlastní)</i>	41
<i>Tabulka 7 Celoroční výsledky (zdroj: vlastní)</i>	42
<i>Tabulka 8 Výsledky měření nabíjení - Škoda Enyaq (zdroj: vlastní)</i>	43
<i>Tabulka 9 Výsledky měření nabíjení - Renault Zoe (zdroj: vlastní)</i>	44
<i>Tabulka 10 Výsledky měření nabíjení - Nissan Leaf (zdroj: vlastní)</i>	45