

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**



## **Diplomová práce**

**Analýza faktorů ovlivňující kapacitu akumulátoru  
elektrovozidel**

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

**Autor práce: Bc. Michal Marhoul**

© 2022 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Michal Marhoul

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Analýza faktorů ovlivňující kapacitu akumulátoru elektrovozidel**

Název anglicky

**Analysis of factors influencing the battery capacity of electric vehicles**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je vytvořit ucelený přehled ohledně problematiky elektromobility od historie po současnost. Experimentální část práce bude zaměřena na akumulátory používané v elektrovozidlech a provedení analýzy faktorů, které ovlivňují kapacitu použitých akumulátorů.

### Metodika

1. Vysvětlit pojem elektromobilita, elektromobil, elektromotor, akumulátory (druhy, technické parametry, vývoj) a jaká je současná situace.
2. Výhody a nevýhody elektromobilů.
3. Technologické porovnání elektromotoru a spalovacího motoru.
4. Dopad na životní prostředí z pohledu provozu elektromobilu a výroby bateriových článků a elektřiny.
5. Problematika dobíjecích stanic.
6. Analýza faktorů ovlivňující kapacitu trakčních akumulátorů.

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, bateriové články, kapacita, dobíjecí stanice

---

**Doporučené zdroje informací**

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

GRÖGER, Oliver, Hubert A. GASTEIGER a Jens-Peter SUCHSLAND. Review—Electromobility: Batteries or Fuel Cells? Journal of The Electrochemical Society [online]. 2015, 162(14), doi:10.1149/2.0211514jes

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

MAINI, Chetan, Kartik GOPAL a R. PRAKASH. Making of an 'all reason' electric Vehicle. In: 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27) [online]. IEEE, 2013, doi:10.1109/EVS.2013.6915015

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/2022 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 14. 11. 2021

## **Čestné prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Analýza faktorů ovlivňující kapacitu akumulátoru elektrovozidel 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 31. 3. 2022

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za připomínky, rady a čas, který mi věnoval při zpracování této diplomové práce.

# **Analýza faktorů ovlivňující kapacitu akumulátoru elektrovozidel**

## **Abstrakt**

V teoretické části se tato diplomová práce zabývá elektromobilitou s následným zaměřením na oblast elektromobilů, zde vysvětluje problematiku koncepce elektrovozidel, elektromotorů a akumulátorů. Dále se zaměřuje na infrastrukturu a dílčí procesy, které jsou spojeny s provozem elektrovozidel. Mimo jiné tato práce obsahuje porovnání technologie elektromobilů s konvenčními vozidly. Vzhledem k trendu snižování emisí se také věnuje dopadu na životní prostředí v rámci výroby a provozu elektromobilu. Praktická část se skládá z naměřených dat elektromobilu v reálném provozu a analýzy faktorů, které ovlivňují kapacitu akumulátoru. V závěru práce jsou shrnuty výsledky analýzy a další možný vývoj akumulátorů.

**Klíčová slova:** elektromobilita, elektromobil, akumulátor, dobíjecí stanice, elektromotor, kapacita baterie

# **Analysis of factors influencing the battery capacity of electric vehicles**

## **Summary**

In the theoretical part, this diploma thesis deals with electromobility with a subsequent focus on the field of electric vehicles. Where he explains the concept of electric vehicles, electric motors and batteries. It also focuses on the infrastructure and sub-processes that are associated with the operation of electric vehicles. Among other things, this work contains a comparison of electric car technology with conventional vehicles. Due to the trend of reducing emissions, it also deals with the impact on the environment in the production and operation of electric cars. The practical part consists of measurements of electric vehicle data in real operation and analysis of factors that affect the capacity of the battery. In conclusion of the work are summarized the results of the analysis and further possible development of batteries.

**Keywords:** electromobility, electric car, accumulator, charging station, electric motor, battery capacity

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl a metodika práce .....	2
2.1	Cíl práce .....	2
2.2	Metodika práce .....	2
3	Přehled řešené problematiky .....	3
3.1	Elektromobilita .....	3
3.2	Elektromobil .....	5
3.2.1	Historický vývoj .....	5
3.2.2	Koncepce elektromobilů .....	6
3.2.3	Nabíjení platformy BEV a PHEV .....	8
3.2.4	Hnací ústrojí elektromobilu .....	8
3.2.5	Komunikace elektromobilu .....	9
3.3	Elektromotor .....	9
3.4	Akumulátor .....	11
3.4.1	Cykly akumulátoru .....	13
3.4.2	Lithium-iontová baterie .....	14
3.4.3	Nikl-metal hydridové baterie .....	15
3.4.4	Olověná baterie .....	15
3.4.5	Ultrakondenzátor .....	15
3.4.6	Setrvačnickové ukládání energie .....	15
3.4.7	Vývoj akumulátorů .....	15
3.5	Dobíjení elektromobilů .....	16
3.5.1	Nabíjení elektromobilů v rámci chytrých měst .....	17
3.5.2	Chytré nabíjení .....	19
3.5.3	Chytrá síť .....	19
3.5.4	Nabíjecí konektory .....	20
3.5.5	Domácí nabíjení .....	21
3.5.6	Rychlonabíječky .....	22
3.5.7	Rychlé nabíječky .....	22
3.5.8	Pomalé nabíječky .....	23
3.5.9	Nabíjení elektromobilů z veřejného osvětlení .....	23
3.5.10	Výměna baterie .....	23



3.5.11	Indukční nabíjení .....	24
3.6	Výhody a nevýhody elektromobilů.....	24
3.6.1	Ekonomické výhody a nevýhody .....	24
3.6.2	Environmentální a sociální výhody a nevýhody .....	25
3.6.3	Technologické výhody a nevýhody .....	25
3.7	Technologické porovnání elektromotoru a spalovacího motoru .....	26
3.7.1	Technologie synchronního motoru s permanentními magnety (PMSM) .....	26
3.7.2	Technologie motoru s vnitřním spalováním (ICE).....	27
3.7.3	Porovnání PMSM a ICE .....	28
3.8	Dopad na životní prostředí z pohledu provozu elektromobilu a výroby bateriových článků a elektřiny.....	29
3.9	Problematika dobíjecích stanic .....	32
4	Praktická část práce .....	35
4.1	Testované vozidlo .....	35
4.1.1	Technické parametry VW e-up! .....	37
4.1.2	Jízdní režimy VW e-up! .....	38
4.2	Testovací trasa .....	39
4.3	Měřicí technika .....	41
4.3.1	Diagnostický systém VAG-COM.....	41
4.3.2	Garmin GPS 18x USB.....	42
4.4	Příprava měření .....	42
4.5	Výsledky měření .....	44
4.5.1	Použité výpočty .....	44
4.5.2	Mimoměstský provoz .....	45
4.5.3	Městský provoz .....	47
4.5.4	Dálniční provoz .....	51
4.5.5	Shrnutí celkové trasy .....	52
4.5.6	Nabíjení vozidla.....	53
5	Závěr.....	55
6	Použitá literatura.....	57
6.1	Seznam obrázků .....	61
6.2	Seznam tabulek .....	62

# 1 Úvod

Technologie se neustále vyvíjejí, a to napříč všemi odvětvími. Díky výzkumům se nabízí celé spektrum možností, jak zefektivnit, vylepšit nebo nahradit stávající technologie. Tyto procesy se odráží také v reálném světě. Kdybychom si porovnali to, co je dnes pokládáno za standard, a to, co bylo standardem například v roce 1991 (tedy v časovém horizontu 30 let), zjistili bychom, že běžný den se zásadně liší – ať už z pohledu osobního nebo pracovního života. V dnešní době nám technologie usnadňují práci i život a staly se jejich součástí. V oblasti dopravy lze trend vývoje také pozorovat. Aktuálně nejskloňovanějšími slovy slučovanými s dopravou jsou: zelená doprava (bezemisní), elektrifikace, efektivita a další. Uvedená kritéria bezesporu představují elektromobily, které jsou v porovnání s konvenčními vozidly bez emisí. Elektromotory u elektrických vozidel mají vysokou účinnost, což z nich činí efektivní dopravní prostředek, a to na rozdíl od spalovacích motorů, které mají účinnost podstatně nižší.

Produkce skleníkových plynů v současnosti stále roste. Společnost tak hledá možná řešení, jak tento nepříznivý trend zvrátit. Produkce emisí má totiž zásadní vliv na zvyšování teploty celé planety a na s tím spojené klimatické změny. Mechanismů, projektů a myšlenek pro snížení vypouštění emisí do ovzduší je celá řada. V této práci bude mimo jiné zaměřeno na vliv elektromobilů na životní prostředí – od výroby jednotlivých komponent až po jeho provoz. Budou zde uvedena také některá řešení, která mohou napomoci snížení emisí skleníkových plynů v segmentu elektromobilů. Cílem těchto řešení je udržitelnost životního prostředí, zavedení bezemisních technologií v dopravě a optimalizace stávajícího systému (například v rámci chytré sítě či města).

Na začátku bude tato práce zaměřena na elektromobilitu, na to, jaký má význam, na její výhody, nevýhody a infrastrukturu. Následně budou rozklíčovány pojmy elektromobil, elektromotor, bude shrnut jejich současný stav a aktuálně používané technologie. Dále se bude zaobírat akumulátory, budou představeny jejich druhy a konstrukce. Až bude získáno povědomí o základních částech elektromobilu, tak se bude tato práce zaměřovat na problematiku dobíjení elektromobilu, jejich výhody, nevýhody, dopad na životní prostředí a jejich infrastrukturu. Jakmile bude získán přehled o problematice, tak se bude možné přesunout na praktickou část, která bude věnována analýze faktorů, jež ovlivňují kapacitu akumulátoru.

## **2 Cíl a metodika práce**

V této kapitole je uvedeno, co je cílem diplomové práce a jak je realizována její metodika.

### **2.1 Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je prostudovat a následně zpracovat informace z oblasti elektromobility, a to včetně koncepce elektromobilů a problematiky přidružených segmentů – jak z pohledu technologického, environmentálního a ekonomického, tak z hlediska možného budoucího vývoje. Na základě těchto informací se bude možné získat obecný přehled o problematice elektromobilů, jejich dílčích částech a infrastruktuře. S ohledem na praktickou část je nutné mít základní povědomí o parametrech baterií, jejich konstrukci a použitých technologiích.

Praktická část práce se již věnuje analýze dat získaných z reálného provozu elektrického vozidla. Rozborem dat se získají informace o faktorech ovlivňujících kapacitu akumulátoru. Následně budou zpracovány a vyhodnoceny výsledky analýzy (na jedné straně s ohledem na naměřené klíčové faktory během provozu elektromobilu, na straně druhé na parametry a technologii akumulátoru). V závěru práce budou shrnuty výsledky analýzy a vyhodnoceny možnosti, jakými směry se budou akumulátory ubírat.

### **2.2 Metodika práce**

Metodika práce bude strukturována a řešena dle následujících bodů.

1. Získat přehled a povědomí o současném stavu elektromobility se zaměřením na elektromobily a jejich možné směřování v této oblasti.
2. Vysvětlit základní pojmy v oblasti elektromobility. Dále se seznámit s jednotlivými koncepcemi a technologiemi elektromobilů, jejich dílčími částmi, procesy a infrastrukturou.
3. Porovnat technologii elektromobilů s konvenčními vozidly a určit vlivy, které mají elektromobily na životní prostředí z pohledu jejich provozu a výroby jednotlivých částí.
4. Změřit parametry akumulátoru při provozu elektromobilu v kombinaci se specifickými podmínkami. Následně analyzovat data získaná při měření a vyhodnotit faktory, které ovlivňují kapacitu baterie.
5. V závěru shrnout a vyhodnotit výsledky analýzy. Zhodnotit vliv faktorů ovlivňujících kapacitu akumulátorů, ale i to, jakým směrem se budou vyvíjet.

### 3 Přehled řešené problematiky

V této kapitole bude seznámeno s klíčovými výrazy, jež jsou důležité pro pochopení této problematiky. Na samém počátku tato kapitola objasňuje pojem elektromobilita. Následně se přesunuje k jednomu z mnoha dopravních prostředků elektromobility, a to konkrétně k elektromobilům. V kapitole bude zjištěno, jaké typy elektromobilů v současnost existují, jak elektromobily fungují a jak se vyvíjely z pohledu historie. Dále budou představeny hlavní části elektromobilu – elektromotoru a akumulátoru. V těchto částech je uvedeno, jaké typy se používají a o jakých technologiích se z pohledu akumulátoru uvažuje. Když bude seznámeno, jak funguje elektromobil jako celek, tak bude obeznámeno s technologií dobíjení akumulátorů a následně k části, kde budou stanoveny výhody a nevýhody elektromobilu napříč hlavními segmenty.

Závěr této kapitoly je věnován technologickému porovnání elektromotoru s konvenčním spalovacím motorem. Dále je zde uveden dopad výroby elektromobilu a jeho částí na životní prostředí. Na úplném konci této kapitoly je pozornost věnována problematice dobíjecích stanic.

#### 3.1 Elektromobilita

Elektromobilitu lze definovat jako systém dopravy, v níž jsou dopravní prostředky poháněny elektřinou. U těchto dopravních prostředků může být zdroj elektřiny umístěn vně prostředku, jako příklad lze označit elektromobil, který si pomocí dnešních technologií může vyrábět vlastní elektřinu v omezeném množství. Dalším typem jsou dopravní prostředky využívající vnější zdroj elektrické energie (elektrickou síť). Mezi tyto prostředky patří například trolejbusy, tramvaje, vlaky, čluny, motorčky a další. Dopravní prostředky lze rozdělit na ty, které si elektrickou energii uskladňují do baterií, a ty, jež energii rovnou spotřebovávají a nikterak ji neskladují [1].

Hlavní výhoda elektromobility v porovnání s konvenčními dopravními prostředky spočívá v tom, že při svém provozu nevyprodukují žádné emise CO<sub>2</sub>, prachové mikročástice, NO<sub>x</sub> a další škodlivé látky (tyto látky produkují konvenční spalovací motory – tzn. motory spalující naftu, benzín, LPG či CNG). Další nespornou výhodou elektromobility je jednodušší konstrukce a zároveň účinnost elektromotoru, jež je udávána okolo 90 % oproti spalovacím motorům, které jsou konstrukčně mnohem složitější a jejichž účinnost se pohybuje přibližně mezi 30 až 40 %. Znamená to tedy, že u spalovacího motoru je pouze čtvrtina energie obsažená


















v palivu využita k pohonu vozidla. Díky vyšší účinnosti elektromotoru jsou nižší náklady na provoz vozidla, jelikož energii lépe využije. Elektromotor je oproti konvenčním spalovacím motorům konstrukčně jednodušší, proto jsou nižší jeho náklady na údržbu. Nepochybně je také výhodou, že elektromotor je méně hlučný. Výhoda z pohledu zdroje elektrické energie pak je, že nezáleží na zdroji jejího původu. Elektrická energie může pocházet z elektrárny jaderné, na fosilní paliva, vodní, fotovoltaické anebo větrné [1, 2].

Naopak mezi klíčové nevýhody elektromobility patří produkce emisí vznikajících při výrobě elektrické energie pro dobíjení nebo provoz dopravních prostředků, znečištění závisí na zdroji elektrické energie. Jedná se tedy o emise nepřímé, které produkují zejména fosilní elektrárny. V USA elektrické vozidlo nabíjené z rozvodné sítě emituje přibližně 115 gramů CO<sub>2</sub>/km, pro porovnání automobil se spalovacím motorem běžně vypouští 250 gramů CO<sub>2</sub>/km. Dále mezi nevýhody (a to primárně elektrovozidel s integrovanými zdroji energie vně prostředku) patří vysoká pořizovací cena, životnost akumulátoru a energetická náročnost interiéru vozu. Z pohledu dojezdu elektromobilu je dosažená vzdálenost nižší než u vozidla se spalovacím motorem, a to v rozdílu desítek procent. S tím souvisí délka doby nabíjení elektromobilu, která je rovněž delší než při tankování vozu se spalovacím motorem, zde však je nutno zohlednit možnost rychlonabíjení. Ani tento způsob však není rychlejší než klasické tankování. Při tomto druhu nabíjení navíc dochází ke zkracování životnosti akumulátorů.

Z pohledu počtu dobíjecích stanic, jich ke dni 30. 12. 2020 bylo v České republice celkem 734, což se v porovnání s počtem čerpacích stanic může také jevit jako nevýhoda. Neméně významnou roli má také kapacita baterií, kde největší nevýhodou je ztráta její kapacity, a to hned několika faktory, ty následně ovlivňují životnost baterie a snižují vzdálenost, kterou může následně elektromobil urazit [3, 5].

## 3.2 Elektromobil

Elektromobil je definován jako vozidlo, které je plně nebo částečně poháněné elektrickou energií. V rámci elektromobilů se lze setkat se čtyřmi hlavními typy, konkrétně s bateriovými (BEV), plug-in hybridními (PHEV), hybridními (HEV) a elektrickými vozidly s palivovými články (FCEV). Na obrázku 1 jsou zachyceny jednotlivé typy elektromobilů se zdroji energie, spotřebou a emisemi. Koncepce elektromobilů se od té se spalovacími motory výrazně liší použitými komponenty pro pohon vozidla. U elektromobilů se muselo uzpůsobit hnací ústrojí, řízení motoru, správa baterií a další. Aby mohl elektromotor správně pracovat, přidal se měnič elektrického pohonu, který určuje jízdní chování. Měnič tak pohání elektromotor a také pohlcuje energii z rekuperačního brzdění, kterou následně přivádí zpět do akumulátorů [1, 35].

	FCEV	HYBRID	PLUG-IN HYBRID	BEV
	 FCEV	 HYBRID	 PLUG-IN HYBRID	 BEV
ZDROJ ENERGIE				
SPOTŘEBA	 Vodík (H)			
EMISE	 BEZ EMISÍ			 BEZ EMISÍ

Obrázek 1: Typy elektromobilů [42]

### 3.2.1 Historický vývoj

Při pohledu do historie, lze zjistit, že první experimenty s elektrickými vozidly byly provedeny již ve druhé polovině 19. století a první komerčně dostupné elektrické vozidlo se vyrobilo v USA roku 1897. Elektromobily tudíž nejsou pro svět žádnou novinkou, avšak díky novým technologiím se postupem času začaly redukovat limity oné doby. Elektrické vozidlo z roku 1897 bylo pomalé a mělo velmi omezenou dojezdovou vzdálenost, proto v roce 1920 začalo dominovat trhu v USA vozidlo se spalovacím motorem, které v té době mohlo jezdit větší rychlostí než elektrické vozy, mělo také větší dojezd. Jako průkopníka mezi hybridními

vozy nelze uvést nic jiného než dnes již ikonický vůz Toyota Prius, jehož první generace se začala vyrábět v roce 1997, zejména jeho druhá generace se pak dostala do povědomí většiny lidí. Tohoto modelu se do dnešního dne prodalo více než 5 milionů kusů. Model Prius tak medializoval pojem elektrický pohon, hybridní elektromobil a stal se synonymem pro ekologii [1, 6].

Důležitý milník na poli elektromobilů představuje rok 2008, kdy automobilka Tesla přišla se sportovním modelem Roadster. Za první elektromobil pro běžné používání je považován Nissan Leaf, který se objevil v roce 2010, následně ho doplnila značka Opel se svým modelem Ampera. U těchto vozů už hranice dojezdů atakovaly stovky kilometrů. Zásadní moment pro elektromobily nastal v roce 2012, kdy automobilka Tesla představila model S, který byl schopen vyvinout rychlost převyšující 200 km/h s dojezdem přesahujícím 500 km, díky čemuž si okamžitě získal místo na trhu. V současnosti má povětšinou každá automobilka ve svém portfoliu modely s elektrickým pohonem anebo plug-in hybridní vozy [1, 6].

V souvislosti s přísnými emisními standardy ze strany Evropské unie lze očekávat navyšující se počet elektromobilů jak v České republice, tak v rámci celé Evropy. Dne 31. 12. 2019 bylo v České republice registrováno 7637 bateriových elektromobilů, pro zajímavost v období od ledna do března roku 2020 tvořila značka Škoda 58 % nových registrací bateriových a plug-in hybridních vozidel [13].

### **3.2.2 Koncepce elektromobilů**

BEV je čistě elektrické vozidlo, jehož jediný zdroj energie pochází z instalovaného akumulátoru, který se dobíjí pomocí kabelu z veřejné sítě či dobíjecích stanic. Absencí spalovacího motoru těmto vozům odpadá nutnost palivové nádrže a výfukového systému. Tato platforma je dále rozdělována dle konstrukčního uspořádání. Rozpoznávají se dle typu, u něhož je výkon elektromotoru přenášený na kola skrze převodovku, a typu, jehož každé hnací kolo je vybavené elektromotorem. Použití převodovky znamená, že je snížena celková účinnost, jelikož vzniká tření v jejích mechanismech [11, 15].

Výhody: Vysoký točivý moment elektromotoru přenášený na hnací kola elektromobilu, jež vede k plynulejší akceleraci, nízký provozní hluk. Tato koncepce je ekologická díky nulovým přímým emisím. Baterie lze dobíjet z domácí či veřejné sítě bez ohledu na typ elektrického zdroje [15].

Nevýhody: Dlouhá doba nabíjení baterií v porovnání s tankováním u spalovacích vozidel, a to i při zohlednění rychlonabíjení, omezená maximální rychlost, vysoké výrobní náklady, s tím spjatá vyšší pořizovací cena. Nedostatečný hluk elektromotoru také může zapříčinit vznik dopravní nehody, chodec může přecházet přes přechod bez rozhlédnutí, protože neslyší žádný dopravní prostředek [15].

Elektromobily typu HEV v sobě kombinují spalovací motor s elektromotorem, kdy elektromotor běží při mírném zatížení nebo při počáteční akceleraci. Při těchto procesech se spotřebovává pouze elektrická energie z baterie. Rozdíl mezi PHEV a HEV spočívá v tom, že čistě hybridní vozidla dobíjejí baterii energií generovanou spalovacím motorem a regenerativním brzděním, baterii tedy nelze dobít ze zásuvky nebo dobíjecí stanicí. HEV lze klasifikovat do sériové nebo paralelní konfigurace. U sériové je tok energie přenášen pouze po jedné cestě, zatímco u paralelní je přenos energie realizován dvěma možnostmi, a to elektrickým nebo mechanickým způsobem [11, 15].

V případě PHEV se kombinuje spalovací motor a elektromotor, pro pohyb vozidla může využít samotnou energii z akumulátoru, spalovacího motoru nebo jejich kombinaci. Zdroj energie je použité fosilní palivo i baterie. Baterii lze dobít z klasické zásuvky nebo také využít dobíjecí stanicí. U těchto elektromobilů pracuje baterie ve dvou režimech, v režimu vybíjení a udržení nabíjení. Režim nabíjení se spouští na základě stavu nabití baterie. V porovnání PHEV s výše uvedeným HEV nabízí tato koncepce snížení  $\text{NO}_x$  o 25–55 %, snížení spotřeby benzínu o 40–80 % a snížení vyprodukovaných emisí skleníkových plynů v rozsahu 35 až 65 % [11, 15].

Platforma FCEV využívá k pohonu vozidla palivové články, ve kterých je stlačený kapalným vodík, jež je skladován ve speciálních vysokotlakých nádržích. V současnosti se používají nádrže na plynný nebo kryogenní vodík. Reakce vznikající přivedením vzduchu z okolního prostředí do sady palivových článků následně pohání elektromotor. Palivové články se skládají z anody, anodové vrstvy, katody, vrstvy katodového katalyzátoru a elektrolytu. Vedlejším produktem těchto vozidel je teplo a voda. Zásobník palivových článků se skládá ze stovek jednotlivých článků. Aktuálně se lze nejčastěji setkat u FCEV s palivovým článkem s elektrolytovou membránou, ta disponuje vysokou hustotou výkonu a nízkou provozní teplotou. Stejně jako BEV jsou tyto vozy bezemisní, avšak zde se nedobíjí baterie, ale doplňuje se kapalným vodíkem, tudíž čas na doplnění paliva je srovnatelný s tankováním fosilních paliv do



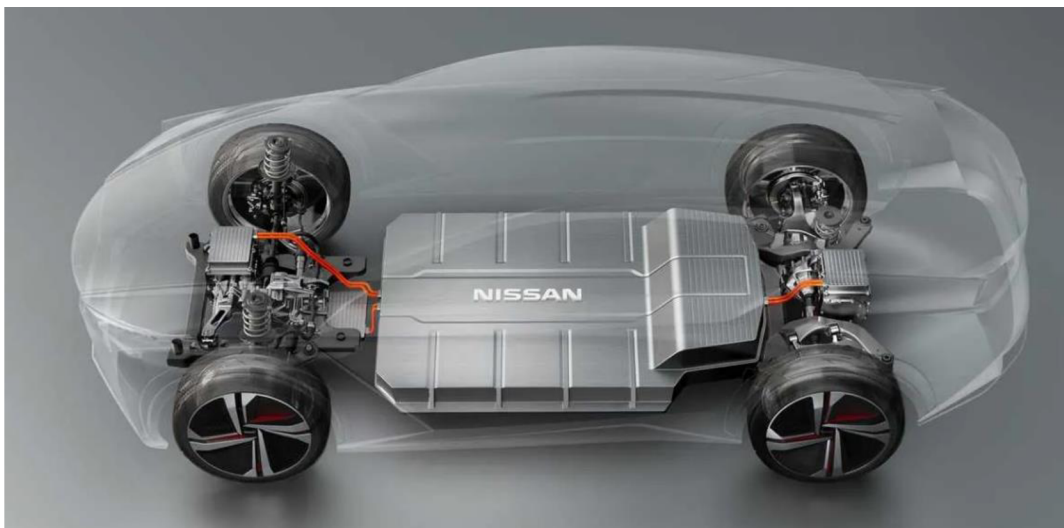
konvenčních vozidel. V současnosti je infrastruktura pro distribuci stlačeného kapalného vodíku velice omezená [11, 15].

### **3.2.3 Nabíjení platformy BEV a PHEV**

Baterie elektromobilu se nabíjí nejčastěji ve stavu, kdy je elektromobil zaparkován a připojen k dobíjecí stanici kabelem. Při kabelovém nabíjení existuje několik nabíjecích režimů, tím nejzákladnějším je, že se elektromobil připojí na domácí elektrickou síť, je využíváno 230V zásuvky. Další režimy již zahrnují speciální kabely, kterými se elektromobil připojí k nabíjecí stanici. Zde je možné se setkat s příkonem 22 kW při maximálních vstupních proudech 3 x 32 A. Režimy se dále odlišují zejména vstupními proudy, jež mohou dosahovat až 3 x 64 A, popřípadě 70 A jednofázově. Jako poslední režim je rychlonabíjení s výkonovým rozsahem začínajícím na 50 kW. V současnosti probíhají výzkumy, které se věnují bezdrátovému dobíjení nebo výměně vybitých baterií za plně nabitě na spínací stanici. Dalším řešením je tankování plynného nebo kryogenního vodíku do vysokotlakých nádrží [1, 4].

### **3.2.4 Hnací ústrojí elektromobilu**

Jelikož má elektromotor jiné provozní charakteristiky, zejména vysoký točivý moment, muselo se tomu uzpůsobit hnací ústrojí. Cílem úpravy hnacího ústrojí je zajistit efektivní přenos výkonu. U spalovacích motorů jsou v současnosti pěti a šestistupňové automatické převodovky. Tyto převodovky jsou uzpůsobeny pro charakteristiky spalovacích motorů. Pro potřeby elektrických vozidel byla vyvinuta celá škála technologií. V současných elektromobilech se nejvíce vyskytuje automatická jednostupňová převodovka. Hnací ústrojí je nejčastěji společně zapouzdřeno s elektromotory a výkonovou elektronikou, avšak i v těchto ústrojích lze nalézt společné komponenty, které se používají i u spalovacích motorů. Jedná se například o přímá a spirálová ozubená kola a skříně. Konstrukční provedení hnacího ústrojí elektromobilu je znázorněno na obrázku 2 [36].



*Obrázek 2: Hnací ústrojí elektromobilu [37]*

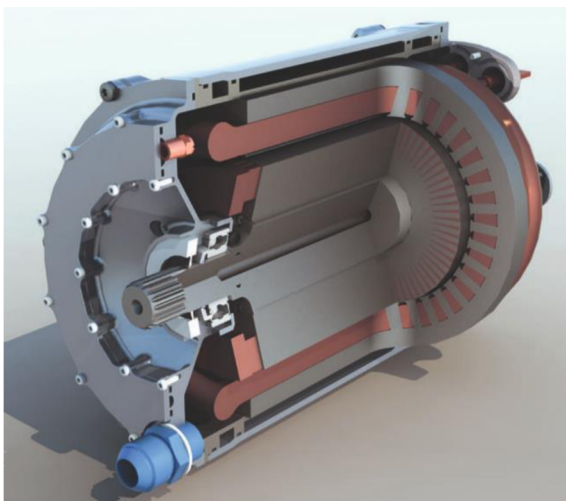
### **3.2.5 Komunikace elektromobilu**

Komunikaci elektromobilu s nabíjecími stanicemi, sítí a dalšími platformami zajišťují standardní komunikační protokoly. Elektromobil se skrze tyto protokoly identifikuje, autorizuje a předává informace o svém stavu. Tento proces začíná při připojení elektromobilu k dané platformě, je tedy nutné fyzické propojení. Pro komunikaci se používají protokoly Power Line Communication (PLC je systém pro širokopásmovou datovou komunikaci skrze vodiče) a Controller Area Network (CAN je komunikační systém pro vzájemnou komunikaci vozidel). Síťové napětí je pak definováno normou IEC 61815, která je rozdělena pro tři režimy provozu nabíjení. Norma IEC 61851-1 poskytuje ucelené informace se základními požadavky na nabíjení pro většinu nabíječek [15, 28, 29].

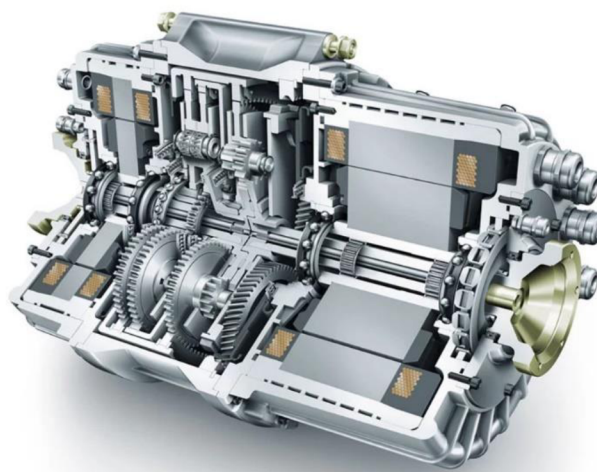
### **3.3 Elektromotor**

Hlavními částmi elektromotoru jsou stator a rotor. Stator je pevná část, která generuje magnetické pole. Rotor je pohyblivá rotující část, rotaci ovlivňuje a vytváří magnetické pole. Dále se elektromotor skládá z vinutí a permanentních magnetů. Elektromotor slouží k uvedení elektromobilu do pohybu, kdy se výkon přenáší na hnací kola. Jednotlivé elektromotory se mohou lišit ve své konstrukci v závislosti na zvolené technologii elektromotoru a s ohledem na výrobce [7].

Co se týče využití elektromotorů v automobilovém průmyslu, existují dva typy motorů na střídavý proud, které se v současnosti nejvíce používají, a to konkrétně synchronní (rotor se otáčí stejnou rychlostí jako magnetické pole ve vinutí) a asynchronní indukční motory (viz. obr. 3). Asynchronní motory (někdy též uváděné jako indukční motory) mají elektricky poháněný stator. V případě synchronního motoru, který lze vidět na obrázku 4, se nachází rotor jako samostatný elektromagnet, podílí se tak na tvorbě magnetického pole, kde je frekvence proudu úměrná rychlosti otáčení. Rotor se tedy u synchronního motoru otáčí stejnou rychlostí jako magnetické pole ve vinutí. Oba výše zmíněné motory mohou při zpomalování vozidla přeměnit mechanickou energii na elektrickou, na tomto procesu je založeno rekuperační brzdění. Konkrétním částem v současnosti nejpoužívanějších elektromotorů je dále věnována kapitola: Technologické porovnání elektromotoru a spalovacího motoru [7].



Obrázek 3: Řez asynchronním indukčním motorem [41]



Obrázek 4: Řez synchronním motorem s permanentními magnety [40]

Historicky se používaly také stejnosměrné motory. Vozidla, která vznikla na počátku 20. století, například poháněl stejnosměrný kartáčový motor. Jak už název napovídá, stejnosměrný proud byl dodáván do vinutí rotoru pružinovými kartáči vyrobenými z olova nebo uhlíku. Rotací kartáčů byla vždy nabuzena určitá část kontaktů, což bylo promítnuto na polaritu elektromagnetu u rotoru. U tohoto motoru změna napětí znamená regulaci rychlosti motoru a změna proudu má vliv na jeho točivý moment. Výhodou jsou počáteční náklady, vysoká spolehlivost nebo snadné ovládní. Nevýhody však jsou nižší životnost motoru a z dlouhodobého hlediska i nutnost vynaložit náklady na údržbu kontaktů a kartáčů [7].

Dalším typem stejnosměrného motoru je bezkomutátorový, ten v současnosti nachází využití zejména u elektrických kol, skútrů a jako elektrický posilovač řízení. Zde jsou

permanentní magnety umístěny u rotoru a statoru. Následně se přepínají různé budící vinutí z kladného na záporné, tím dochází k vygenerování točivého magnetického pole. Absence kartáčů zde vede k dlouhé životnosti a nenáročné údržbě při zachování vysoké účinnosti motoru. Nevýhodou jsou pak vyšší počáteční náklady a složitější regulace otáček motoru [7].

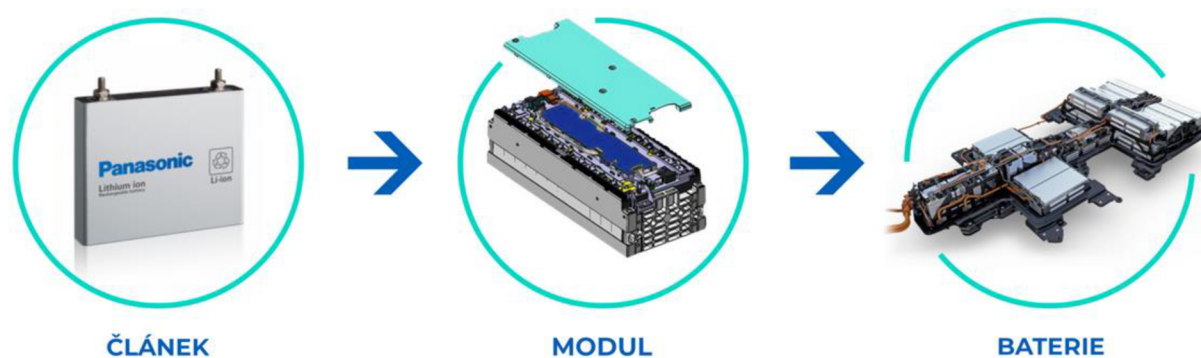
Lze se setkat i se synchronním motorem s permanentními magnety, který pracuje na základě sinusového střídavého proudu. Zde se k určení rychlosti a polohy rotoru používá jeden snímač Hallova jevu (Hallův jev: pokud vodičem, jež je umístěn v magnetickém poli, prochází elektrický proud, pak vzniká na základě působení magnetického pole příčná síla, která působí na pohybující se elektrické náboje, jež vytlačuje na boční stěnu vodiče) k určení polohy a rychlosti rotoru. Mezi klady tohoto motoru patří silný rozběhový moment a hustota výkonu. Nevýhodou rotujících motorů s permanentními magnety je obecně vznik zpětné elektromotorické síly, která má za následek vznik odporu a tepla, jež může vést k demagnetizaci motoru. Uplatnění nachází u posilovače řízení, brzdových systémů a rovněž také u elektrických a hybridních vozů [7, 12].

### **3.4 Akumulátor**

Akumulátor slouží ke skladování elektrické energie a následně jako zdroj energie, kterou elektromotor využívá k pohonu vozidla. Nejpoužívanějšími akumulátory v elektromobilech jsou 4 druhy lišící se konkrétní technologií a chemickými reakcemi. Jedná se o lithiium-iontové baterie, nikl-metal hydridové baterie, olověné baterie a ultrakondenzátory. Spotřeba elektrické energie uložené v akumulátoru se nejčastěji odvíjí od provozních parametrů, rychlosti vozidla, stavu vozovky, technického stavu vozidla, jízdního stylu, povětrnostních podmínek, stavu a typu pneumatik. V koncepci elektromobilu má akumulátor klíčovou roli, jelikož výkon, účinnost, kapacita a životnost ovlivňují dojezd elektromobilu. Dojezd rovněž ovlivňuje hmotnost a celkové rozložení váhy vozidla, počet hnaných náprav, interiér a samozřejmě jízdní styl řidiče [8].

Konstrukce baterie se liší dle jednotlivých výrobců a dle chemické reakce, která v bateriích probíhá. Stejným konstrukčním prvkem baterií (nehledě na jejich chemické složení) jsou bateriové články a moduly. Baterie je složena ze stovek i tisíců bateriových článků, které mohou být zapojeny sériově nebo paralelně. Tyto bateriové články disponují nejčastěji napětím v rozsahu 3 až 4 V. Vyrábějí se v několika variantách jako hranolové, pouzdrové a válcové. Články se následně umísťují do bateriových modulů, kdy tato koncepce umožňuje vyměnit

pouze jednotlivé moduly v případě poruchy. V bateriových modulech jsou implementovány chladičové jednotky, relé, monitor teploty, monitor napětí a další komponenty. Funkce těchto komponent spočívá jednak ve zprostředkování informací řídicímu systému, řidiči, ale i řízení provozu článků z pohledu rovnoměrného nabíjení a vybíjení. Konstrukční provedení lithium-iontové baterie lze vidět na obrázku 5 [18].



Obrázek 5: Sestavení lithium-iontové baterie [18]

Akumulátor má zásadní dopad na dojezdovou vzdálenost elektromobilu. Původní informaci o možném dojezdu udává kapacita baterie, která se nejčastěji udává v kilowatthodinách (kWh) nebo ampérhodinách (Ah). Čím větší kapacita je, tím delší bude dosažená vzdálenost. Výkon akumulátoru je odvozen od vnitřního odporu. Pokud bude vnitřní odpor nízký, tak bude vyšší výkon. Dále vnitřní odpor udává maximální výkon, kterým lze baterii nabíjet nebo vybíjet. Má-li baterie vysoký vnitřní odpor, tak bude docházet k vysokým ztrátám a baterie se bude více zahřívat i vybíjet [18].

Vliv na dojezd elektromobilu má rovněž teplota okolí, je možné pozorovat, že v zimních měsících je dojezdová vzdálenost kratší. S klesající teplotou baterie se zpomalují chemické reakce uvnitř palivových článků. Pomalejší chemická reakce má za následek zvýšení vnitřního odporu, tím pádem dochází ke zvýšení ztrát baterie. Lze se proto setkat s řešeními, které se snaží zamezit překročení stanovených teplot a minimalizovat možné poškození (například pomocí aktivního ohřevu baterie nebo klimatizací). Teplota rovněž hraje klíčovou roli z pohledu životnosti baterie. Překročení maximální teploty baterie vede k nevratnému poškození, při teplotách okolo  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  dochází ke zvýšení vnitřního odporu takovým způsobem, že baterie není schopna vykonávat svou funkci [18].

### 3.4.1 Cykly akumulátoru

Akumulátory se z funkčního hlediska nacházejí vždy v jednom z několika cyklů, které souvisí s v literatuře uváděným State of Charge (SOC – stav nabití) nebo také s Deep of Discharge (DOD – hloubka vybití). Tyto veličiny nám udávají podíl současného množství energie uložené v akumulátoru ku jeho celkové kapacitě. Za cyklus lze obecně považovat to, když se akumulátor vybijí a opět nabije. Avšak záleží na tom, do jaké míry byl akumulátor vybitý a také do jaké míry se opět nabil. S tím, jak akumulátor stárne, nastává snížení skutečné kapacity. V tuto chvíli dochází k chybám, kdy systém není schopen přesně určit stav nabití, jelikož se určuje z napětí článku. Tento aspekt by se měl projevit v údajích stavu života neboli State of Health (SOH). V současnosti se SOH určuje z poměru současné kapacity článku ku kapacitě článku deklarované výrobcem. Tento způsob určování nicméně nedosahuje přesnosti jako u pokročilých algoritmů, které dosahují lepších výsledků [53].

Cyklus, ve kterém se akumulátor nachází, závisí na toku energie. V případě, že akumulátor dodává energii, probíhá tzv. vybíjecí cyklus. Vybíjecí cyklus lze rozdělit na samovybití a vybití. Při samovybití ztrácí část uložené energie, aniž by byla energie vynaložena k funkcím vozidla či k vyvinutí pohybové energie. Při samotném vybití se již energie využívá k uvedení vozidla do pohybu nebo k funkcím, kterými může být například denní svícení, klimatizace, ale i rádio či palubní počítač. Poslední cyklus je nabíjecí, kdy se akumulátorům dodává energie ze zdrojů elektrické energie, jako jsou dobíjecí stanice, wallboxy, domácí síť a další [53].

Zmíněné cykly mohou mít různý rozsah, jelikož závisí na hloubce vybití akumulátoru. Lze se tak setkat s plnými cykly, kdy se akumulátor vybijí ze 100 % energie na 0 % a následně se nabije na 100 % své kapacity. Další cyklus může být částečný, kdy se akumulátor vybijí například na 30 % své kapacity a následně se nabije opět do 100 %. Lze se setkat i s tzv. mikrocyklováním, kdy je akumulátor například na 40 % své kapacity, následně se částečně dobije jeho kapacita například o 10 % a poté se využívá až do poklesu na 40 %, tento děj se dále opakuje. Mezi nejlepší volbu cyklu se zahrnuje optimální cyklování, kdy se akumulátor dobíjí při doporučené hodnotě minimálního stavu nabití (SOC), a to do hodnoty doporučeného maximálního stavu nabití. Optimální cyklování se tak vyhýbá maximálnímu nabití (tedy do 100 % SOC), ale rovněž i hloubce vybití akumulátoru na 0 % [53].

Volba ideálního cyklu s ohledem na technologii akumulátoru se může pozitivně projevit na životnosti baterie. S volbou ideálního cyklu rovněž souvisí způsob nabíjení. Pokud se zvolí ideální cyklus a rychlé nabíjení s vysokým výkonem, tak z dlouhodobého hlediska bude mít tento typ nabíjení negativní vliv na životnost akumulátoru, a to oproti tomu, kdyby se použilo optimální nabíjení s patřičným výkonem. Životnost akumulátoru rovněž souvisí s jeho provozní teplotou, teplotou skladování, stavem vybití včetně doby stráveném v tomto stavu, stavem nabití a zejména dobou přebíjení. Dále to může záviset na technologii akumulátoru, kvalitě materiálů, kvalitě výroby a také systému řízení akumulátoru (BMS – Battery Management System) [53].

### 3.4.2 Lithium-iontová baterie

Nejčastěji se u elektromobilů používají lithium-iontové baterie, které mají vysoký poměr výkonu k hmotnosti, dobrý výkon při vysokých teplotách a vysokou energetickou účinnost. Tyto baterie navíc mají nízkou rychlost samovybití, což v praxi znamená, že mají schopnost udržet energii v průběhu času déle oproti ostatním typům baterií. Vzhledem ke své hmotnosti dokážou pojmout hodně energie, tím pádem elektromobil může urazit na jedno dobití větší vzdálenost. Lithium-iontová baterie se skládá ze dvou elektrod, a to kladné a záporné, jež jsou uloženy kolem organické kapaliny. Při nabíjení a vybíjení elektricky nabitě částice lithia prostupují z jedné elektrody skrze kapalný elektrolyt na druhou elektrodu. Z pohledu bezpečnosti tato baterie může při určité teplotě a napětí vzplanout, jelikož při určitých podmínkách se elektrolyt stává těkavým. Tento typ baterií se rovněž používá u přenosné elektroniky (notebooky, tablety, mobilní telefony a další), avšak chemické složení se mírně liší mezi baterií v uvedené elektronice a u elektromobilu. Parametry jednotlivých baterií jsou uvedeny v tabulce 1 [8, 9].

Tabulka 1: Technické parametry baterií [14]

Typ baterie:	Lithium-iontová			Nikl-metal hydridová	Nikl- kadmiová	Olověná
	Kobalt	Mangan	Fosfát			
Napětí článku [V]	3,6	3,8	3,3	1,2	1,2	2
Hustota energie [Wh/kg]	150–190	100–135	90–120	60–120	45–80	30–50
Vnitřní odpor [mΩ]	150–300	25–75	25–50	200–300	100–200	< 100
Doba rychlého nabíjení [h]	2–4	≤ 1	≤ 1	2–4	1	8–16
Životní cyklus (80% vybití)	500–1000	500–1000	1000–2000	300–500	1000	200–300
Samovybití/měsíc (pokojová teplota)	< 10 %	< 10 %	< 10 %	30 %	20 %	5 %
Výstupní teplota [°C]	-20 až 60	-20 až 60	-20 až 60	-20 až 65	-20 až 65	-20 až 50

### **3.4.3 Nikl-metal hydridové baterie**

Nikl-metal hydridové baterie se častěji používají u plug-in hybridních vozů, ale používají se i u čistých elektromobilů. Použitím tohoto chemického složení je dosaženo delší životnosti baterie, ale na úkor vysokým nákladům s vysokou rychlostí samovybitení a větší hmotností než u lithium-iontové baterie [8].

### **3.4.4 Olověná baterie**

Olověné baterie se v současnosti používají pouze v elektromobilech pro doplnění jiných zátěží baterií. Hlavní výhodou těchto typů baterií je jejich výkonnost, nízká pořizovací cena, bezpečnost a spolehlivost. Jejich nevýhody však jsou krátká životnost a nízký výkon při nízkých teplotách. Aktuálně tyto baterie slouží jako sekundární úložiště elektrické energie v užitkových vozech [8].

### **3.4.5 Ultrakondenzátor**

Při zaměření na ultrakondenzátory, tak za zmínku stojí, že se nejedná o baterie v tradičním smyslu slova. Ultrakondenzátor ukládá polarizovanou kapalinu mezi elektrodou a elektrolytem. Při zvětšení povrchu kapaliny se zvýší kapacita pro uložení energie. Využití ultrakondenzátoru je podobné jako u olověných baterií a slouží jako sekundární úložiště pro elektrickou energii, navíc ovšem může poskytnout výkon při zrychlování a při rekuperačním brzdění [8].

### **3.4.6 Setrvačnickové ukládání energie**

Setrvačnickové ukládání energie se skládá z rotujícího válcového tělesa uloženého v komoře, spojených ložisek a zařízení pro přenos energie. Energie udržovaná neustále se otáčejícím setrvačnickem je převodovým ústrojím přeměněna na elektrickou energii. Setrvačnickové ukládání energie je dvojího typu – vysokorychlostní, které přenáší energii k pohonu zátěže přes generátor, a nízkorychlostní, jež získává energii k nabíjení ze zdroje energie pomocí motoru. V porovnání s ostatními typy baterií vykazuje rychlejší a účinnější pohlcování energie při procesu rekuperačního brzdění, dále jsou lehčí a mají delší životnost. Nevýhoda spočívá ve vysoké míře samovybitení, která je způsobena třením ložisek [15].

### **3.4.7 Vývoj akumulátorů**

V současné době se vývoj akumulátorů zaměřuje na zvýšení bezpečnosti, zmenšení velikosti, zvýšení množství uchované energie v závislosti na velikosti a hmotnosti baterie.



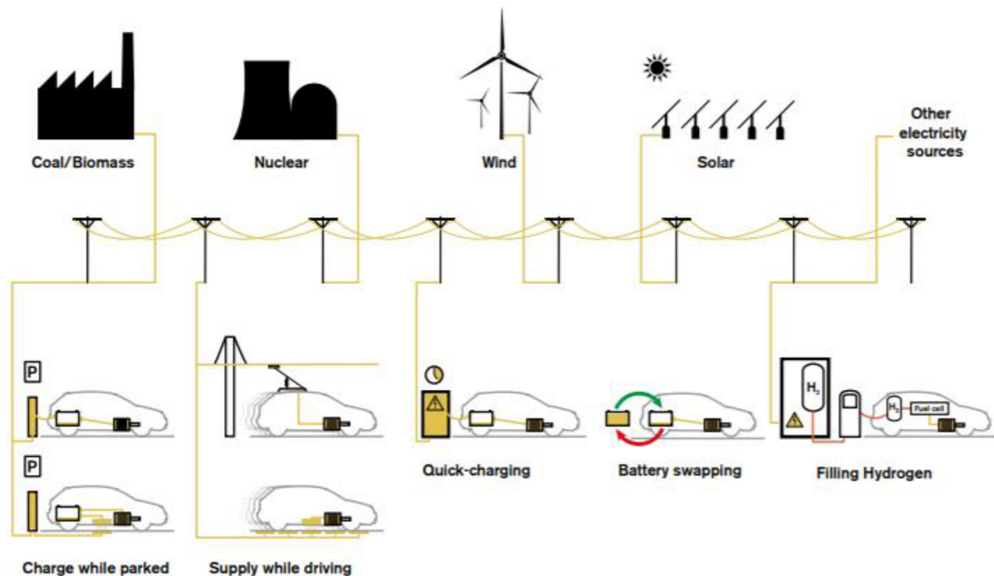
U lithium-iontových baterií je snaha nahradit kapalný elektrolyt tenkým a pevným, který je stabilní ve velkém rozsahu teplot a napětí. Tímto způsobem úpravy lze zmenšit celkové rozměry baterie se zvýšením její hustoty energie při zachování kapacity. Dle studií se meziročně zvyšuje hustota energie na kilogram baterie, a to v rozmezí 5 až 8 % [9, 19].

Vývoj akumulátorů se rovněž zabývá jinými chemickými složeními baterií, avšak zde může situaci ztěžovat dostupnost, produkce prvku, dodavatelské řetězce, obtížnost výrobního procesu a jeho náklady, které se musí také zohlednit. Nicméně se očekává zlepšení charakteristik baterií a prodloužení životnosti, což sníží nutnost výměny baterií i zlepší faktory pro jejich druhotné využití. Zvýšení účinnosti baterií bude znamenat menší spotřebu energie. V rámci inovací by se také snížilo množství vzácných prvků potřebných pro výrobu, jako je lithium, nikl, kobalt a další [9, 19].

V České republice je v souvislosti s vývojem baterií pro elektromobil často zmiňovaná společnost He3d, která vyvinula baterii na bázi lithiových nanomateriálů. Jako výhody výrobce udává 100% recyklovatelnost, vysokou bezpečnost docílenou nízkým vnitřním odporem a absencí organických látek. Další výhodou je uvedená životnost baterie, jež by měla být přes 5000 cyklů, a velikost jednotlivých článků [10].

### **3.5 Dobíjení elektromobilů**

Nabíječka baterií je zařízení, které slouží k řízenému přenosu elektrické energie do baterie umístěné vně elektromobilu. Jsou opatřeny usměrňovačem pro přeměnu střídavého proudu na stejnosměrný proud a měničem, který provádí korekci parametrů elektrické energie. V současné době se rozlišují nabíjení baterií elektromobilů na kabelové spojení, výměnou baterie a indukční. Nabíjení pomocí kabelového propojení je v současnosti nejpoužívanějším způsobem pro nabití elektromobilu, jedná se totiž o přímé spojení dobíjecí stanice a vozidla, spojuje tak zdroj elektrické energie a baterii. Zdroje elektrické energie a způsoby dobíjení elektromobilů lze vidět na obrázku 6 [15].



Obrázek 6: Typy elektrických zdrojů a technologie dobíjení elektromobilů [1]

### 3.5.1 Nabíjení elektromobilů v rámci chytrých měst

Koncept chytrého města se skládá ze čtyř pilířů: kvalita života, udržitelnost, chytrá řešení a urbanizace. Spočívá tedy ve využívání informačních a komunikačních technologií pro optimalizaci funkcí měst, zvýšení provozní efektivity, sdílení informací s veřejností a zvyšování kvality služeb. Dále to je zlepšení sociálních, ekonomických a environmentálních standardů. Využívá k tomu již výše uvedené technologie, ale také analýzu získaných dat, jelikož mohou vést k udržitelnému rozvoji městského ekosystému. Úroveň chytrého města se odvozuje dle technologie infrastruktury, environmentálních iniciativ, efektivní a vysoce funkční veřejné dopravy, progresivních plánů města a dle společnosti, která může ve městě žít, pracovat a používat jeho zdroje [15].

S přechodem na energetické systémy s nulovými emisemi stoupá zatížení veřejné elektrické sítě. Pod uvedenými energetickými systémy si lze představit elektrifikaci dopravy ve veřejném i soukromém sektoru. Vzhledem k celosvětovému růstu trhu s elektromobily, jež byl 5 po sobě jdoucích let vyšší než 30 %, elektromobily vytváří velké zatížení sítě, to má za následek problémy jako kolísání napětí, ztráty výkonu a další. Obecně tak elektromobilita vytváří nové výkonové špičky ve spotřebě elektrické energie, lze tedy očekávat zvýšení stability a kapacity současné infrastruktury pro distribuci elektrické energie. Společně s implementací informačních a komunikačních technologií se tak vytváří ideální podmínky pro koncept chytrého nabíjení. V rámci chytrého nabíjení lze zvýšit energetickou účinnost inteligentní sítě. Návrhy chytrého nabíjení se v současnosti prezentují jako koncepty nazývané V2G, V2H, V2B,

B2G, S2V, kde klíčovou roli sehrává elektromobil. Dále se v rámci chytrého nabíjení mluví o konceptech, které s elektromobily nesouvisí jako B2G – building to grid (budova k síti) [15].

#### **3.5.1.1 V2G – vehicle to grid (vozidlo k síti)**

Tento koncept chytrého nabíjení umožňuje elektromobilům odebírat i dodávat energii do sítě. Při odběru energie z elektromobilu je v tzv. vybíjecím režimu. Lze tak podpořit síť v době, kdy je velká zátěž, a regulovat tak distribuční síť. V této souvislosti jsou elektromobily označovány za dynamické zásobníky energie. Nabíjení elektromobilu probíhá vždy, když má baterie nízké množství uložené energie. Koncept V2G se využívá v situacích, kdy je nízký odběr a poptávka energie nebo ke snížení energetické špičky. Při poklesu elektrické energie z obnovitelných zdrojů může tyto výpadky nahradit právě elektromobil. Nevýhodou této koncepce je nutnost úpravy vozidel a distribuční sítě. Problém může být také zpoplatnění energií, kdy záleží na tom, kdo energii odebírá (zda síť nebo elektromobil). Další nevýhoda je ve zvýšeném namáhání baterií a snižování životnosti. V2G je koncept na globální úrovni, zmenšením na úrovni urbanizace vznikne V2N, při lokální úrovni pak V2H. Zmíněné koncepce budou vysvětleny níže [15].

#### **3.5.1.2 V2H – vehicle to house (vozidlo k domu)**

V2H spadá do konceptu V2G a využívá domácí automatizační síť, která spočívá v komunikaci domácích elektrických spotřebičů s cílem vytvořit bezpečnou, energeticky účinnou a ekonomického životního prostředí. Elektromobil se zde využívá jako záložní zdroj elektrické energie, v němž se ukládá nadbytek energie. Dochází k tomu, když fotovoltaické panely vyrobí nadbytek elektřiny pro domácnost, která se následně uloží do elektromobilu. To se pak pozitivně projeví ve snížení nákladů na elektřinu. Při výpadku proudu či zvýšení spotřeby elektromobil poskytne uloženou energii k provozu domácnosti z energetického hlediska. Hovoří se také o V2N – vehicle to neighborhood (vozidlo k čtvrti), kdy se v tomto konceptu oblast zvětšuje na čtvrt' [15].

#### **3.5.1.3 V2B – vehicle to building (vozidlo k budově)**

V tomto případě se kombinuje lokální zdroj elektrické energie, který je nejčastěji reprezentován obnovitelnými technologiemi výroby elektřiny, a systémy pro ukládání vyrobené elektrické energie (včetně elektromobilů). Jedná se o úpravu konceptu V2G, cílem této technologie je zmírnění poptávky energie pro provoz budovy a optimalizace spotřeby elektřiny. Hlavní myšlenkou je ukládání přebytku z lokálních zdrojů do baterií elektromobilů a v případě

nedostatečné produkce uloženou energii využít pro pokrytí nedostatků. Lze tak nahradit záložní zdroje například v podobě diesela agregátů [15].

### **3.5.2 Chytré nabíjení**

Chytré nabíjení nabízí společně působící přístup technologie, instrukce a funkce pro udržení ekonomického a ekologického provozu v rámci distribuční sítě. Uživatel může dálkově spravovat výkon, denní dobu nabíjení, délku nabíjení a další parametry. To usnadňuje kontrolu a správu při procesu nabíjení. Chytré nabíjení v kombinaci s chytrým městem může ovlivňovat výkony proudu, využívat alternativní zdroje a snížit emise oxidu uhličitého společně s náklady na výrobu elektrické energie. Pro tento přístup se využívají optimalizační a heuristické algoritmy, které ovlivňují parametry nabíjení. Strategie chytrého nabíjení se v současnosti člení na centralizované, decentralizované a hybridní [15].

### **3.5.3 Chytrá síť**

Chytrá síť je definována jako elektrická rozvodná síť využívající procesů automatizace a dálkového ovládání pro zlepšení udržitelnosti dodávek energie, účinnosti, kvality a spolehlivosti. Tyto sítě využívají obousměrné komunikace mezi distribuční infrastrukturou a odběrateli elektřiny. V rámci chytré sítě mohou spotřebitelé do jisté míry ovlivňovat poptávku, jelikož mají přístup k aktuální spotřebě elektrické energie, na základě dat se mohou rozhodnout upravit svou spotřebu, případně využít jiných tarifů (například při odběrech mimo špičku). Na základě chytré sítě vznikly různé projekty jako pokročilá měřicí infrastruktura (zařízení, které shromažďuje a zaznamenává informace o spotřebě elektřiny v reálném čase), V2G, reakce na poptávku (spotřebitelé se podílejí na provozu elektrické sítě a jsou za to následně odměňováni), domácí automatizační síť a další [15].




### 3.5.4 Nabíjecí konektory

Konektory pro nabíjení se odvíjí od typu nabíjení, které se dělí na pomalé, rychlé a rychlonabíjecí. Každé nabíjecí zařízení obsahuje konektory, jež jsou navrženy dle množství výkonu dodávané elektrické energie a dle typu proudu. Konektory se střídavým proudem jsou znázorněny v tabulce 2 včetně jejich parametrů. Do konektorů na střídavý proud spadá 3kolíková zástrčka, Commando, Type 1, Type 2. Zástupci stejnosměrných konektorů jsou CHAdeMO (Charge de Move, což znamená nabití pro pohyb), CCS (Combined Charging System) a konektory Tesla Supercharger. Konektory na stejnosměrný proud jsou shrnuty i s jejich parametry v tabulce 3. Nabíjecí kabely se rozdělují dle režimu nabíjení. Výrobce s elektromobilem běžně dodává i nabíjecí kabel pro režim 2, tedy pro připojení do běžné zásuvky. Nabíjecí kabel pro režim 3 slouží k propojení elektromobilu s nabíjecí stanicí [26].

Tabulka 2: Parametry konektorů na střídavý proud [27]

Typ AC konektoru	Jmenovitý výkon	Přibližná vzdálenost na hodinu nabíjení	Funkce	Typ nabíjení
Type 1 	3,7 kW 7 kW	20,1 km 40,2 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardní US konektor</li> <li>• Pouze jednofázový</li> <li>• 5 kolíků</li> <li>• Bez zamykacího mechanismu</li> </ul>	Pomalé a rychlé
Type 2 	3,7 kW 7 kW 22 kW (3f)	20,1 km 40,2 km 120,7 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nejpoužívanější typ konektoru</li> <li>• Zamykací mechanismus</li> <li>• Možnost přenosu 3f napájení</li> <li>• 7 kolíků</li> </ul>	Pomalé a rychlé
3kolíková zástrčka 	2,3 kW	12,9 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomalé nabíjení</li> <li>• Použití pouze v nouzovém případě</li> </ul>	Pomalé a rychlé

Tabulka 3: Parametry konektorů na stejnosměrný proud [27]

Typ DC konektoru	Jmenovitý výkon	Přibližná vzdálenost na hodinu nabíjení	Funkce	Typ nabíjení
 CHAdeMO	50 kW 100 kW	120,7 km 241,4 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Původní DC konektor</li> </ul>	Rychlonabíjení
 CCS	50 kW 150 kW 350 kW	120,7 km 362,1 km 844,9 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vysoký výkon</li> <li>• Nejoblíbenější DC standard</li> </ul>	Rychlonabíjení
 Type 2	150 kW 250 kW	362,1 km 603,5 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pouze Tesla Superchargery poskytují stejnosměrný proud</li> <li>• Vysoký výkon</li> </ul>	Rychlonabíjení

### 3.5.5 Domácí nabíjení

Aktuálně se přibližně 80 % z celkového počtu nabíjení elektrických vozidel odehrává v domácnostech. Proto se výrobci zabírají výzkumem i v této oblasti, jejich cílem je učinit domácí nabíjení nákladově efektivní a rychlé. Dalšími aspekty jsou například snadné připojení ke zdroji energie a volba ideální technologie odpovídající lokalitě. V rámci domácího nabíjení se lze setkat s nabíječkou dodávanou výrobcem k elektromobilu, jež se zapojuje do domácí sítě. Výhodou této nabíječky je snadná použitelnost a přenosnost. Zásadní nevýhodou je rychlost nabíjení, jelikož se baterie neustále vyvíjejí a jejich zvyšující se kapacita i množství vede k tomu, že nabíjení tímto způsobem může trvat déle než 24 hodin [25].

Náhradou tohoto typu nabíjení v rámci domácnosti je nástěnná nabíječka označovaná jako wallbox. Instalace probíhá, jak název napovídá, na stěnu domu nebo garáže, problém nastává ve městech, kde se kabel nesmí natáhnout přes chodník či veřejnou komunikaci. Wallbox je oproti klasické nabíječce spolehlivější, bezpečnější a dosahuje větších rychlostí nabíjení. Bezpečnost je zvýšena zejména komunikací vozidla a nabíječky, která na základě informací může upravit parametry nabíjení. Wallboxy mohou být opatřeny rychlonabíjecí jednotkou, která dobu nabíjení značně zkracuje. Dle typu nabíječky lze i dálkově naprogramovat, aby nabíjely pouze v určité době nebo omezily množství energie. Smart wallboxy lze ovládat prostřednictvím mobilních aplikací dálkově (například technologií Bluetooth nebo Wi-Fi). Nejčastěji tyto nabíječky dodávají elektrickou energii o výkonu 3 kW nebo 7 kW, jež zkrátí čas dobíjení přibližně o polovinu oproti 3kW verzi. V domácnostech, kde

se nachází třífázové napájení, existují wallboxy s výkony 11 kW a 22 kW, avšak toto provedení je v domácnostech méně časté [25].

### **3.5.6 Rychlonabíječky**

Nejrychlejším způsobem, jak elektromobil nabít, je za použití rychlonabíječky. Toto zařízení dodává vysoký výkon proudu, díky tomu je v porovnání s ostatními typy nabíjení potřeba pouze zlomek času. Uvádí se, že pro nabití elektromobilu na 80 % jeho kapacity stačí pouhých 20 minut, časy se mohou lišit v závislosti na jednotlivých typech elektromobilů a použitých akumulátorech. Při dobíjení akumulátorů nad 80 % jejich kapacity se rychlost nabíjení výrazně snižuje, čímž chrání baterii, proto se neuvádějí časy do plného nabití. Typ konektoru určuje, jaký typ rychlonabíjení kabel umožňuje. Nejběžnější jsou rychlonabíječky se stejnosměrným proudem o výkonu 50 kW. V rámci ultrarychlého stejnosměrného nabíjení je výkon 100 a více kW. Rychlonabíjení využívá konektory typu CCS, CHAdeMO nebo Type 2. Z pohledu rychlého nabíjení střídavým proudem se využívá konektor Type 2 při výkonu 43 kW. S těmito zařízeními se nejčastěji lze setkat u dálnic nebo blízko hlavních tahů [26].

### **3.5.7 Rychlé nabíječky**

Rychlé nabíječky jsou nejčastěji v provedení s výkonem 7 kW nebo 22 kW. Jsou optimalizovány pro distribuci stejnosměrného i střídavého proudu. Rychlá nabíječka o výkonu 7 kW je schopna nabít baterii se 40 kWh v rozmezí 4 až 6 hodin, její 22kW verze je pak schopna zkrátit čas nabíjení na 1 až 2 hodiny. V souvislosti s nabíjením také záleží na palubní nabíječce, pokud má maximální odběr například 3,3 kW, tak nezáleží, jaký výkon má rychlá nabíječka, ta vždy odebere pouze 3,3 kW, ať už se jedná o nabíječku s výkonem 7 nebo 22 kW. Rychlé nabíječky mohou mít k sobě připevněné kabely, ty pak mají obvykle konektor typu CCS, CHAdeMO, Type 1, Type 2 nebo Commando. V případě, že k nabíječce není připevněn žádný kabel, předpokládá se využití kabelu elektromobilu. Toto schéma je flexibilnější, jelikož nabíječka nemusí obsahovat několik typů konektorů (dle konkrétního vozidla). Tyto nabíječky se instalují k nákupním centrům, parkovištím a dalším podobným oblastem, kde je předpoklad, že bude elektromobil zaparkován po delší dobu [26].

### **3.5.8 Pomalé nabíječky**

V této kategorii jsou nabíječky, které se dodávají společně s elektromobilem. Tyto nabíječky lze připojit do domácí sítě, ale i do specializovaných nabíječek. Výkony těchto nabíječek jsou nejčastěji 3 kW, 3,6 kW a 6 kW. Nabíjení s výkonem 3 kW zabere 6 až 12 hodin, avšak i zde záleží na typu nabíjeného elektromobilu. Tyto zařízení jsou používána v domácnostech, kdy se nabíjí zejména přes noc, když je levnější tarif elektřiny. Vzhledem k dlouhé době nabíjení se s těmito nabíječkami ve veřejné sféře téměř nesetkáme. Pomalé nabíječky se vyrábějí s několika druhy konektorů, jako jsou tříkolíkové, Type 1, Type 2 a Commando [26].

### **3.5.9 Nabíjení elektromobilů z veřejného osvětlení**

Zajímavým konceptem pro rozšíření infrastruktury pro nabíjení elektromobilů je úprava sloupů veřejného osvětlení. Tato myšlenka se zaměřuje na snadno dosažitelný zdroj elektrické energie v prostředí městských ulic – stávající lampy se opatří zásuvkou pro odběr elektrické energie spolu s technologií pro uhrazení množství odebrané elektřiny. Lampy veřejného osvětlení jsou napájeny 25 A, pokud lampa využívá led osvětlení, tak využívá 1 A a zbytek z celkového množství může být využit pro nabíjení elektromobilu. Při tomto výkonu se za hodinu prodlouží dojezd o přibližně 32 km. Když se přihlédne k vozidlům, jež jsou provozována zejména ve městě a nejezdí velké vzdálenosti, jeví se tento způsob dobíjení jako dostatečný. Aktuálně lampy s instalovanými dobíjecími body se vyskytují v Anglii, kde množství těchto lamp v roce 2019 činilo zhruba 250 [24].

### **3.5.10 Výměna baterie**

Výměna baterie spočívá ve vyjmutí vybité baterie z elektromobilu a následné instalaci plně nabitě baterie, k tomuto úkonu slouží stanice pro výměnu baterií. Výhodou tohoto konceptu je časová náročnost, dlouhá životnost a minimální náklady na správu, jelikož jsou baterie shromažďované na jednom místě. Baterie se pak nabíjejí několika metodami, konkrétně se jedná o nabíjení konstantním proudem či konstantním napětím, dále jde o kapkové nabíjení, kuželové nabíjení a pulsní nabíjení. Tyto metody lze případně i kombinovat, ale je nutno přihlédnout k použité technologii baterie i jejímu chemickému složení a na tomto základě pak stanovit metodu nabíjení [15].



### 3.5.11 Indukční nabíjení

Indukční nabíjení baterií se provádí bezdrátově, tato technologie využívá elektromagnetického pole pro přenos elektrické energie do baterie umístěné v elektromobilu. Odpadá zde tedy nutnost připojovat vozidlo do zdrojů elektrické energie pomocí kabelů. Avšak v současnosti se tato technologie nedostala do komerčního prostředí z důvodu vysokých pořizovacích nákladů, bezpečnosti a zdraví. Výhoda této koncepce spočívá v absenci kabelů, tudíž se jeví jako vhodná pro nabíjení elektromobilů zaparkovaných v ulicích měst, kde na ulici nesmí být napájecí kabely. V praxi by to znamenalo zaparkovat auto nad nabíjecí podložkou, jejíž plocha je přibližně 1 m<sup>2</sup> [15, 24].

## 3.6 Výhody a nevýhody elektromobilů

Výhody a nevýhody lze rozdělit do několika kategorií, a to například z pohledu ekonomického (náklady na pořízení a provoz), environmentálního (dopad na životní prostředí), technologického (v rámci použitých technologií v elektromobilu, jejich dobíjení, účinnost atd.) či sociálního (popularita ochrany životního prostředí) [30].

### 3.6.1 Ekonomické výhody a nevýhody

- + úspora provozních nákladů v porovnání cen benzínu a nafty oproti cenám elektřiny
- + levnější údržba (u elektromobilů typu BEV se nenachází výfukový systém, palivová nádrž a elektromotor je technologicky jednodušší než varianta na fosilní paliva)
- + s velkosériovou výrobou cena elektromobilů klesá
- + dotované programy, jimiž lze snížit pořizovací náklady
- + absence poplatků (například při parkování či využívání dálniční sítě, avšak záleží, v jaké zemi se elektromobil provozuje)
- vyšší pořizovací náklady na elektromobil
- cena elektřiny
- dodatečné náklady na pořízení domácího nabíjení ve smyslu wallboxu
- absence dotačních programů v některých zemích
- znehodnocování prodejní hodnoty z pohledu vývoje nových technologií

### **3.6.2 Environmentální a sociální výhody a nevýhody**

- + nulové přímé výfukové emise při provozu elektromobilu
- + využití energie z obnovitelných zdrojů
- + recyklace
- + popularita (elektromobily jsou prezentované jako šetrné k životnímu prostředí)
- + benefity z provozu elektromobilu (elektromobily jsou zbaveny některých poplatků)
- + možnost využití baterií po ukončení jejich životního cyklu v elektromobilech
- emise vznikající při výrobě elektrické energie, baterií a elektromobilů
- těžba vzácných kovů a surovin potřebných pro výrobu
- použití elektřiny ze zdrojů produkujících skleníkové plyny
- rezervy v procesu recyklace baterií

### **3.6.3 Technologické výhody a nevýhody**

- + jednodušší a účinnější motor v porovnání se spalovacím motorem
- + delší životnost elektromotoru v porovnání se spalovacím motorem
- + možnost nabíjet z domácí sítě
- + menší provozní hluk
- + dynamika jízdy, jízda je plynulejší, vyšší zrychlení, vyšší točivý moment
- + absence převodovky (u některých modelů)
- + absence výfukového systému
- + větší úložný prostor spojený s absencí palivové nádrže
- + bezpečnost (elektromobily mají níže položené těžiště než klasické automobily, mají tedy větší stabilitu v případě kolize)
- + rekuperační brzdění
- + menší opotřebení brzdových destiček
- vyšší hmotnost způsobená bateriemi
- omezený dojezd
- čas dobíjení
- životnost baterie
- omezená dobíjecí infrastruktura v některých lokalitách
- nízký provozní hluk

- výměna akumulátorů (při dosažení určitého časového úseku se musí baterie vyměnit, jednotlivé časy se liší dle typu baterií)
- zatížení distribuční sítě, zvýšení kapacity elektrické energie

### **3.7 Technologické porovnání elektromotoru a spalovacího motoru**

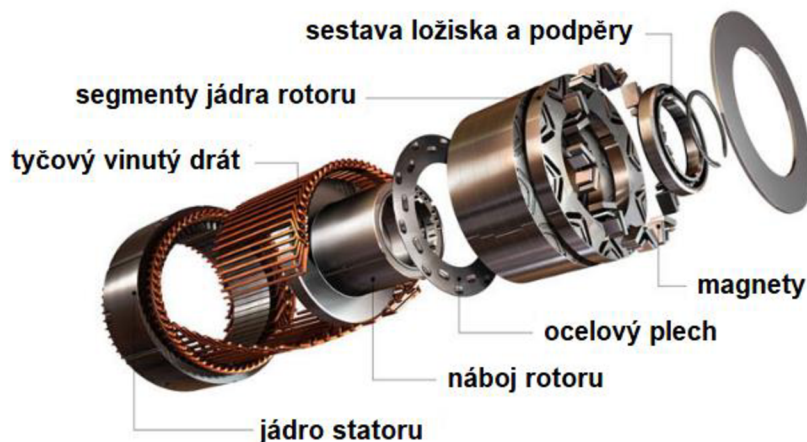
Nejběžnějším typem elektromotoru u elektrických vozidel je PMSM neboli synchronní motor s permanentními magnety. Tento typ poskytuje provoz v širokém rozsahu bez nutnosti převodového ústrojí. Motor dosahuje skvělých výsledků, co se týče kompaktnosti a účinnosti. Pro dosažení maximální účinnosti se používá řízení orientované polem. Tyto motory vynikají svým výkonem, objemem, točivým momentem i setrvačností [32].

Na druhé straně konvenční vozidla jsou opatřena motory s vnitřním spalováním (ICE). Tyto motory využívají k uvedení vozidla do pohybu energii získanou z fosilních paliv (benzín, nafta, LPG, CNG). Konstrukčních variant ICE je mnoho, lze se setkat s válci umístěnými v jedné řadě, do V, horizontálně, vertikálně i dalšími. ICE mohou být realizovány několika koncepcemi: čtyřdobým, dvoudobým nebo Wankelovým spalováním. Dále se ICE rozdělují dle typů paliv, vznětový motor využívá naftu, zatímco zážehový může pro provoz využívat benzín, zemní plyn, propan-butan a další paliva [33, 34].

#### **3.7.1 Technologie synchronního motoru s permanentními magnety (PMSM)**

Konstrukce je nejčastěji koncipována s umístěním rotoru do nehybného statoru. Rotor je vyroben z oceli a jsou v něm umístěny permanentní magnety. Stator se skládá z rámu a jádra v provedení s třífázovým vinutím. Jádro statoru je vyrobeno z měkkého železa a obsahuje stovky tenkých lamel, které jsou naskládány dohromady. Cívky z izolovaného drátu jsou vloženy do drážek statoru. Izolace vinutí je v konstrukci tohoto motoru klíčová, pokud se poškodí, tak motor přestane fungovat. Jeden z faktorů, který má negativní vliv na izolaci, je teplota, proto se zavádí cirkulace studeného vzduchu, aby se zabránilo přehřátí, a tak její degradaci. Vinutí statoru je přímo spojeno s napájecím obvodem. Buzení motoru je realizováno sinusovým napětím spojeným s aktuální polohou rotoru. Konstrukce synchronního motoru s permanentními magnety je znázorněna na obrázku 7 [31, 32].

Elektromotor je pro vykonávání své funkce opatřen čidlem pro monitorování teploty ve vinutí a pro polohu rotoru. Elektrická energie pro pohon vzniká na základě chemické reakce, následně je energie přivedena k výkonové elektronice. Výkonová elektronika upravuje napětí a proud dle současné potřeby elektromotoru. Dále vznikají v elektromotoru elektro-magnetická pole, která roztáčí hřídel, jež je spojena jednostupňovým reduktorem přímo s hnacími koly vozidla [31, 32].



Obrázek 7: Konstrukce PMSM [32]

### 3.7.2 Technologie motoru s vnitřním spalováním (ICE)

Klíčový v této koncepci je klikový mechanismus, který převádí vratný pohyb pístů na klikovou hřídel. Dále je důležitý mechanismus, který ovládá sací a výfukové ventily. Jelikož se v těchto motorech přeměňuje tepelná energie na mechanickou, vzniká tak velké množství tepla, které se musí chladit. Proto jsou vozidla s ICE opatřena systémem pro chlazení motoru. Tyto typy motorů mají tisíce pohyblivých částí, proto se díly musí průběžně mazat (v tomto případě olejem), cílem je snížit tření pohyblivých částí, u kterých dochází ke tření. Aby mohl motor vykonávat svoji činnost, musí se zajistit dodávka paliva pomocí palivového systému, který obsahuje jednak čerpadlo, filtry, nádrž a vedení pro palivo. Když se vozidlo uvádí do pohybu, tak se musí nastartovat, o to se stará startovací systém a systém zapalování. Systém zapalování generuje u zážehových motorů jiskru, která zapálí směs paliva, zatímco startovací systém slouží k nastartování motoru pomocí startéru a setrvačnicku [33, 34].

Hlavními konstrukčními částmi ICE jsou: blok motoru, jednotlivé válce, klikový hřídel, píst, ojnice, setrvačnick, vačkový hřídel, tlačná tyč, ventily, hlava válců a chladičí plášť motoru. V bloku motoru jsou umístěny jednotlivé válce, ty obsahují píst osazený pístními kroužky, který je spojen s klikovou hřídelí. U čtyřdobého motoru, jak již název napovídá, jsou zde čtyři

pracovní fáze. První fází je sání, kdy při pohybu k dolní úvrati dochází k nasávání paliva skrze sací ventil. Při druhé fázi nastává stlačení, píst se pohybuje k horní úvrati. Ventily jsou v tuto chvíli zavřené, směs zmenšuje svůj objem, roste tlak a teplota. Když je píst téměř u horní úvrati, tak se směs jiskrou zapálí. Třetí fáze se liší dle druhu motoru na zážeh nebo vznět. V této fázi jsou stále ventily zavřené, současně hoří zapálená směs. Hořící směs zvyšuje teplotu i tlak v komoře a expanduje při pohybu pístu z horní úvrati dolů. Ve čtvrté fázi nazývané výfuk se píst pohybuje znovu do horní úvrati, avšak v tuto chvíli je již otevřen výfukový ventil a spaliny jsou vytlačovány do výfukového systému. Následně se celý cyklus opakuje [33, 34].

### 3.7.3 Porovnání PMSM a ICE

Při porovnání ICE a PMSM lze zjistit, že technologie ICE je komplikovanější. Spalovací motor musí obsahovat mnoho přidružených systémů pro správnou činnost, naopak koncepce elektromotoru je velice jednoduchá. V případě ICE je celý komplex velice složitý a obsahuje několik tisíc dílů, které jsou důležité pro jeho funkci, s počtem dílů rostou i náklady na údržbu. Elektromotor je tak relativně jednoduché zařízení. Reakce elektrického motoru na plyn je okamžitá, kdežto u spalovacího motoru se musí získat určitá rychlost, aby se generoval vysoký točivý moment. To úzce souvisí s účinností jednotlivých motorů, kdy je elektromotor v porovnání s ICE třikrát účinnější. Nevýhodou automobilu s elektromotorem je jeho hmotnost, to je zapříčiněno bateriemi. I když je automobil s ICE opatřen více díly, palivovou nádrží a systémy pro správné fungování motoru, v konečném součtu je lehčí než právě elektromobil. Shrnutí klíčových vlastností motorů je uvedeno v tabulce 4 [31, 32, 34].

Tabulka 4: Shrnutí porovnání PMSM a ICE

Technologie:	
PMSM	ICE
získávání energie chemickou reakcí z baterií	x
získávání energie při spalování paliva	x
vysoký točivý moment od začátku	pro využití maximálního točivého momentu se musí nabrat rychlost
vysoká účinnost	nízká účinnost
nízká hustota výkonu	vysoká hustota výkonu
jednoduché zařízení dle počtu dílů	složitě zařízení dle počtu dílů
tichý provoz	hlučný provoz
nulové emise	produkuje emise CO <sub>2</sub>
kratší dojezd	delší dojezd
rekuperace brzděné energie	absence rekuperace brzděné energie
vyšší hmotnost způsobená bateriemi	nižší hmotnost
nízké provozní náklady	vysoké provozní náklady

### **3.8 Dopad na životní prostředí z pohledu provozu elektromobilu a výroby bateriových článků a elektřiny**

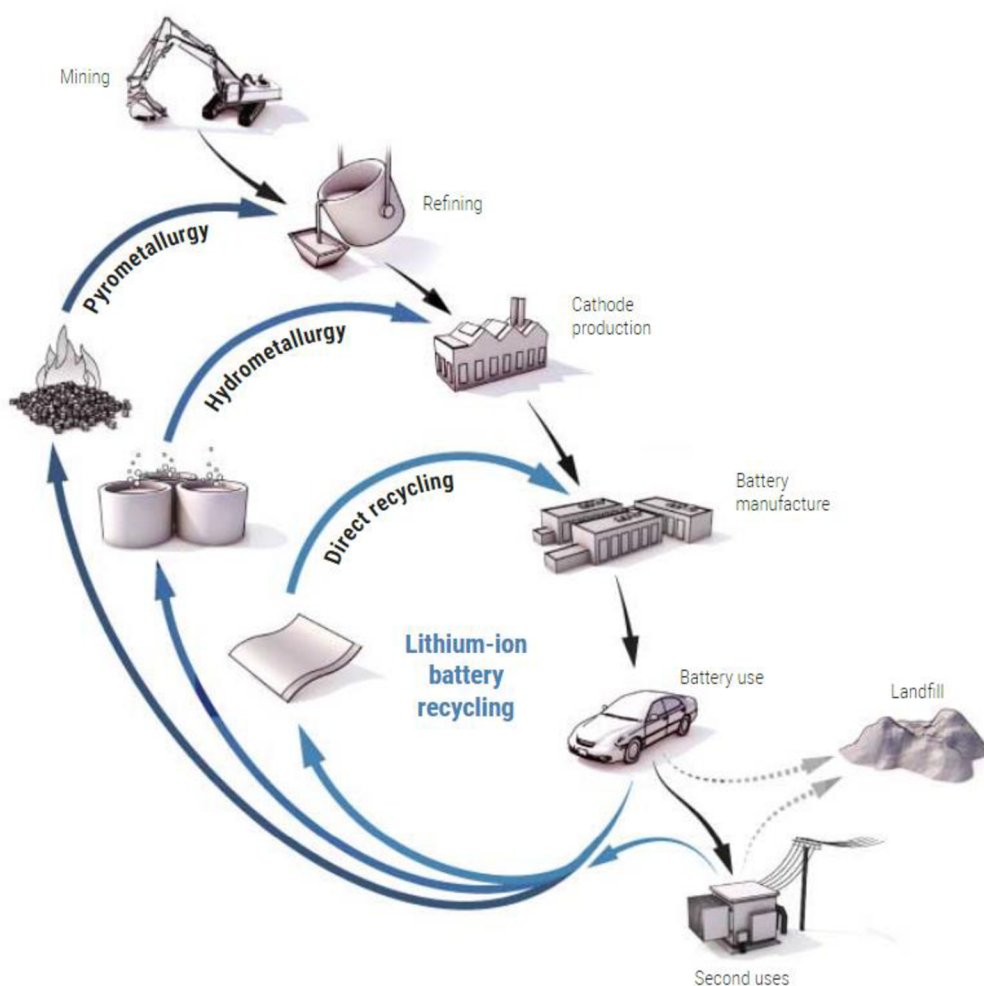
Od vyrobení prvního elektromobilu již uplynulo přes 120 let, díky vývoji v oblasti technologií se stávají elektromobily stále častěji skloňovanými a jsou označovány za dopravu budoucnosti. Příčinou tohoto trendu jsou mimo jiné klimatické změny, které za použití elektromobilů s jejich nulovým emisemi mají za úkol tyto změny zmírnit. Hlavním cílem elektromobilů v rámci životního prostředí je snížit emise skleníkových plynů vypouštěných do ovzduší. Lidé si začínají uvědomovat, že se jedná o vážný problém, a tak počet elektromobilů každoročně roste. Při ohlédnutí na data z roku 2016 lze zjistit, že podíl osobních automobilů v silniční dopravě tvořil cca 60 %, z toho většina vozidel využívá ke svému pohonu benzín. Ekologičnost elektromobilů také závisí na tom, z jakého typu elektrárny pochází elektrická energie. Když se přihlédne na poměr elektřiny vyrobené z primárních a sekundárních zdrojů v Evropě, tak jsou s ohledem na současný energetický mix elektromobily stále čistší variantou dopravy než vozidla, která využívají spalovací motory [17].

Dalším krokem za snížením uhlíkové stopy je elektrifikace i dalších segmentů silniční dopravy, jsou to nákladní vozy tvořící zhruba 38 % z celkového součtu. Avšak existují i jednodušší mechanismy, jak snížit uhlíkovou stopu. Data ze statistik uvádějí, že průměrně jedním automobilem cestuje 1,7 osoby. To znamená, že pokud bychom lépe využili sdílení automobilů, které je v dnešní době díky komunikačním technologiím snazší než kdy dříve, mohli bychom i takto napomoci snížení uhlíkové stopy. Při využití jednoho vozidla průměrně 1,7 osobou vyplývá, že například autobusová doprava je ekologičtější [17].

Další mechanismus pro snížení skleníkových plynů vypouštěných silniční dopravou je úprava stávajících pohonných jednotek dopravních prostředků s cílem snížení jejich produkce emisí. Tento mechanismus se v současnosti aplikuje na výrobce automobilů, a to zejména v oblasti Evropy, kde výrobce pomocí emisních norem nutí snižovat množství vyprodukovaného oxidu uhličitého u nově prodávaných automobilů využívajících spalovací motory. Vozidla vyrobená po roce 2020 spadají do normy Euro 7, ta jim ukládá, že musí produkovat v průměru maximálně 95 g oxidu uhličitého na kilometr. Toto množství CO<sub>2</sub> odpovídá spotřebě 3,54 l nafty nebo 4,06 l benzínu na 100 km [16, 17].

Dopad výroby bateriových článků na životní prostředí z pohledu oxidu uhličitého má hned několik faktorů, které finální množství ovlivňují. K této problematice vzniklo již mnoho

studií, jež uvádějí, že při výrobě baterie je vyprodukováno 56 až 494 kg oxidu uhličitého na 1 kWh kapacity baterie. Postup výroby a rovněž životní cyklus lithium-iontové baterie lze vidět na obrázku 8. Studie se také zabíraly množstvím vyprodukovaného oxidu uhličitého z pohledu množství emisí vyprodukovaných elektromobilem na 1 km, kdy hodnota činí 1 až 2 g CO<sub>2</sub> na km na kWh baterie. Obecně mají studie široký rozsah hodnot, jelikož u každé studie byla zvolena odlišná metodika a použité baterie. Metodika pro posouzení životního cyklu baterie pak ovlivňuje výsledky studií. Metodiky se rozdělují na sestupné nebo vzestupné. Vzestupná metodika obsahuje údaje o každé fázi procesu baterie. Sestupná metodika na počátku určí celkové emise vyprodukované továrnou a následně množství rozděluje k jednotlivým procesům. U sestupných metodik se vyskytuje více pomocné energie a může nastat, že některé procesy i emise se započítají dvakrát, proto sestupné metodiky oproti vzestupným vykazují vyšší míru emisí [19].



Obrázek 8: Životní cyklus lithium-iontové baterie [38]

Největší podíl vyprodukovaných emisí při výrobě pochází z elektřiny, tudíž ekologie výroby baterie závisí na zdroji elektrické energie. S použitím elektřiny z obnovitelných zdrojů klesá množství vyprodukovaných emisí při výrobě. Množství emisí rovněž souvisí s typem chemické reakce baterie, jelikož má návaznost na podíl energeticky náročných kovů. Z jiného pohledu nemusí hrát výroba baterie při produkci emisí hlavní roli, ale záleží bude zejména na technologiích výrobních závodů. Pokud bude výrobní závod efektivní, bude mít rychlou produkci a používat obnovitelné zdroje například z fotovoltaických panelů, tak bude produkovat nižší emise na 1 kWh baterie [19].

Při výrobě lithium-iontových baterií, je nutné zohlednit těžbu a rafinaci vzácných kovů. Tyto procesy jsou velice energeticky náročné jak z pohledu energetického, tak i technologického, jelikož se musí dodržet sterilní prostředí při zpracování. Ve většině elektromobilů provozovaných v Evropě se dle dat z roku 2016 nachází lithium-iontové baterie, které byly vyrobeny v Jižní Koreji a Japonsku. V těchto zemích se uhelné elektrárny podílí na produkci elektřiny zhruba v rozmezí 25 až 40 %. Emise baterií, které vznikají při jejich výrobě, se však mohou dramaticky snížit, pokud se baterii prodlouží životnost, a to zejména po jejím vyřazení z používání v elektromobilu, kdy v bateriích zůstává přibližně 75–80 % původní kapacity. Jejich následná funkce by byla podpora elektrické sítě [19].

Se zvyšujícími se počty elektromobilů se zvyšují i objemy vyrobených baterií. Následkem toho se vyvíjejí i způsoby recyklace, které pozitivně ovlivňují vyprodukovanou uhlíkovou stopu z pohledu jejich životního cyklu. Recyklace stávajících baterií má nižší uhlíkovou stopu než výroba z přírodních zdrojů. Při recyklaci hliníku se vytváří zhruba o 95 % méně emisí než při jeho výrobě. Dle studií zaměřených na recyklaci baterií se celková uhlíková stopa po recyklaci sníží o 7–17 %. Celý proces tedy umožní opětovné použití vzácných kovů, jež baterie obsahují například kobalt nebo nikl obsažený v anodách, dále se jedná o ocel, měď, hliník a další. Pro zlepšení recyklace by bylo vhodné zavést standardizaci chemického složení, konstrukce a výroby [19].

Při zavedení standardizace by však mohlo dojít na trhu s elektromobily ke snížení konkurenceschopnosti, jelikož technologie baterií by byla u všech výrobců stejná, tím pádem by při použití stejného množství baterií dosahovaly přibližně stejného dojezdu. Rozdíly v dojezdu jednotlivých elektromobilů by závisely na hmotnosti vozidla, aerodynamice, spotřebě energie interiéru a dalších faktorech. Dle nařízení Evropské unie se musí recyklovat



50 % hmoty baterií, nařízení však konkrétně nespécifikuje, které součásti to jsou. To dává společnostem recyklujícím baterie určitou volnost [19].

Z pohledu doby životnosti vozidla připadá na 1 km přibližně 35 g CO<sub>2</sub>. Toto číslo je součtem veškerých faktorů – ať už z pohledu výroby elektromobilu, baterie nebo provozu elektromobilu. Při porovnání výroby elektromobilu a konvenčního automobilu, lze zjistit, že je při výrobě elektromobilu potřeba více energie a produkuje se také více emisí. Elektromobil během svého životního cyklu produkuje o 50 % méně emisí, dokud nedosáhne hranice 150 000 najetých kilometrů. Nižších emisí také dosahují plug-in hybridy v porovnání s automobily se spalovacími motory. Například v Německu jsou plug-in hybridy ekologičtější než elektromobily, což je zapříčiněno vyšší uhlíkovou stopou elektrické infrastruktury. Z provedených studií vyplývá, že přínosy elektromobilů z pohledu ekologie jsou vyšší než jejich zápory [19].

Výhledy na další snižování uhlíkové stopy v oblasti výroby elektromobilu jsou příznivé, lze tak očekávat, že dojde k jejich dalšímu snížení. Tohoto cíle je možné dosáhnout několika různými způsoby, např. snížením uhlíkové stopy fosilních elektráren a zvýšením jejich účinnosti, dále rozšířením produkce elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Dekarbonizace současné elektrické sítě celosvětově v průměru o 30 % by se měla projevit na snížení emisí vyprodukovaných při výrobě baterií o 17 %. Toto číslo však nereflektuje snížení emisí při produkci ostatních dílů elektromobilů [19].

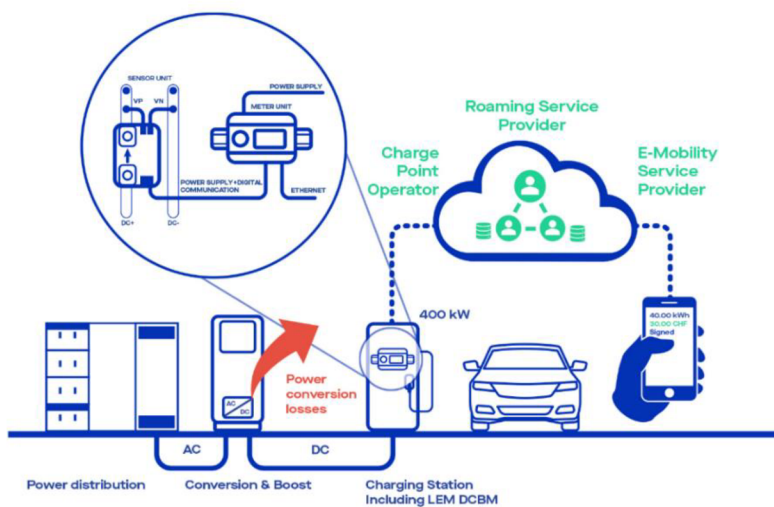
### **3.9 Problematika dobíjecích stanic**

Rozvoj a rostoucí množství provozovaných elektromobilů vede k rozšiřování infrastruktury pro distribuci elektrické energie. Vzhledem ke specifickým podmínkám jednotlivých zemí nelze určit univerzální strategii řešení pro veřejnou dobíjecí infrastrukturu. Počet dobíjecích míst by měl reflektovat aktuální počet registrovaných elektromobilů v dané zemi, na 10 elektromobilů by mělo být jedno dobíjecí místo. Počet automobilů na elektrický pohon v Evropské unii čítal na konci roku 2020 okolo 3,1 milionu vozidel [22].

Z pohledu nabíjení elektromobilu může domácí síť představovat potenciální nebezpečí, jelikož kabely ani jisticí prvky nejsou uzpůsobené pro dlouhodobý odběr takového proudu. U starších domů může nastat nebezpečí shoření elektroinstalace. Pokud se nabíjí vozidlo ze zásuvky, tak je dalším problémem absence komunikačních prvků. Dobíjecí stanice mají tu

výhodu, že mohou komunikovat s vozidlem a na základě zpětné vazby například zvýšit proudové odběry a snížit celkovou dobu nabíjení oproti klasické zásuvce. Funkce dobíjecí stanice je znázorněna na obrázku 9, kde lze vidět schéma distribuce energie od rozvodné sítě až k elektromobilu [20].

Dle výzkumů je průměrná očekávaná doba nabíjení u běžných uživatelů přibližně 30 minut. Za tuto dobu se například Tesla model 3 nabije na 83 % své kapacity, u Nissanu Leaf dojde k nabití na 42 %. S přihlédnutím na teploty v zimním období se tato doba značně prodlužuje. Doba nabíjení určuje jeho rychlost, nabíjecí stanice, kapacita baterie, zvolený režim nabíjení a maximální výkon dobíjecí stanice. Rychlost nabíjení také ovlivňuje kapacita baterie ve smyslu, že pokud je z pohledu obsahu elektrické energie baterie plnější, o to pomaleji se nabíjí. Při využití času je efektivnější nenabíjet baterii do plného stavu, to se projeví na četnosti nabíjecích cyklů. Při porovnávání počtu rychlonabíjecích stanic se zjistí, že jich je v Evropě dvojnásobný počet oproti USA, toto číslo je ovlivněno zejména koordinovanými vládními plány na infrastrukturu dobíjecích stanic [21].



Obrázek 9: Schéma distribuce elektrické energie a služby [39]

Pokud jsou dobíjecí stanice koncentrované v jednom místě, tak se musí dle počtu dobíjecích míst zvolit vhodná přípojka. Při čtyřech stejnosměrných stanicích s přípojkou pro 50 kW či s 22kW střídavým konektorem nebo případně 15 stanicemi se střídavým proudem je nutno zvolit přípojku, která bude dosahovat více než 250 kW. Proto jsou dobíjecí stanice vybaveny managementem nabíjení, skrze něj lze hlídat čtvrt hodinové odběry jednotlivých stanic nebo maximální dosažený výkon. Data se získávají pomocí kontrolerů z každého odběrného místa. Následně řídicí jednotka ovládá výkon jednotlivých odběrných míst. Z hlediska infrastruktury pro dobíjení elektromobilů je důležité, aby uváděné parametry

jednotlivých dobíjecích stanic byly garantované, aby například dosahovaly uvedených výkonů a poskytovaly dostatečné množství elektrické energie [23].

Z ekonomického hlediska je nutné zvážit fixní a variabilní náklady. Fixní náklady se týkají nákupu zařízení pro nabíjení vozidla, instalace, přípravy místa (stavební povolení, rozšíření elektrické infrastruktury, výkopové práce pro položení kabelů). Faktory ovlivňující náklady zahrnují počet nabíjecích bodů a jejich režim, pokud jsou nabíjecí body koncentrované v jednom místě a zapojené do stejného okruhu, tak je zde riziko přetížení stávajícího transformátoru. Variabilní složka odráží množství spotřebované energie. Variabilní náklady se rozdělují do dvou kategorií – rezidenční a komerční. Sazby na elektrickou energii se liší dle denní doby, aby se podpořilo nabíjení v noci a mimo špičku, kdy jsou tarify nižší [15].

Dobíjecí stanice mohou v současnosti ovlivňovat jak odběr, tak i zdroj energie. Můžou například využít lokální fotovoltaické elektrárny, tím tak snížit odběr z veřejné sítě. Dále lze řídit prioritu a limity jednotlivých dobíjecích stanic. Řízení výkonu se rozděluje dvojnásobným způsobem – staticky nebo dynamicky. Statické řízení nastavuje limity výkonu pro jednotlivé stanice vzdáleně. Nejčastěji se limity nastavují jednorázově, ale lze je i příležitostně měnit. V případě statického řízení tyto limity nastavuje operátor dobíjecí infrastruktury. Klíčové řízení z pohledu infrastruktury je dynamické – tento způsob zohledňuje data z ostatních systémů. U dynamického způsobu řízení se limity mění průběžně dle aktuálních odběrů na základě pravidel nebo algoritmů [23].

Rychlonabíjecí stanice, které jsou určeny pro větší výkony, jsou nejčastěji konstruovány se stacionárními úložišti. Tato úložiště akumulují energii (zejména tehdy, když jsou nízké odběry), při zvýšení odběru se energie začne distribuovat. Energie se nejčastěji uchovává do průmyslových baterií. Použití tohoto konceptu je klíčové v oblastech, kde není možné poskytnout dostatečný výkon z veřejné sítě. Další možnou alternativní technologií je využití setrvačnicku. Setrvačník čerpá výkonové rezervy z veřejné sítě a při připojení elektromobilu začne energii generovat. Nedostatek energie z veřejné sítě lze také řešit off-gridovými kontejnerovými úložišti. Tato úložiště jsou nabíjena v centrálním místě a následně přepravena například nákladním vozem do dané lokace, kde slouží jako dobíjecí bod. Pokud se kapacita úložiště vyčerpá, jsou opět převezena do centrálního bodu. Jedná se o krátkodobé řešení, jež je vhodné, když se v místě koná například konference, koncert nebo další události [23].

## 4 Praktická část práce

V této kapitole bude představen testovací vůz, který byl zvolen pro praktickou část, jeho technické parametry a jízdní módy. Rovněž bude seznámeno s testovacími trasami, na nichž bylo provedeno měření, a s kritérii, podle kterých byla finální trasa vybrána. Dále zde bude objasněno, jaké prostředky byly zvoleny pro získání dat, představeno nastavení softwaru a data, jež jsou klíčová pro vytvoření analýzy. Následně v této části budou prezentovány informace získané při měření, ty se budou porovnávat s uskutečněnými testovacími jízdami. Na základě těchto informací budou stanoveny majoritní faktory ovlivňující kapacitu akumulátoru.

### 4.1 Testované vozidlo

Pro praktickou část práce byl zvolen elektromobil značky Volkswagen (VW), konkrétně model e-up! (viz. obr.10). Tento vůz byl vybrán z důvodu vysoké dostupnosti a snadného zapůjčení (i s ohledem na možnost vypůjčení v jakoukoliv dobu). Elektromobil nachází největší uplatnění v městských provozech, kdy při plně nabitém akumulátoru disponuje dojezdem 100 km. Avšak jeho dojezdovou vzdálenost lze prodloužit díky systému rekuperačního brzdění, který je v tomto vozidle zabudován. Rovněž jsou ve vozidle implementovány úsporné režimy, jež upravují dynamiku vozu a aktivně se podílejí na snížení spotřeby energie z akumulátoru. Pomocí těchto režimů tak lze prodloužit dojezd elektromobilu. Pokud bude energie vznikající při brzdění využita a následně použita pro částečné dobíjení akumulátoru, tak se rovněž může zvýšit vzdálenost, kterou elektromobil ujede.



Obrázek 10: VW e-up![43]

Možnosti nabíjení tohoto elektromobilu se odvíjí od typu použitého konektoru, způsobu nabíjení a dodávaného výkonu z dobíjecího zařízení. Pro pomalé a rychlé nabíjení je zde přípojka Typ 2 využívající střídavý proud s 1fázovým nebo 3fázovým výkonem o maximální hodnotě 3,7 kW. Pro rychlonabíjení je vozidlo opatřeno přípojkou CCS, kdy se k nabití akumulátoru využívá stejnosměrný proud s maximem 40 kW. Doba nabití elektromobilu tedy závisí na typu zvoleného nabíjení a dodávaném výkonu. Při využití rychlonabíjení pomocí CCS přípojky lze tento elektromobil nabít za 48 minut do 100 % [44].

Dojezd však ovlivňuje nespočet faktorů – od jízdního stylu řidiče, počtu přepravovaných osob, hmotnosti zavazadel, povětrnostních podmínek (v souvislosti s odporem vzduchu a prouděním působícím na vozidlo), teploty okolí, počtu hnaných náprav, odporu vzduchu, valivého odporu pneumatiky (rovněž související s tím, pro jaké období jsou pneumatiky určeny a jak jsou jednotlivá kola nahuštěna) přes odběr energie příslušenstvím vozu, otáčky elektromotoru, zrychlení, počet dobíjecích cyklů a zvolený typ nabíjení až po stáří baterie.

#### 4.1.1 Technické parametry VW e-up!

Technické parametry elektromobilu VW e-up! jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Technické parametry VW e-up! [44]

Tovární značka:	Volkswagen
Model:	e-up!
Karoserie:	Hatchback
Palivo:	Elektřina
Typ motoru:	Synchronní s permanentními magnety
Maximální výkon [kW]:	60
Maximální otáčky [ot/min]:	3000
Točivý moment [Nm]:	210
Nejvyšší rychlost [km/h]:	130
Zrychlení z 0 na 100 km/h [s]:	12,4
Mechanismus řízení:	Hřeben a pastorek
Posilovač řízení:	Elektronický
Typ převodovky:	Automatická jednorychlostní redukční
Hnací ústrojí:	Pohon předních kol (FWD)
Přední brzdy:	Ventilované kotouče
Zadní brzdy:	Bubnové
Typ baterie:	Lithium-iontová
Kapacita baterie [kWh]:	18,7
Počet buněk:	204
Počet modulů:	17
Napětí [V]:	374
Hmotnost baterie [kg]:	230
Počet míst k sezení:	4
Provozní hmotnost [kg]:	1139
Užitečné zatížení [kg]:	301
Koeficient odporu vzduchu [Cd]:	0,308
Materiály použité v konstrukci karoserie:	Ocel, uhlíkové vlákno
Délka [mm]:	3600
Šířka [mm]:	1645
Šířka včetně zrcátek [mm]:	1910
Výška [mm]:	1492
Rozvor [mm]:	2417
Objem kufru [l]:	251

#### 4.1.2 Jízdní režimy VW e-up!

Testovaný elektromobil disponuje čtyřmi úrovněmi rekuperačního brzdění – D1, D2, D3 a B. Když se zařadí na písmeno D, tak to znamená, že není aplikovaná rekuperace. Pokud ale následně bude v tomto stupni pohybovat řadicí pákou doprava či doleva, tak se může zvýšit nebo snížit úroveň rekuperačního brzdění. Čím větší je tedy zvoleno číslo, tím více se využívá rekuperace, navíc u režimů D2, D3 a B se při zvednutí nohy z plynového pedálu aktivují brzdová světla. Stupeň B znamená nejvyšší možný stupeň rekuperace, při jízdě se to projeví, pokud bude sundána noha z plynového pedálu, vozidlo pak začne citelně brzdit. Při jízdě elektromobilem je tedy dobré brát v potaz, že akcelerace vyžaduje hodně energie, která je vyšší než energie získaná z rekuperace, jelikož brzdění probíhá pouze v krátkém časovém horizontu. Je důležité zmínit, že rekuperace nedosahuje 100% účinnosti. Spolu se zmíněnými úrovněmi mohou být zvoleny také jízdní režimy. Režimy jsou navrženy výrobcem pro zlepšení energetické účinnosti a také dojezdu elektromobilu. Ovlivňují tak jízdní dynamiku vozu i výkon elektromotoru. U testovaného vozu jsou rozděleny následovně: normální, ECO a ECO+ [44, 45].

Režim ECO omezí výkon elektromotoru na 50 kW, spolu s tím také dochází ke snížení točivého momentu na 167 Nm. S těmito úpravami se rovněž upraví maximální rychlost vozidla na 115 km/h a zrychlení z 0 na 100 km/h se zvýší z původních 12,4 s na 15 s. Úpravu podstupuje také odezva plynového pedálu. Dochází zde také ke snížení výkonu systému klimatizace. Z toho vyplývá, že v normálním režimu se využívá plný potenciál vozidla bez jakýkoliv omezení dynamických a komfortních vlastností [44].

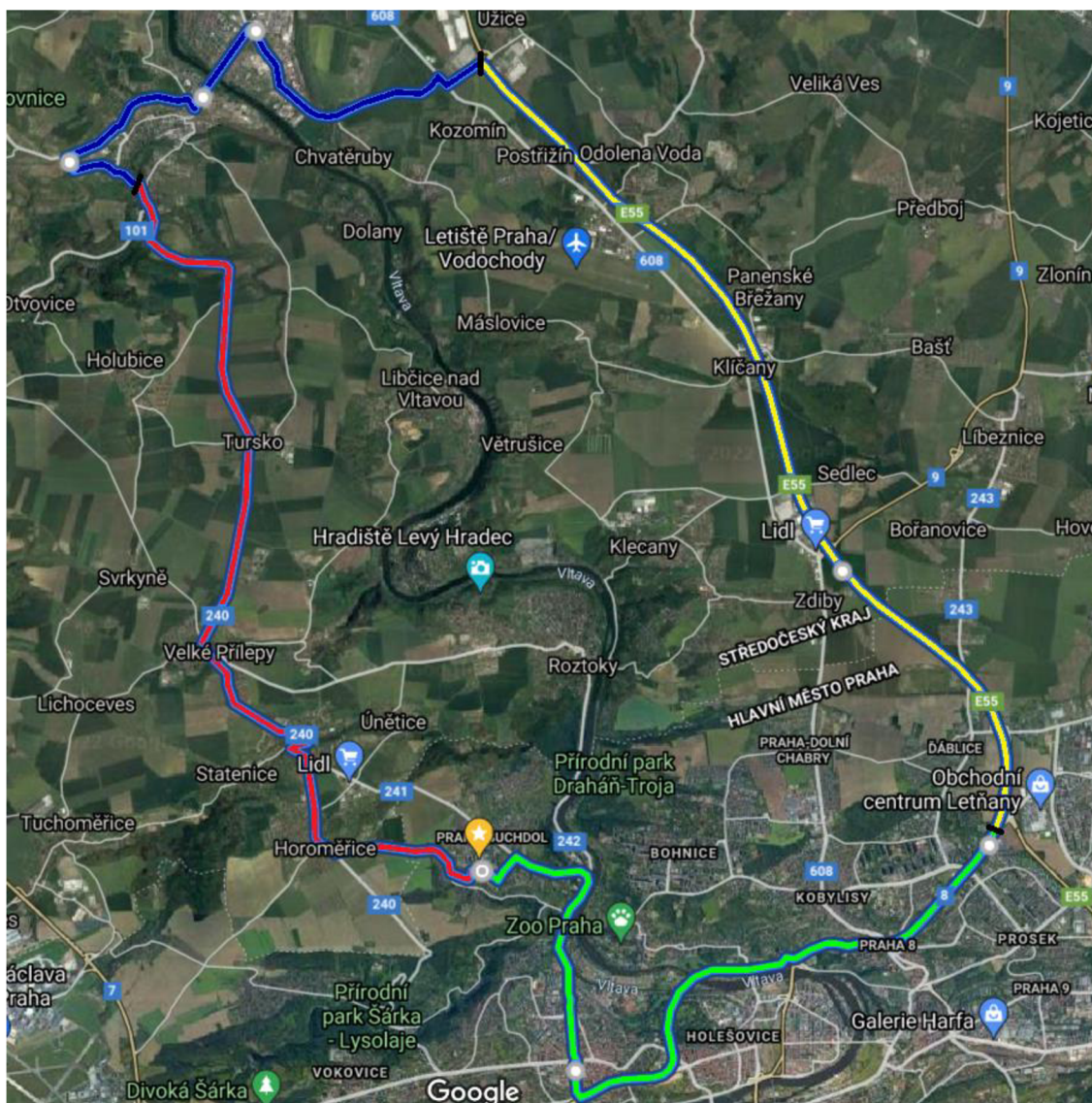
V režim ECO+ dochází k ještě větší úpravě výkonu, točivého momentu a maximální rychlosti. Výkon elektromotoru je omezen na 40 kW, což je oproti původním 60 kW již citelný rozdíl. Elektromotor tak v podstatě pracuje s 2/3 výkonu, stejně jako u režimu ECO se zde upravuje odezva plynového pedálu. Točivý moment je omezen na 133 Nm a je dále omezován, pokud vozidlo akceleruje z klidu. Nejvyšší rychlost je omezena na 90 km/h. V tomto režimu je dále vypnutá klimatizace, neomezuje tak pouze jízdní vlastnosti, ale i komfort posádky vozidla [44].

## 4.2 Testovací trasa

Finální podoba testovací trasy obsahuje úseky s městským, mimoměstským a dálničním provozem. Trasa odpovídá předpisu pro homologaci World Harmonized Light-duty Procedure (WLTP) a dále segmentu Real Driving Emissions (RDE). WLTP je testovací standard pro měření lehkých užitkových vozidel a popisuje pravidla pro určení jejich spotřeby paliva. Tento standard je, jak název napovídá, celosvětově odsouhlasený. Spotřeba se určuje na základě jízdních dat získaných z celého světa. Jelikož se data získávají z reálného provozu, je pak k dispozici široké spektrum různých dopravních situací spolu s informacemi o vozidle, jako je například hmotnost, výbava a další. RDE je předpis pro stanovení emisí vyprodukovaných v reálném provozu, kdy zohledňují například větší zrychlení, stoupání, vyšší rychlosti, rozjezdy a zastavování. K této variantě se přistoupilo v důsledku rozdílu mezi testováním v laboratorních podmínkách a skutečnými hodnotami. Předpis RDE definuje požadavky na trasu, její časová náročnost je 90–120 min a okolní teploty jsou zároveň mezi  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dále předpis definuje průměrné rychlosti, převýšení trasy a další [46, 47].

Vytvořená testovací trasa má délku 57,9 km, začátek a konec měření je vždy v prostorách dílen technické fakulty ČZU. Trasa se vždy projížděla oběma směry, aby se získala co nejpřesnější data. Městskému provozu na trase odpovídají úseky, které se nacházejí ve městě Kralupy nad Vltavou (délka úseku 10,6 km) a dále úsek Praha Suchdol (areál dílen TF ČZU), Praha Dejvice, Praha Letňany (délka úseku 15,2 km). Mimoměstský provoz je na trase zastoupen v úseku Praha Suchdol k začátku města Kralupy nad Vltavou (délka úseku 16,5 km). Začátek úseku pro měření na dálnici se nachází na výjezdu z Praha Letňany a konec úseku na sjezdu č. 9 Kralupy nad Vltavou (délka úseku 15,6 km). Testovací trasa a výškový profil jsou znázorněné na obrázku 11 a 12.





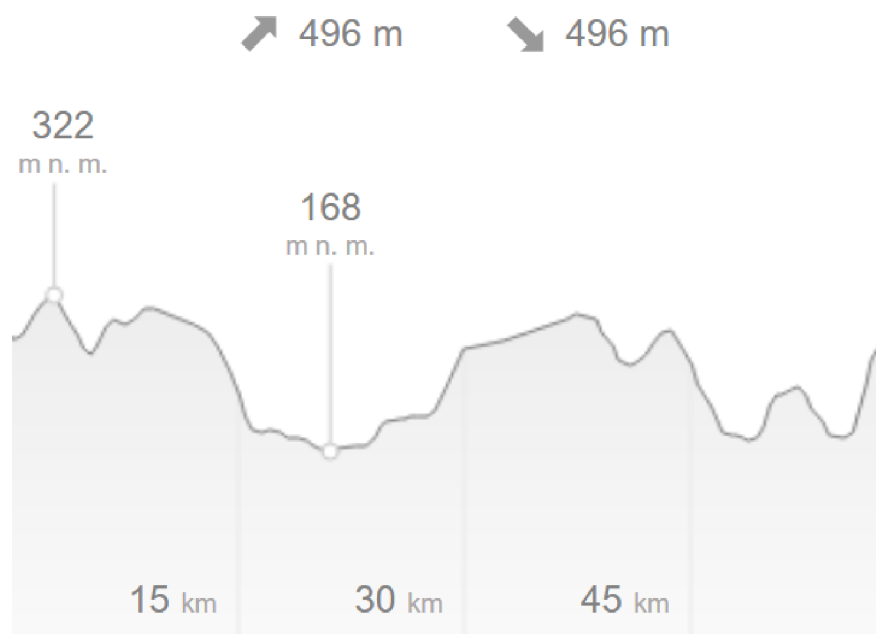
Obrázek 11: Testovací trasa [48]

Legenda:

Městský úsek je na mapě reprezentován modrou a zelenou barvou.

Dálniční úsek je reprezentován žlutou barvou.

Mimoměstský úsek je reprezentován červenou barvou.



Obrázek 12: Výškový profil testovací trasy směr: ČZU – Kralupy n. V. – Letňany – Dejvice – ČZU [49]

## 4.3 Měřicí technika

### 4.3.1 Diagnostický systém VAG-COM

Jedná se o software, který běží na operačním systému Windows a slouží k diagnostice a seřízení vozidel koncernu Volkswagen (VW, Audi, Škoda, SEAT, MAN, Porsche ad.). Skrze tento software lze také prohlížet a ukládat hodnoty provozních parametrů. Abychom získali data, tak bylo nutné vozidlo propojit se zařízením, na kterém je VAG-COM nainstalován. K těmto účelům slouží kabel, jež je na jedné straně opatřen USB pro připojení k počítači a na straně druhé obsahuje Hex CAN pro připojení k vozidlu. V současné době se používá verze V2, ta disponuje rychlejší komunikací a lepším navázáním spojení oproti starší verzi. Hlavní výhodou verze V2 je podpora nejnovějších modelů, jelikož koncern VW začal využívat novou adresaci řídicích jednotek, tím pádem stará verze nenaváže s některými vozidly spojení. Změna nebo úprava parametrů skrze VAG-COM může mít závažné následky v souvislosti s provozem a funkčností vozidla [50].

Funkce: úprava řídicích kódů pro provádění úkolů, čtení chybových kódů, vypnutí nebo resetování chybových kódů, diagnostika a seřízení motoru auta, nastavení výkonu elektrického ovládání oken, zapínání mlhových světel [50].

### 4.3.2 Garmin GPS 18x USB

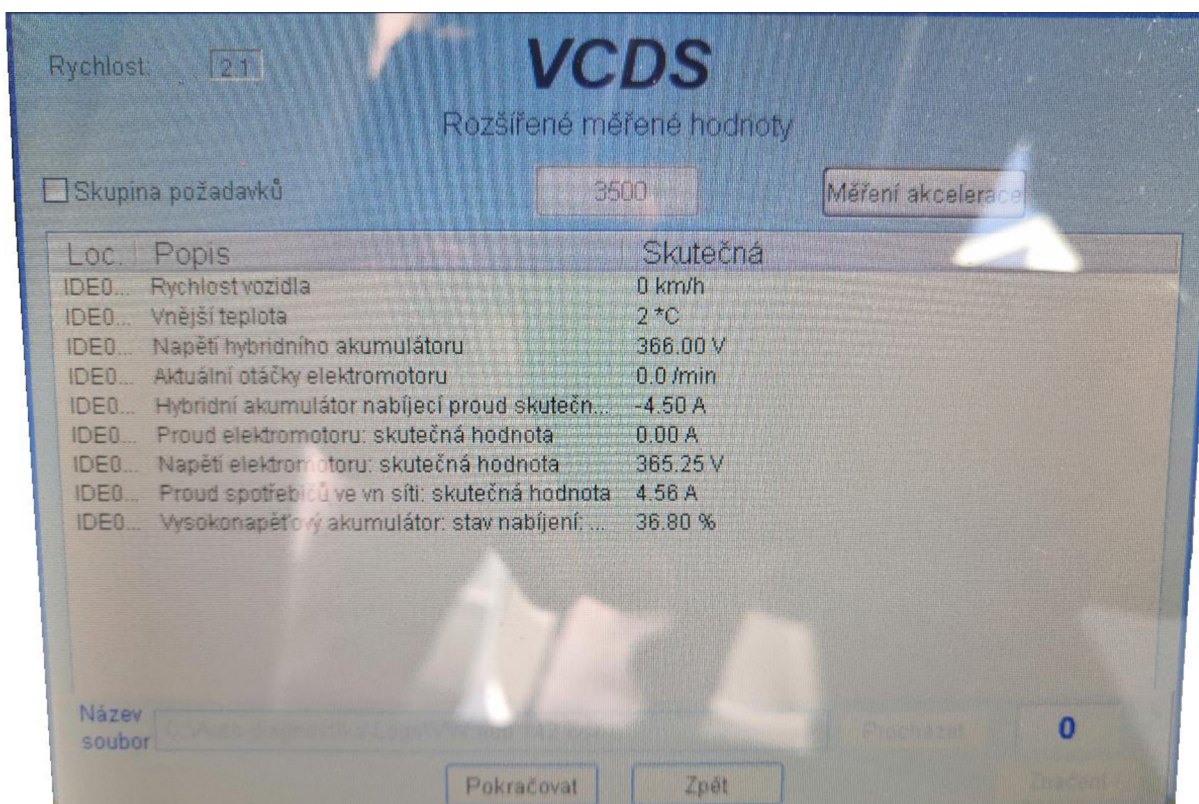
Pro získání přesných informací o poloze vozidla byla použita GPS (Global Positioning System – globální družicový polohový systém, který slouží pro určení přesné polohy na povrchu země) od firmy Garmin, jež má vestavěný přijímač a anténu. Přesnou polohu a odhad rychlosti zajišťuje pomocí sledování z více satelitů a poskytuje rychlý čas do první korekce. Rychlost aktualizace je jeden záznam za sekundu. Tento typ GPS se připojuje k počítači pomocí USB a dosahuje přesnosti < 3 metry. Abychom mohli zaznamenat okamžitá data z GPS, musela být vytvořena aplikace v prostředí ControlWeb. Následně se skrze aplikaci do souboru ukládají data o času, rychlosti, zeměpisné šířce a výšce, nadmořské výšce, kurzu a GPSS hodnoty (General Purpose Simulation System – simulační programovací jazyk pro vytváření modelů pro simulaci událostí) [51, 52].

### 4.4 Příprava měření

Před samotným měřením bylo třeba nastavit měřicí techniku, aby byla získána potřebná data. Nejprve se připojil VAG-COM pomocí Hex CAN kabelu k vozidlu a stranu s USB k notebooku s programem VCDS (VAG-COM Diagnostic System). Následně byl spuštěn diagnostický systém, a jakmile bylo navázáno spojení s vozidlem, které muselo být nastartované, tak se mohlo začít nastavovat, jaké parametry budou měřeny. Parametry měřené pomocí VCDS jsou následující: rychlost vozidla, vnější teplota, napětí hybridního akumulátoru, nabíjecí proud hybridního akumulátoru (skutečná hodnota), aktuální otáčky elektromotoru, proud elektromotoru (skutečná hodnota), napětí elektromotoru (skutečná hodnota) a absolutní hodnota stavu nabíjení vysokonapěťového akumulátoru. Pro co nejpřesnější data a větší frekvenci pořizování záznamu byla zvýšena rychlost čtení. Pro lepší představu se lze podívat na obrázek 13, kde je snímek z diagnostického systému při měření parametrů. Data z jednotlivých měření jsou zaznamenávána s frekvencí jedné sekundy. Notebook byl po celou dobu měření napájen z 12V zásuvky vozu, aby se zamezilo vybití baterie notebooku a ztrátě dat.

Dalším krokem bylo nastavení GPS, která byla umístěna na střechu vozidla, kde díky zabudovanému magnetu a následné magnetické přitažlivosti nebylo potřeba žádných přídržovacích přípravků. USB z GPS bylo zapojeno do notebooku a v něm spuštěna aplikace. Pomocí aplikace se získávala a zaznamenávala aktuální data z GPS. Data, která se při měření byla získána, jsou identická s těmi, jež jsou uvedena v kapitole 4.3.2. Pro připomenutí se jedná

o informace o času, zeměpisné šířce, zeměpisné výšce, rychlosti vozidla, nadmořské výšce, kurzu a GPSS hodnoty.



Obrázek 13: Diagnostický systém VAG-COM

V případě vozu byla příprava nastavení pro měření velice snadná. Musela být zvolena konkrétní úroveň rekuperace, a to pomocí přesunu řadící páky do požadované polohy. Avšak úroveň rekuperace se nemůže měnit za jízdy mezi režimy D a B, v tomto případě se vozidlo musí vždy uvést do klidu a sešlápnout brzdový pedál. Následně bylo možné úroveň rekuperace změnit na požadovaný stupeň. Co se týče jízdních režimů, ty lze zapnout a vypnout kdykoliv během jízdy. Pokud bylo nutné měřit vozidlo v ECO režimu, bylo nezbytné ho zvolit na začátku jízdy, abychom byla získána korektní data. Při zastavení vozidla a jeho následném odstavení dochází k přerušení komunikace s diagnostickým systémem, který následně oznamuje ztrátu spojení. Po dokončení testovací trasy se musí manuálně potvrdit uložení dat z VCDS.

## 4.5 Výsledky měření

Před přistoupení k výsledkům měření, tak je nutno zmínit, že jednotlivá měření se prováděla ve dnech 15. 12. 2021, 11. 1. 2022, 12. 1. 2022, 18. 1. 2022 a 14. 2. 2022. Měření probíhalo vždy na stejném typu a modelu vozidla, avšak vždy s jiným vozidlem. Měření od 15. 12. 2021 do 18. 1. 2022 (včetně) probíhala na trase uvedené v kapitole 4.2 a komfortní prvky vozidla jako klimatizace, ventilace či vyhřívání sedadel byly vypnuté. Jedinou výjimku tvořil infotainment vozidla. Dne 14. 2. 2022 byla zvolena trasa pouze v městském prostředí, cílem tohoto měření bylo mimo jiné změřit spotřebu elektrické energie při různých konfiguracích spotřebičů vozidla. V tento den tedy byla postupně zvolena specifická nastavení spotřebičů vozu, konkrétně se jednalo o ventilaci vozu a vyhřívání sedadel. Rovněž v tomto dni probíhalo měření nabíjení vozidla, kdy se zaznamenávaly hodnoty stavu nabití, proudu a napětí akumulátoru. Z výsledků se rovněž může porovnat, zda se odlišný počet ujetých kilometrů projevil na měření. V každém dni měření byla zvolena jiná nastavení vozidla, panovaly jiné povětrnostní podmínky a nastaly unikátní dopravní situace (provoz vozidel na komunikaci, údržba komunikace a další). Okolní teploty během měření byly v rozsahu od  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 4.5.1 Použité výpočty

Aby bylo získáno stejných jednotek jako udává výrobce a přiblížili se těmto hodnotám, bylo použito několik vzorců, které jsou uvedené v této kapitole. U spotřeby energie na 100 km výrobce udává hodnotu v jednotkách kWh/100 km.

$$\text{spotřeba} = \frac{\left( \left( \left( \left( \frac{P}{L} \right) \right) \right) \right) \cdot 100}{1000} \text{ [kWh/100 km]}$$

Aby bylo možné ze získaných dat spočítat spotřebu na 100 km, nejdříve byl vypočítán výkon. Ten byl získán vynásobením napětí a proudu elektromotoru. Napětí (U) elektromotoru bylo zaznamenáváno v jednotkách voltů (V) a proud (I) elektromotoru v jednotkách ampérů (A). Při výpočtu výkonu, kdy bylo vynásobeno napětí proudem, byly získány hodnoty v jednotkách wattsekund, jelikož období pořízení jednoho záznamu odpovídá 1 sekundě. Aby byly získány hodnoty shodné s jednotkami od výrobce, tak bylo potřeba výsledek převést na správné jednotky. Byl k tomu použit výše uvedený vzorec pro výpočet průměrné spotřeby na

100 km, kde součet výkonů (P) byl vydělen vzdáleností (L), která byla dosažena. Tímto způsobem byla získána spotřeba ve wattsekundách na 1 km, proto bylo následně toto číslo vyděleno 2 x 60, aby byly získány jednotky ve watthodinách. Jednotky watthodiny na 1 km, tak byly násobeny stem, výsledkem je, že bylo dosaženo hodnoty ve watthodinách na 100 km. Jako poslední krok je převod na kilowatthodiny, čehož bylo docíleno vynásobením tisícem.

Je však nutné zmínit, že tato spotřeba je určena na základě výkonu elektromotoru a ujeté vzdálenosti. Reflektuje tak spotřebu při specifických povětrnostních podmínkách, odporu vzduchu vozidla a dalších faktorů, které byly unikátní při každém měření. Rovněž bylo při výpočtu spotřeby uvažováno o rekuperaci se 100% účinností. Avšak ve skutečnosti je účinnost mírně nižší, jelikož vznikají ztráty v rámci přenosu energie zpět do akumulátoru.

#### 4.5.2 Mimoměstský provoz

Tabulka 6: Prostředí: Mimo město (trasa: Praha Suchdol – Kralupy n. V.), výsledky měření

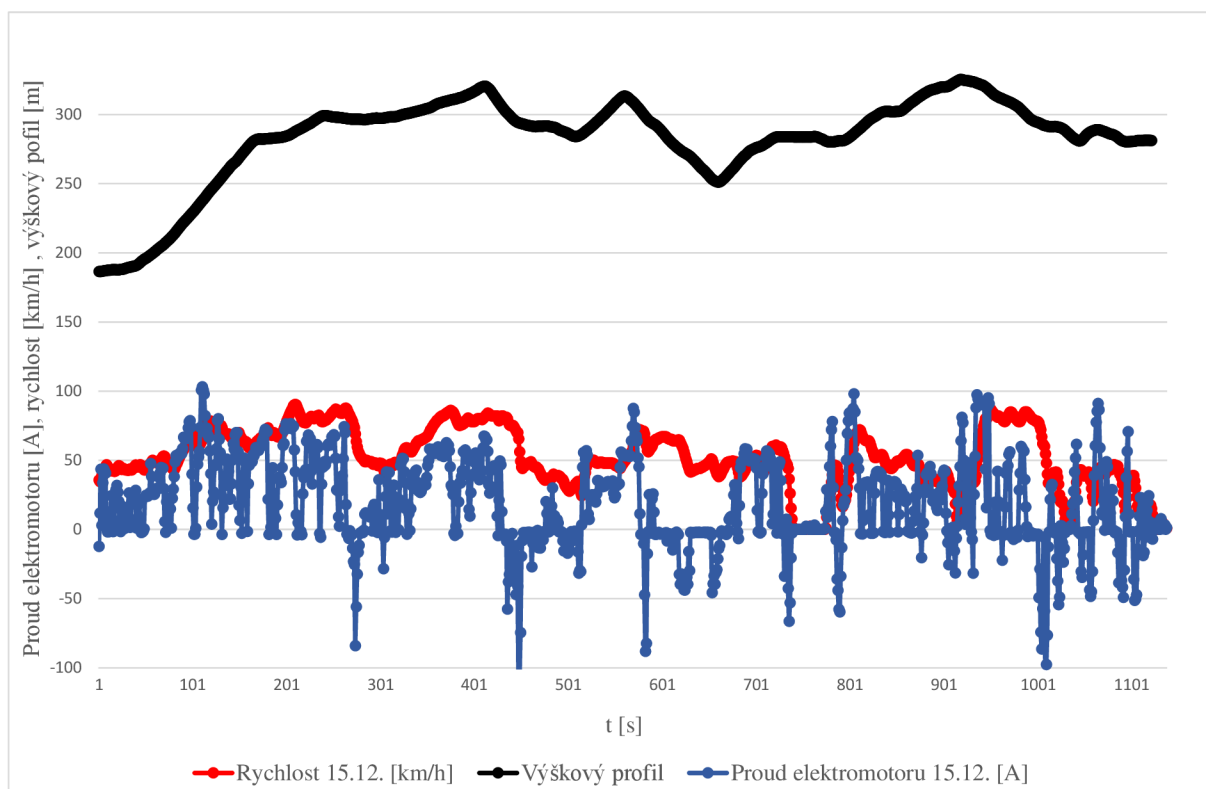
Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:26:13	16,5	D1		4,99	52,31	11,7	9,34	-2,36
11.01.2022	0:19:53	16,5	B	ECO	4,97	49,55	11,7	9,84	-1,86
12.01.2022	0:19:56	16,5	B		5,12	49,36	11,7	10,15	-1,55
Datum	Ø odebraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	32,47	-8,75	83,2	73,2	10	24637	4,76	-73,0	97,1
11.01.2022	25,67	-17,79	92,4	82,4	10	30847	-2,60	-59,8	81,3
12.01.2022	26,40	-16,92	80,8	71,2	9,6	8112	-3,16	-80,3	96,5

Tabulka 7: Prostředí: Mimo město (trasa: Kralupy n. V. – Praha Suchdol), výsledky měření

Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:18:57	16,5	D1		7,13	52,30	11,7	13,51	1,81
11.01.2022	0:16:59	16,5	B	ECO	8,27	56,90	11,7	14,00	2,30
12.01.2022	0:17:36	16,5	B		8,05	55,19	11,7	14,13	2,43
18.01.2022	0:17:18	16,5	D1	ECO	8,01	55,57	11,7	13,83	2,13
Datum	Ø odebraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	38,01	-13,15	58,8	44,8	14	24637	6,71	-121,9	103,0
11.01.2022	36,74	-26,01	60,8	46	14,8	30847	-2,02	-90,0	119,3
12.01.2022	37,58	-23,74	62	48	14	8112	-0,84	-123,3	129,6
18.01.2022	38,70	-15,25	60,4	46,4	14	10823	1,88	-121,8	136,8

Z výsledků měření (viz. tab. 6, 7) v mimoměstském prostředí vyplývá, že v závislosti na výškovém profilu úseku a dopravní situaci došlo k rozdílným výsledkům průměrné spotřeby energie, a to v rozsahu od -2,36 až po 2,43 kWh/100 km oproti deklarované spotřebě výrobcem.

Zajímavým zjištěním je pak fakt, že při režimu ECO byl dne 18. 1. naměřen nejvyšší odebíraný proud, a to zejména v porovnání s jízdami, u nichž tento režim zvolen nebyl. Tento výsledek nelze připisovat ani teplotním podmínkám, které se pohybovaly okolo 2 °C. Minimální a maximální proud v tomto úseku rovněž souvisel s aktuální dopravní situací. Také se zde projevilo stoupání a klesání dopravní komunikace. Rozdíl mezi úrovněmi rekuperace se projevil na ukazateli průměrného rekuperovaného proudu, kdy rozdíl mezi úrovní D1 a B byl v rozsahu od 8,1 do 12,8 A. Výsledky měření rovněž poukazují na to, že rozdíly spotřebované energie jsou až na malé odchylky stejné a rozdíl nájezdu vozu v tomto případě nehraje roli (nutno dodat, že v rozsahu nájezdu cca 22 700 km). U vozů s větším nájezdem by se hodnoty více lišily v závislosti na stavu akumulátoru. Zaznamenané hodnoty ze dne 15. 12. 2021 lze vidět na obrázku 14.



Obrázek 14: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (mimo město 15. 12.)

#### 4.5.3 Městský provoz

Tabulka 8: Prostředí: Město Kralupy nad Vltavou (směr Praha Letňany), výsledky měření

Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:15:41	9,9	D1		4,39	37,98	11,7	11,46	-0,24
11.01.2022	0:14:44	10,6	B	ECO	4,91	42,31	11,7	11,25	-0,45
12.01.2022	0:14:57	10,6	B		4,92	41,95	11,7	11,45	-0,25
Datum	Ø odebíraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	23,89	-6,60	73,2	66,4	6,8	24637	5,60	-68,9	88,9
11.01.2022	20,67	-15,16	82,4	75,2	7,2	30847	-1,96	-97,8	64,9
12.01.2022	20,44	-16,60	71,2	64	7,2	8112	-3,00	-72,4	94,3

Tabulka 9: Prostředí: Město Kralupy nad Vltavou (směr Praha Suchdol), výsledky měření

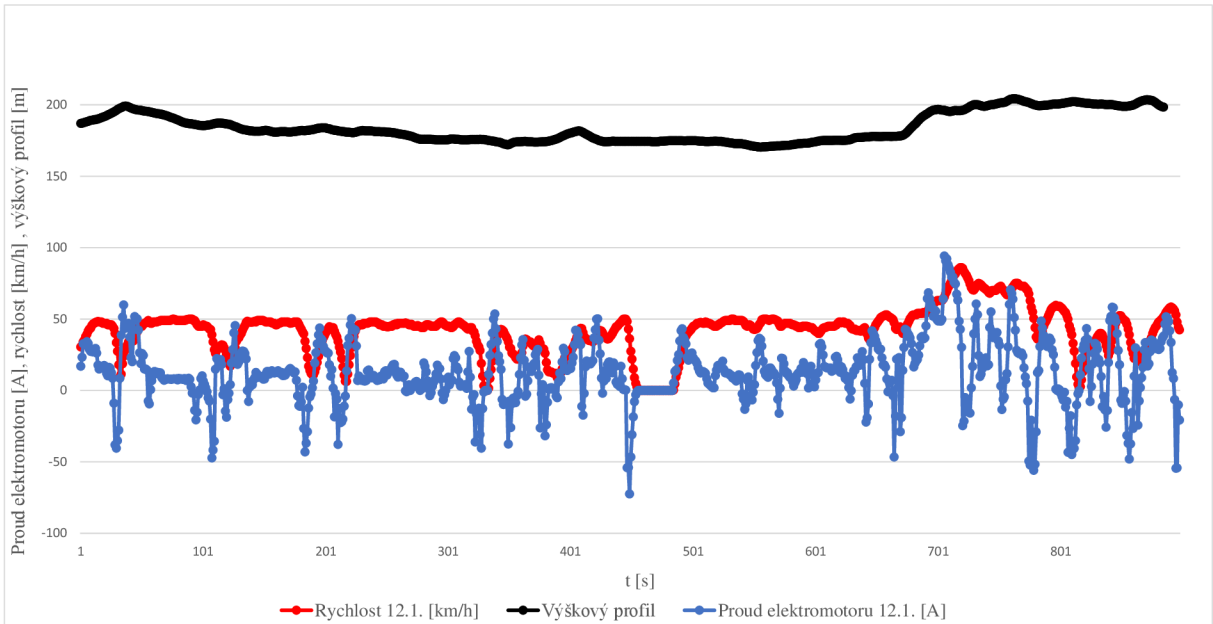
Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:14:39	10,6	D1		3,85	39,95	11,7	8,75	-2,95
11.01.2022	0:14:10	10,6	B	ECO	4,05	44,68	11,7	8,91	-2,79
12.01.2022	0:15:28	10,6	B		4,00	41,12	11,7	9,61	-2,09
18.01.2022	0:15:36	10,6	D1	ECO	4,00	40,42	11,7	9,71	-1,99
Datum	Ø odebíraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	28,61	-12,07	64,67	58,8	5,87	24637	7,94	-119,6	96,2
11.01.2022	22,56	-21,16	66,8	60,8	6	30847	-1,11	-62,0	94,4
12.01.2022	21,30	-18,66	68	62	6	8112	-0,13	-119,8	79,3
18.01.2022	24,04	-9,55	66,8	60,4	6,4	10823	3,00	-73,5	87,0

Tabulka 10: Prostředí: Město (trasa: Praha Letňany – Praha Suchdol), výsledky měření

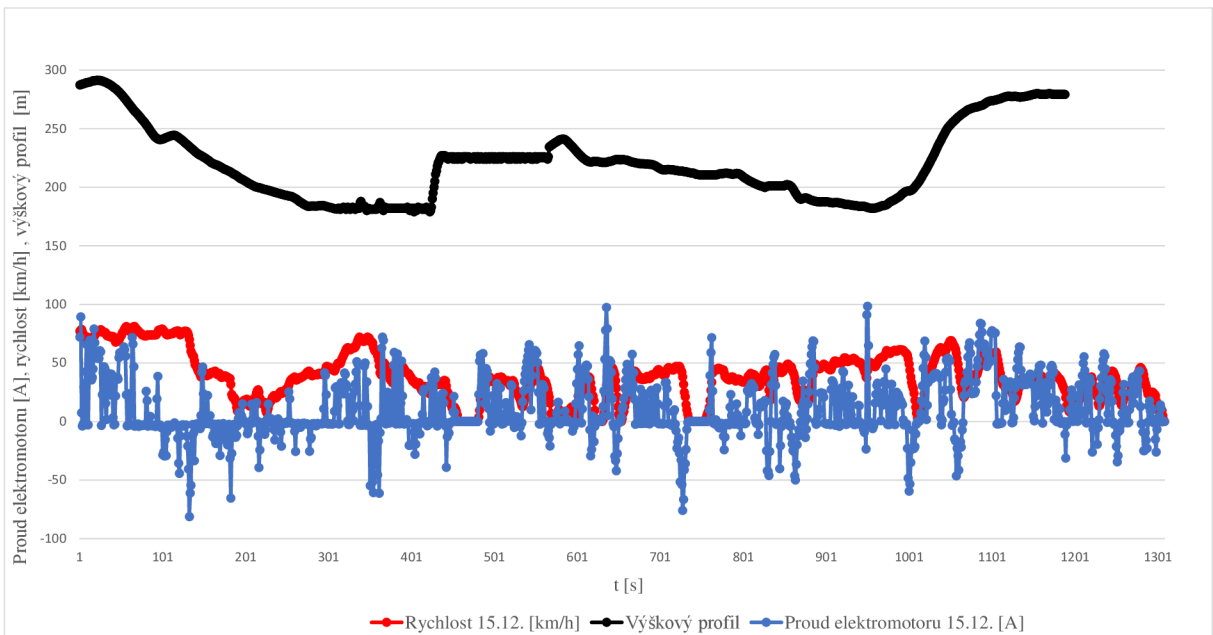
Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:21:48	14,1	D1		3,85	38,28	11,7	9,75	-1,95
11.01.2022	0:20:17	15,2	B	ECO	4,37	45,69	11,7	9,50	-2,20
12.01.2022	0:20:17	15,2	B		4,74	45,98	11,7	10,32	-1,38
Datum	Ø odebíraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	29,16	-8,50	50,8	42	8,8	24637	6,00	-81,4	98,3
11.01.2022	28,12	-15,79	58	48	10	30847	0,24	-102,6	96,4
12.01.2022	29,42	-14,74	48,8	39,2	9,6	8112	-0,93	-59,0	104,1

Výsledky měření v městském provozu jsou uvedeny v tabulkách 8, 9, 10, 11. Zaznamenané hodnoty při měřeních dne 12. 1. 2022 ve městě Kralupy nad Vltavou a 15. 12. 2021 ve městě Praha lze vidět na obrázcích 15 a 16.





Obrázek 15: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (město: Kralupy n. V. 12. 1.)



Obrázek 16: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (město: Praha 15. 12.)

Tabulka 11: Prostředí: Město (trasa: Praha Suchdol – Praha Letňany), výsledky měření

Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:42:43	15,2	D1		2,46	22,21	11,7	11,29	-0,41
11.01.2022	0:25:40	15,2	B	ECO	4,17	36,73	11,7	11,53	-0,17
12.01.2022	0:21:39	15,2	B		5,23	43,81	11,7	12,21	0,51
18.01.2022	0:24:58	15,2	D1	ECO	4,83	37,60	11,7	12,99	1,29
Datum	Ø odebraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	18,80	-9,60	91,2	78	13,2	24637	8,97	-69,1	85,9
11.01.2022	21,44	-15,75	91,6	80,8	10,8	30847	0,51	-87,0	98,6
12.01.2022	24,95	-14,59	90	79,6	10,4	8112	0,53	-55,5	114,2
18.01.2022	27,92	-9,27	92	80,4	11,6	10823	3,48	-64,1	126,3

Výsledky z městského prostředí se vyznačují charakteristicky nižší spotřebou, než je deklarovaná. Je to způsobeno nižším odebíraným proudem v souvislosti s nižším potřebným výkonem pro městský úsek. Ovšem i ve výsledcích z jednotlivých tras lze zaznamenat výjimky, kdy naměřená spotřeba překročila deklarovanou. Tyto stavy nastaly při vyšším výkonu motoru a také v závislosti na délce trasy a dopravní situaci. Rozdíl spotřeby se pohyboval v rozmezí od 0,13 do 1,2 % kapacity baterie. Extrém v podobě již zmíněných 1,2 % vznikl zejména dopravní situací. Tento případ lze sledovat v tabulce 9 s datem 15. 12., zde se jednalo o dopravní kalamitu, kdy doba jízdy úseku trvala dvojnásobný čas. Dle výsledků lze pozorovat, že jsou zde přibližně poloviční parametry průměrného výkonu a rychlosti. Avšak již zmíněná spotřeba vznikla dobou jízdy a odebíraným proudem. Jednotlivá minima a maxima proudu byla v tomto úseku vygenerována kombinací faktorů dopravní situace, stoupáním či klesáním vozovky a jízdním stylem řidiče. Rovněž se může konstatovat, že jízdní režimy se zásadně nepromítly do spotřeby vozidla. Také nelze říct, že by venkovní teplota negativně ovlivnila dojezd testovaného elektromobilu, protože teplota mezi jednotlivými jízdami kolísala až o 8 °C.

Tabulka 12: Měření spotřebičů vozidla v prostředí města Praha Suchdol výsledky měření

Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]	
14.02.2022	0:11:21	7,3	D1		4,89527	11,7	12,70	1,00	
14.02.2022	0:11:43	7,3	D1	ECO	4,41	11,7	11,82	0,12	
14.02.2022	0:11:10	7,3	D1	ECO+	4,41877	11,7	11,28	-0,42	
14.02.2022	0:12:32	7,3	B		4,10	11,7	11,75	0,05	
14.02.2022	0:11:49	7,3	B	ECO	4,08835	11,7	11,05	-0,65	
14.02.2022	0:12:07	7,3	B	ECO+	4,04	11,7	11,19	-0,51	
Datum	Ø rychlost [km/h]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Průměrný proud spotřebičů [A]	Ø venkovní teplota [°C]	Teplota klimatizace [°C]	Stupeň ventilátorů	Stupeň vyhřívání sedadel
14.02.2022	38,29	76,8	66,8	10	12,19	-0,01	22	6/7	2/2
14.02.2022	37,03	66,8	60,4	6,4	3,25	0,04	22	2/7	1/2
14.02.2022	38,87	60,4	55,2	5,2	1,13	0,18	22	2/7	0/2
14.02.2022	34,56	55,2	49,8	5,4	0,94	0,33	22	0/7	0/2
14.02.2022	36,77	49,8	43,6	6,2	2,99	0,78	22	2/7	0/2
14.02.2022	35,87	43,6	38,4	5,2	0,85	1,03	22	1/7	0/2

Pro měření spotřebičů byla zvolena trasa v městské části Praha Suchdol, přesná konfigurace a výsledné hodnoty jsou uvedené v tabulce 12. Zde lze pozorovat zásadní vliv komfortních prvků promítající se u dojezdu vozidla. Nejvyšší proudový odběr zaznamenala konfigurace s maximálním vyhříváním sedadel spolu s vysokým stupněm ventilátorů. Avšak při této konfiguraci docházelo k značnému hluku, který byl úměrný navolenému stupni ventilace. Proto bude tato volba použita nejčastěji pro rozmrazení vozidla a většinou v kratším časovém úseku, jelikož při této konfiguraci dochází k výraznému nárůstu spotřeby energie. Při zvolení mírnějšího stupně vyhřívání a ventilace dosahoval průměrný odebíraný proud výrazně nižší hodnoty. Tuto konfiguraci by dle mého názoru zvolila většina řidičů, jelikož nedisponovala téměř žádnými rušivými vlivy. Z výsledků tohoto experimentu vyplývá, že spotřebiče vozidla se významnou částí podílejí na odběru energie z akumulátoru, a to přiměřeně s volbou a stupněm zvoleného spotřebiče. Dále z naměřených hodnot vyplývá, že si z pohledu spotřeby vozidla nejlépe vedl nejvyšší stupeň rekuperace spolu s režimem ECO+.

#### 4.5.4 Dálniční provoz

Tabulka 13: Prostředí: Dálnice (směr Praha Letňany), výsledky měření

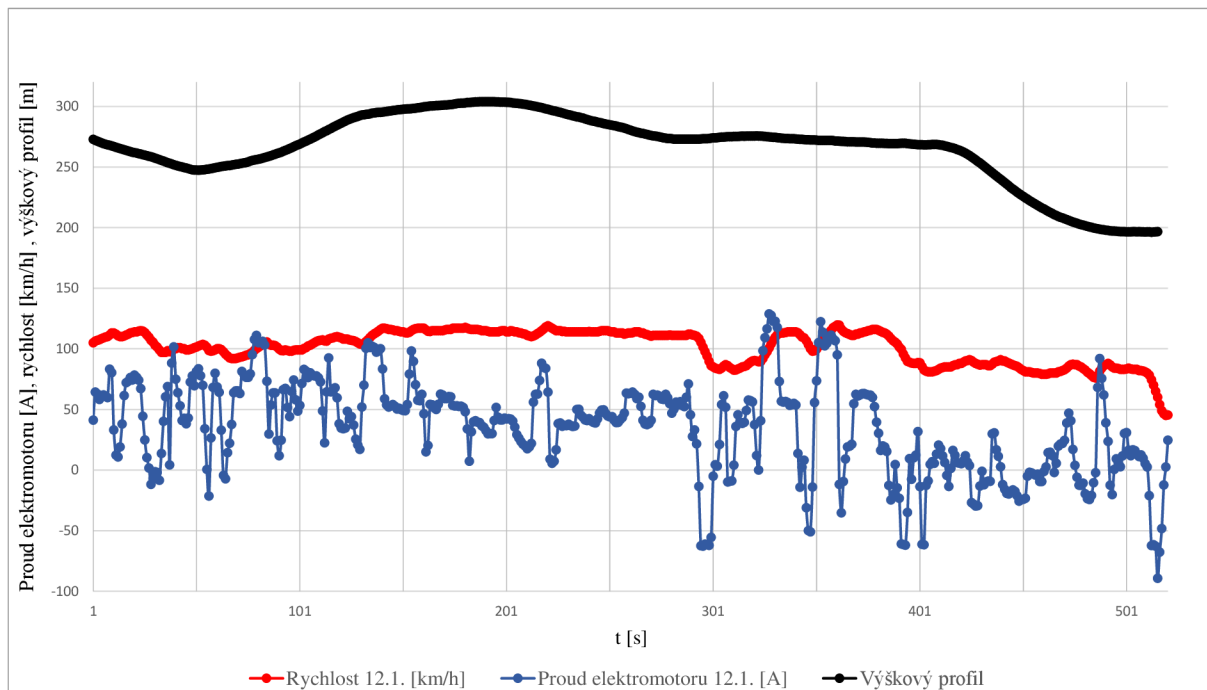
Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:03:47	5,3	D1		9,42	84,33	11,7	11,11	-0,59
11.01.2022	0:09:03	15,5	B	ECO	17,85	102,30	11,7	17,35	5,65
12.01.2022	0:21:06	15,5	B		7,74	42,81	11,7	17,20	5,50
Datum	Ø odebíraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	46,69	-6,97	53,6	50	3,6	24637	5,65	-86,88	97,38
11.01.2022	51,71	-9,54	74,4	57,6	16,8	30847	-1,13	-30,88	141,8
12.01.2022	28,56	-9,93	64	48,4	15,6	8112	-2,30	-65,38	169,3

Tabulka 14: Prostředí: Dálnice (směr Kralupy n. V.), výsledky měření

Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	0:08:42	15,5	D1		15,16	103,68	11,7	14,11	2,41
11.01.2022	0:08:35	15,5	B	ECO	15,69	107,99	11,7	14,43	2,73
12.01.2022	0:08:40	15,5	B		13,50	101,44	11,7	12,58	0,88
18.01.2022	0:08:34	15,5	D1	ECO	15,87	107,01	11,7	14,57	2,87
Datum	Ø odebíraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	55,33	-5,96	78	64,8	13,2	24637	7,91	-83,38	147,3
11.01.2022	48,19	-32,99	80,8	67,2	13,6	30847	-0,68	-63,25	133,25
12.01.2022	48,83	-23,34	79,2	68,4	10,8	8112	-0,67	-89,25	128,75
18.01.2022	52,86	-12,44	80,4	67,2	13,2	10823	3,00	-97,38	134,38

Výsledky z úseku dálnice (viz. tabulky 13 a 14) odpovídají trendu – čím vyšší rychlosti je potřeba dosáhnout, tak tím více musí být vynaloženo energie. Lze se tak setkat i trojnásobně vyšší výkon a více jak dvojnásobně vyšší proudový odběr oproti městskému provozu. Zde pak proudová maxima a minima zcela závisela na dopravní situaci, kdy nastala omezení dálničního úseku a následně došlo ke zrušení omezení. Rekuperovaný proud byl opět vyšší při úrovni B, ovšem tento ukazatel byl nejvíce ovlivněn dopravní situací. Při plynulém dálničním provozu dochází k minimální rekuperaci energie, lze si tak představit, jaká situace musela aktuálně probíhat, když bylo množství rekuperované energie vyšší. Zde pak rozdíl energie v akumulátoru zásadně ovlivňoval výkon, rychlost a rovněž dopravní situace, jízdní styl a dopravní omezení. Ostatně při pohledu na výkon ze dne 12. 1. v úseku ve směru na Kralupy n. V. a porovná se s dalšími získanými výkony, tak lze vidět, že spotřeba energie byla v tomto dni nejnižší z naměřených, a to hlavně díky nižšímu průměrnému výkonu. Data získaná ze dne 12. 1. 2022. lze vidět na obrázku 17. Při pohledu na jízdní režimy se zde nedosáhlo lepších výsledků při režimu ECO. To je však také ovlivněné tím, zda bylo dosaženo limitů vozů, které jsou v těchto režimech jiné. Dle grafu však lze pozorovat, že při režimech ECO byla

maximální rychlost omezena, ovšem záleží na rychlostech, kterých bylo dosaženo i v ostatních jízdách. Proto nelze prokazatelně říct, že režim ECO má horší výsledky oproti standardnímu režimu vozidla.



Obrázek 17: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (dálniční provoz 12. 1.)

#### 4.5.5 Shrnutí celkového trasy

Tabulka 15: Celková trasa směr: Kralupy n. V. – Praha Letňany – Praha Suchdol, výsledky měření

Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	1:31:05	57	D1	/	4,71	41,03	11,7	11,35	-0,35
11.01.2022	1:03:32	57,9	B	ECO	6,67	54,09	11,7	11,95	0,25
12.01.2022	1:16:48	57,9	B	/	5,59	44,93	11,7	12,12	0,42
Datum	Ø odebíraný proud [A]	Ø rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	Ø venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	29,81	-8,30	83,2	42	41,2	24637	5,42	-121,0	132,3
11.01.2022	30,09	-16,19	92,4	48	44,4	30847	-1,34	-102,6	141,8
12.01.2022	26,42	-14,75	80,8	39,2	41,6	8112	-2,28	-80,3	169,3

Tabulka 16: Celková trasa směr: Praha Dejvice – Kralupy n. V. – Praha Suchdol, výsledky měření

Datum	Čas jízdy	Délka trasy [km]	Úroveň rekuperace	Režim	Ø výkon [kW]	Ø rychlost [km/h]	Spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená Ø spotřeba [kWh/100 km]	Rozdíl spotřeby [kWh/100 km]
15.12.2021	1:25:45	57,9	D1	/	5,12	40,39	11,7	12,29	0,59
11.01.2022	1:07:17	57,9	B	ECO	6,67	51,65	11,7	12,65	0,95
12.01.2022	1:04:24	57,9	B	/	6,88	54,28	11,7	12,54	0,84
18.01.2022	1:06:54	57,9	D1	ECO	6,95	51,79	11,7	13,16	1,46

Tabulka 17: Celková trasa směr: Praha Dejvice – Kralupy n. V. – Praha Suchdol, výsledky měření

Datum	∅ odebíraný proud [A]	∅ rekuperovaný proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]	Stav tachometru [km]	∅ venkovní teplota [°C]	min/max proud [A]	
15.12.2021	31,09	-11,08	91,2	44,8	46,4	24637	8,18	-121,9	147,3
11.01.2022	30,27	-20,82	91,6	46	45,6	30847	-0,69	-90,0	133,3
12.01.2022	31,24	-19,02	90	48	42	8112	-0,18	-123,3	129,6
18.01.2022	34,42	-11,12	92	46,4	45,6	10823	2,89	-121,8	136,8

Ze souhrnných výsledků (viz. tab. 15, 16, 17) vyplývá, že spotřeba vozidla závisí jednak na vnějších podmínkách, jako je stoupání a klesání trasy nebo povětrnostní podmínky. Významnou roli zde hraje i jízdní styl řidiče a aktuální dopravní situace na dopravní komunikaci. Důležitými faktory bezesporu jsou i ty vnitřní jako odebíraný proud, výkon elektromotoru, zvolené komfortní prvky, nahuštění pneumatik, nájezd vozidla, a především stav akumulátoru. Výsledná spotřeba je pak po většinou dle tabulek 15 a 16 vyšší, a to průměrně o 0,59 kWh na 100 km. Jistou kauzalitu lze pozorovat v dodávaném výkonu a rychlosti vozidla, která se rovněž podepsala na koncovém stavu akumulátoru. Pokud se přihlédně k venkovní teplotě, tak se zjistí, že tento rozsah teplot se negativně neodrazil na dojezd vozidla, jelikož se neprojevil na zvýšeném úbytku energie z akumulátoru. Lze také uvést, že při využití režimu ECO na testované trase nedošlo k zásadním pozitivním vlivům na dojezd vozidla. Z pohledu použité úrovně rekuperace je již možno pozorovat prokazatelné hodnoty o tom, že dochází ke zvýšení rekuperovaného proudu.

#### 4.5.6 Nabíjení vozidla

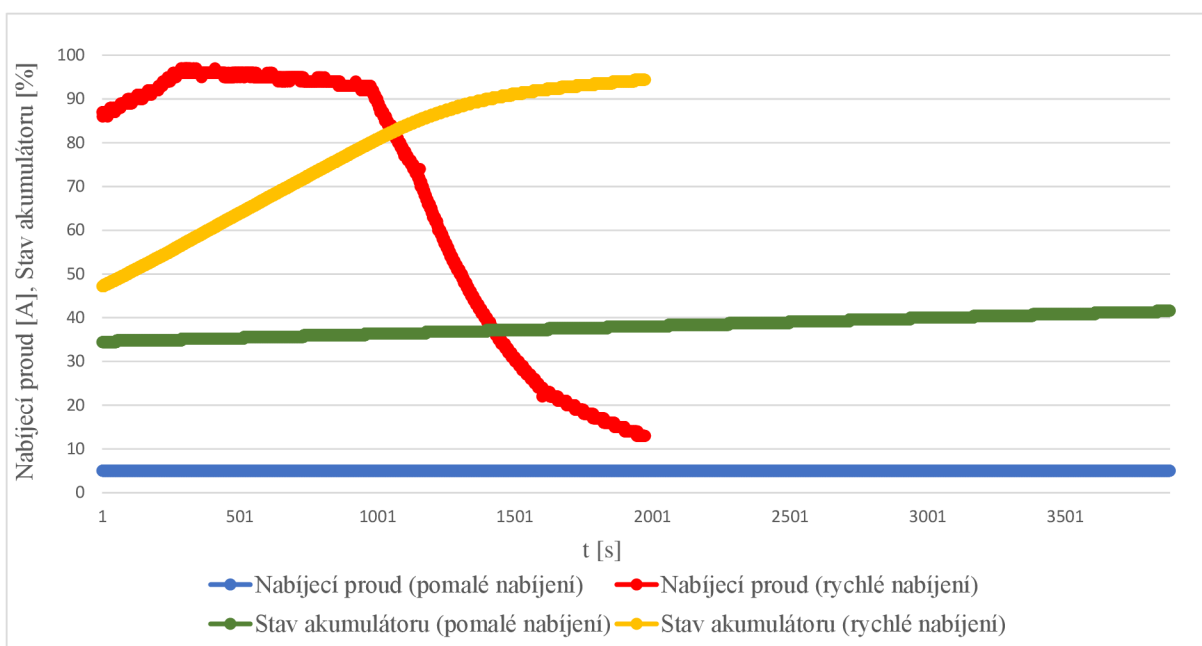
Tabulka 18: Výsledky měření nabíjení

Typ nabíjení	Doba nabíjení	Počáteční napětí akumulátoru [V]	Koncové napětí akumulátoru [V]	Rozdíl hodnot napětí akumulátoru [V]	∅ nabíjecí proud [A]	Počáteční stav akumulátoru [%]	Koncový stav akumulátoru [%]	Rozdíl hodnot akumulátoru [%]
Pomalé AC	0:38:46	368,75	371,5	2,75	5	34,4	41,6	7,2
Rychlé DC	0:19:40	386,75	412,75	26	66,9108	47,2	94,4	47,2

Při měření nabíjení akumulátoru bylo zajímavé sledovat změnu nabíjecího proudu, ten při rychlém nabíjení dosahoval maxima 97 A a průměrně hodnoty 66,9 A. Současně si lze povšimnout, že za poloviční čas byl nabit akumulátor o 40 % více než při pomalém nabíjení, tyto hodnoty lze také vidět v tabulce 18, kdy tento rozdíl je samozřejmě dán technologií nabíjení. Při rychlém nabíjení bylo rovněž zajímavé sledovat samotný průběh nabíjecího proudu, zde pak hraje roli komunikace vozidla s nabíjecím zařízením s následnou korekcí

nabíjecího proudu. Management akumulátoru v tomto případě dal při 80% nabití akumulátoru instrukci pro snížení nabíjecího proudu a dále také při 90% nabití akumulátoru, aby se předešlo negativním účinkům na akumulátor. Tyto změny nabíjecího proudu jsou zachyceny na obrázku 18. Pokud by nabíjecí proud při rychlém nabíjení zůstal na konstantních vysokých hodnotách, tak by nabíjení bylo bezesporu rychlejší, avšak na úkor životnosti baterie, která by se tímto způsobem zdatelně degradovala.

V případě pomalého nabíjení byl nabíjecí proud konstantní po celou dobu nabíjecího cyklu, a to až do doby, kdy byl elektromobil plně nabit. V tomto případě nabíječka odstavila proces nabíjení, aby nedošlo k přebíjení baterie. Pomalé nabíjení je tak více šetrné k akumulátoru, ale za cenu delší doby nabíjení. Pro pomalé nabíjení bylo zvoleno zařízení IC-CPD (Incable Control and Protection Device) napájené ze sítě 230 V, s frekvencí 50 Hz a jmenovitým proudem 10 A. Při tomto měření však zařízení nabíjelo pouze proudem o konstantní hodnotě 5 A.



Obrázek 18: Graf průběhů nabíjecích proudů při rychlém a pomalém nabíjení

## 5 Závěr

Cílem této diplomové práce byla rešerše problematiky týkající se tématu práce s názvem „Analýza faktorů ovlivňující kapacitu akumulátoru elektrovozidel“ a následné zpracování informací. V přehledu řešené problematiky se práce zabývá konkrétními tématy, jako je elektromobilita, elektromobil, klíčové části elektromobilu, dále také porovnáním s konvenčními technologiemi, dopady elektromobilů, jejich klady, zápory a problematikou infrastruktury dobíjení elektrovozidel. Uvedené koncepce a technologie použité v oblasti elektromobility a elektromobilů vycházejí ze současné odborné literatury.

Cílem praktické části bylo vytvoření analýzy z dat získaných během testovacích jízd uskutečněných v reálném provozu prostřednictvím elektromobilu, jež byl připojen na diagnostiku. Díky tomu byla získána klíčová data o provozních parametrech a na jejich základě odvozeny výsledky měření, ty také byly v této části práce interpretovány. Analýza je tak sestavena ke konkrétní technologii a parametrům akumulátoru.

Z informací získaných při měření elektromobilu lze konstatovat, že u lithium-iontové baterie z pohledu nájezdu až 30 tis. kilometrů nedochází k zásadnímu poklesu kapacity akumulátoru. Lze potvrdit, že parametry použitého typu baterie v tomto horizontu odpovídají deklarovaným hodnotám výrobce. Tento fakt bylo možno sledovat z podobných úbytků energie při absolvování stejné vzdálenosti s podobnými vlivy. Tyto vlivy jsou: rychlost, výkon elektromotoru, dopravní situace, odebíraný proud, výškový profil trasy či dopravní situace. Dále z výsledků vyplývá, že se teplota v rozsahu od  $-3$  do  $9$  °C zásadně neprojevila na dojezdu testovaného vozidla. Avšak při teplotách, které jsou hlouběji pod bodem mrazu, lze očekávat větší dopady na dojezd elektromobilu.

Analýzou výsledků měření bylo zjištěno, že zásadním faktorem, který má vliv na úbytek energie z aktuální kapacity akumulátoru, byl okamžitý výkon elektromotoru, dále s ním související odebíraný proud a komfortní prvky elektromobilu – tzn. klimatizace, ventilace atd. Výkon a odebíraný proud závisí na rychlosti vozidla, které bylo nutno dosáhnout, společně s charakterem vozovky (zejména pak, pokud se na trase nachází prudké stoupání a bylo nutno vynaložit více výkonu k jeho zdolání). Faktory, které dále ovlivňují úbytek energie z aktuální kapacity akumulátoru, jsou bezesporu jízdní styl řidiče, povětrnostní podmínky a dopravní situace. Zde z pohledu řidiče závisí na intenzitě akcelerace, volbě jízdních režimů, módů, ale



také na intenzitě brzdění a schopnosti číst aktuální dopravní situaci. Z výsledků měření dále vyplývá, že při použití vyššího stupně rekuperace dochází citelně ke zvýšení rekuperovaného proudu při brzdění, nicméně toto množství se podstatně neprojevuje u spotřeby energie na 100 km.

Z pohledu budoucnosti akumulátorů bude klíčové zvýšení parametru jejich kapacity při stejné nebo menší velikosti bateriových článků a také hmotnosti. Další výzvou bude prodloužení životnosti z hlediska nabíjecích a vybíjecích cyklů. Z celkového pohledu pak může napomoci výzkum zaměřený na nové chemické složení akumulátorů. Ovšem u nových i stávajících akumulátorů bude záviset na složitosti výroby a použitých materiálech. Tyto vlivy se zásadně podílejí na ceně současných elektromobilů, jelikož významnou složkou ceny je právě akumulátor. Rovněž bude zajímavé sledovat jejich druhotný život, jakmile dosáhnou kritické kapacity pro použití ve vozidlech.

Při pohledu na elektromobilitu a konkrétně na elektromobily, největší výzvou bude integrace do běžného provozu. Zejména z pohledu dopadů na dobíjecí a elektrickou infrastrukturu, jelikož masové rozšíření elektromobilů zásadně ovlivní v případě nabíjení sítě, kde může dojít k přetížení či jiným nepříznivým událostem. Lze tedy očekávat, že v budoucnu se bude nabíjení regulovat – dle aktuální situace elektrické sítě a produkce elektřiny. Elektromobily jsou schopné v současnosti již konkurovat konvenčním vozidlům, a to zejména při provozování na krátkých a středních vzdálenostech. Zejména v městských oblastech je patrný jejich bezemisní provoz. Nicméně z pohledu celkového systému je provoz elektromobilu ekologický úměrně zdroji, ze kterého elektřina pochází.

## 6 Použitá literatura

1. SANDÉN, Björn A., Anders GRAUERS, Steven SARASINI a Magnus KARLSTRÖM. *System Perspectives on Electromobility*. Publications.lib.chalmers.se [online]. Chalmers University of Technology, 2013 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: [https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/211430/local\\_211430.pdf](https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/211430/local_211430.pdf)
2. SMARTEV. *Co je elektromobilita*. Smartev.cz [online]. [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <http://www.smartev.cz/cz/co-je-elektromobilita/>
3. AKTUALNE.CZ *Přehledně a srozumitelně: 5 největších výhod a nevýhod elektromobilů*. Zpravy.aktualne.cz [online]. 2020, 15.12.2020 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/prehledne-a-srozumitelne-5-nejvetsich-vyhod-a-nevyhod-elekt/r~ab1fafe42d9511eb8b230cc47ab5f122/>
4. KUPKA, Tomáš. *Univerzální bezdrátové nabíjení elektromobilů*. Odbornecasopisy.cz [online]. 2021, 25.3.2021 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/univerzalni-bezdratove-nabijeni-elektromobilu--5959>
5. ELECTRICVEHICLESNEWS.COM *Electric Vehicles Definition*. Electricvehiclesnews.com [online]. [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://electricvehiclesnews.com/Definition/description.htm>
6. BERGMANN, Petr. *Historie elektromobilu od prvního elektromotoru po současnost*. Elektrickevozy.cz [online]. 2021 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/historie-elektromobilu-od-prvniho-elektromotoru-po-soucasnost/2>
7. MARKUS, Frank. *Electric Cars 101: How EV Motors Work, Tech Differences, and More*. <https://www.motortrend.com> [online]. 2021, 8.7.2021 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/features/how-electric-cars-work-ev-differences-definitions/>
8. ENERGYSAGE.COM. *How do electric car batteries work?* <https://www.energysage.com> [online]. 2021, 25.8.2021 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/how-do-electric-car-batteries-work/>
9. W. STAUFFER, Nancy. *Designing better batteries for electric vehicles*. <https://news.mit.edu> [online]. 2021, 16.8.2021 [cit. 2021-11-04]. Dostupné z: <https://news.mit.edu/2021/designing-better-batteries-electric-vehicles-0816>
10. HE3DA.CZ *Výhody HE3DA technologie*. <https://he3da.cz> [online]. [cit. 2021-11-04]. Dostupné z: <https://he3da.cz>
11. YONG, Benjamin. *BEV, PHEV, HEV, FCEV: The Key Differences Between Electric Car Options*. <https://openroadautogroup.com> [online]. 2019, 6.8.2019 [cit. 2021-11-04]. Dostupné z: <https://openroadautogroup.com/blog/bev-phev-hev-fcev-key-differences-between-electric-car-options>
12. KOUTNÝ, Jaroslav a Ivo VLK. *Hallův jev*. <https://eluc.kr-olomoucky.cz> [online]. 2009, 2009 [cit. 2021-11-04]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/617>
13. CDV. *Počet elektromobilů se v České republice blíží desetitisícové hranici*. <https://www.cdv.cz> [online]. 2020, 7.4.2020 [cit. 2021-11-04]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/pocet-elektromobilu-se-v-ceske-republice-blizi-desetitiscove-hranici/>

14. EPECTEC. *BATTERY CELL COMPARISON*. <https://www.epectec.com> [online]. [cit. 2021-11-04]. Dostupné z: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
15. NANAKI, Evanthia A. *Electric Vehicles for Smart Cities: Trends, Challenges, and Opportunities*. Elsevier, 2021. ISBN 978-0-12-815801-2.
16. NIEDERMAYER, Luděk. *Začíná platit emisní limit 95 g/km, automobilkám hrozí pokuty. Co to může přinést?* <https://www.hybrid.cz> [online]. 2020, 6.1.2020 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/zacina-platit-emisni-limit-95-gkm-automobilkam-hrozi-pokuty-co-muze-prinest/>
17. EUROPARL.EUROPA.EU. *Emise CO<sub>2</sub> z aut: fakta a čísla (infografika)*. <https://www.europarl.europa.eu> [online]. 2019, 25.3.2019 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
18. DEVINN.CZ. *BATERIE ELEKTROMOBILU – ZÁKLADNÍ PARAMETRY*. <https://www.devinn.cz> [online]. 2019, 31.3.2020 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu/>
19. HALL, Dale a Nic LUTSEY. *Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions*. <https://theicct.org> [online]. 2018, 9.2.2018 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://theicct.org/publications/EV-battery-manufacturing-emissions>
20. HORČÍK, Jan. *Neviditelná síla infrastruktury – problematika dobíjecích stanic pro elektromobily*. <https://www.hybrid.cz> [online]. 2011, 22.4.2011 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/neviditelna-sila-infrastruktury-problematika-dobijecich-stanic-pro-elektromobily/>
21. KILISCHEKOW, Anna a Wade MILLION. *The Electric Vehicle Charging Problem: Infrastructure Development*. <https://lionsmart.com> [online]. 2020 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://lionsmart.com/en/the-electric-vehicle-charging-problem/>
22. WAPPELHORST, Sandra. *On the electrification path: Europe's progress towards clean transportation*. <https://theicct.org> [online]. 2021, 3.3.2021 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://theicct.org/publications/electrification-path-europe-mar2021>
23. CAISL, Petr. *Nabíjení elektromobilů, zatížení sítě a řízení výkonu*. <https://energetika.tzb-info.cz> [online]. 2020, 20.8.2020 [cit. 2021-11-08]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/21052-nabijeni-elektromobilu-zatizeni-site-a-rizeni-vykonu-cast-ii-rizeni-vykonu>
24. COLLINSON, Patrick a Rupert JONES. *Powering ahead: six new ways to charge an electric car*. <https://www.theguardian.com> [online]. 5.10.2019 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/money/2019/oct/05/electric-car-ways-to-charge>
25. AUTOCAR. *How to charge your electric car at home*. <https://www.autocar.co.uk> [online]. 2021, 7.5.2021 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-news/advice-electric-cars/how-charge-your-electric-car-home>
26. LILLY, Chris. *EV connector types*. <https://www.zap-map.com> [online]. 2020, 3.4.2020 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>
27. *EV Charging Connector Types and Speeds*. <https://pod-point.com> [online]. 2021, 28.10.2021 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://pod-point.com/guides/driver/ev-connector-types-speed>

28. *Controller Area Network (CAN)*. <https://www.techopedia.com> [online]. 2017, 16.2.2017 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/32255/controller-area-network-can>
29. *Power Line Communications (PLC)*. <https://www.techopedia.com> [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/1753/power-line-communications-plc>
30. HECKSCHER, Dean. *Electric cars pros and cons: Should you buy one?* <https://www.canstarblue.com.au> [online]. 2021, 15.9.2021 [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://www.canstarblue.com.au/vehicles/electric-car-pros-and-cons/>
31. *Design of Conventional Permanent Magnet Synchronous Motor used in Electric Vehicle*. International Journal of Scientific Engineering and Technology Research [online]. 2014, July 2014, 16(3), 3289-3293 [cit. 2021-11-12]. ISSN ISSN 2319-8885. Dostupné z: <http://ijsetr.com/uploads/613452IJSETR1700-564.pdf>
32. *Permanent magnet synchronous motor construction*. <https://www.newkidscar.com> [online]. 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.newkidscar.com/electric-car/permanent-magnet-synchronous-motor-construction/>
33. *ENGINE*. <https://www.newkidscar.com> [online]. 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.newkidscar.com/engine/>
34. *PRINCIPLES OF ENGINES: CONSTRUCTIONAL FEATURES OF IC ENGINE*. <https://cat-engines.blogspot.com> [online]. 2017, 31 October 2017 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://cat-engines.blogspot.com/2017/10/principles-of-engines-constructional.html>
35. *(H)EV traction inverter - hybrid / elektrice vehicle*. <https://www.infineon.com> [online]. 2021 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.infineon.com/cms/en/applications/automotive/electric-drive-train/traction-inverter/>
36. *Electric Vehikle Drivetrains*. <https://www.hexagonmi.com> [online]. 2021 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/solutions/industries/automotive/emobility/electric-vehicle-drivetrains>
37. *Why Does Electric Car Design Take Inspiration From The Skateboard?* <https://insideevs.com> [online]. 2020 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://insideevs.com/features/427978/electric-car-design-inspired-skateboard/>
38. *A DEAD BATTERY DILEMMA*. <https://www.science.org> [online]. 2021 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.science.org/content/article/millions-electric-cars-are-coming-what-happens-all-dead-batteries>
39. *EV CHARGERS*. <https://www.lem.com> [online]. 2021 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.lem.com/en/ev-chargers>
40. *Neni elektromotor jako elektromotor: Čím se jednotlivé verze liší?* <https://www.auto.cz> [online]. 2019 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/neni-elektromotor-jako-elektromotor-cim-se-jednotlive-verze-lisi-129007>
41. *Under the skin: Does induction beat magnets in motors?* <https://www.autocar.co.uk> [online]. 2020 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-news/technology-news/under-skin-does-induction-beat-magnets-motors>
42. *TYPES OF ELECTRIC VEHICLES – DO YOU KNOW THEM ALL?* <https://www.skoda-storyboard.com> [online]. 2019, 21.3.2019 [cit. 2021-11-14].



## 6.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Typy elektromobilů [42].....	5
Obrázek 2: Hnací ústrojí elektromobilu [37] .....	9
Obrázek 3: Řez asynchronním indukčním motorem [41] .....	10
Obrázek 4: Řez synchronním motorem s permanentními magnety [40].....	10
Obrázek 5: Sestavení Lithium-iontové baterie [18] .....	12
Obrázek 6: Typy elektrických zdrojů a technologie dobíjení elektromobilů [1] .....	17
Obrázek 7: Konstrukce PMSM [32].....	27
Obrázek 8: Životní cyklus lithium-iontové baterie [38].....	30
Obrázek 9: Schéma distribuce eklektické energie a služby [39].....	33
Obrázek 10: VW e-up![43] .....	35
Obrázek 11: Testovací trasa [48] .....	40
Obrázek 12: Výškový profil testovací trasy směr: ČZU-Kralupy n. V.-Letňany-Dejvice-ČZU [49]...	41
Obrázek 13: Diagnostický systém VAG-COM.....	43
Obrázek 14: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (mimo město 15. 12.) .....	46
Obrázek 15: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (město: Kralupy n. V. 12. 1.) .....	48
Obrázek 16: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (město: Praha 15. 12.) .....	48
Obrázek 17: Graf rychlosti vozidla a proudu elektromotoru (dálniční provoz 12. 1.).....	52
Obrázek 18: Graf průběhů nabíjecích proudů při rychlém a pomalém nabíjení .....	54

## 6.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické parametry baterií [14] .....	14
Tabulka 2: Parametry konektorů na střídavý proud [27] .....	20
Tabulka 3: Parametry konektorů pro stejnosměrný proud [27].....	21
Tabulka 4: Shrnutí porovnání PMSM a ICE .....	28
Tabulka 5: Technické parametry VW e-up! [44] .....	37
Tabulka 6: Prostředí: Mimo město (trasa: Praha Suchdol – Kralupy n. V.), výsledky měření .....	45
Tabulka 7: Prostředí: Mimo město (trasa: Kralupy n. V. – Praha Suchdol), výsledky měření .....	45
Tabulka 8: Prostředí: Město Kralupy nad Vltavou (směr Praha Letňany), výsledky měření .....	47
Tabulka 9: Prostředí: Město Kralupy nad Vltavou (směr Praha Suchdol), výsledky měření .....	47
Tabulka 10: Prostředí: Město (trasa: Praha Letňany – Praha Suchdol), výsledky měření .....	47
Tabulka 11: Prostředí: Město (trasa: Praha Suchdol – Praha Letňany), výsledky měření.....	49
Tabulka 12: Měření spotřebičů vozidla v prostředí města Praha Suchdol, výsledky měření.....	50
Tabulka 13: Prostředí: Dálnice (směr Praha Letňany), výsledky měření.....	51
Tabulka 14: Prostředí: Dálnice (směr Kralupy n. V.), výsledky měření.....	51
Tabulka 15: Celková trasa směr: Kralupy n. V. – Praha Letňany – Praha Suchdol, výsledky měření	52
Tabulka 16: Celková trasa směr: Praha Dejvice – Kralupy n. V. – Praha Suchdol, výsledky měření .	52
Tabulka 17: Celková trasa směr: Praha Dejvice – Kralupy n. V. – Praha Suchdol, výsledky měření ..	53
Tabulka 18: Výsledky měření nabíjení .....	53