

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Bakalářská práce

Energetická náročnost elektromobility

Marek Šimon

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Marek Šimon

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Energetická náročnost elektromobility

Název anglicky

Energy demand of electric vehicles

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnocení energetické náročnosti provozu elektromobilu ve srovnání s automobilem se spalovacím motorem, případně s hybridním pohonem; zároveň se od autora očekává komplexní zhodnocení provozování elektromobilu na základě vlastních zkušeností. Práce dále bude analyzovat aktuální i výhledový vliv elektromobility na zatížení elektrické přenosové soustavy.

Metodika

V rámci literární rešerše se seznámte s vývojem a technickými prostředky pohonů osobních automobilů, se zaměřením na plně elektrická a hybridní vozidla. Následně proveďte porovnání energetické náročnosti provozu vybraných vozidel výpočtem a v reálných podmínkách. Závěrem práce diskutujte možný vliv vzrůstajícího podílu elektrických vozidel na zatížení elektrické přenosové soustavy.

Doporučený rozsah práce

30-40

Klíčová slova

osobní automobil, hybridní pohon, elektrický pohon, spotřeba energie

Doporučené zdroje informací

Fuhs, A.E. Hybrid vehicles and the future of personal transportation. CRC Press, 2009

Hromádko, J. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Grada, 2012

Husain, I. Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. CRC Press, 2011

Kameš, J. Hybridní a elektrické pohony automobilů. ČZU v Praze, 2015

Kasprzyk, L., Pietracho, R., Bednarek, K. Analysis of the impact of electric vehicles on the power grid. In: E3S Web Conference 44, 00065, 2018

Vlk, F. Alternativní pohony motorových vozidel. Nakladatelství VLK, 2004

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Viktor Novák

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 31. 1. 2023

doc. Ing. Monika Hromasová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 10. 11. 2023

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 28.03.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Viktoru Novákovi, Ph. D. za jeho cenné rady, odborné vedení a čas strávený při konzultačních hodinách. Dále bych chtěl vyjádřit poděkování panu Janu Spudichovi za možnost otestovat elektromobil a ochotu při poskytnutí informací o jeho provozu.

Energetická náročnost elektromobility

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku energetické náročnosti elektromobility. V literární rešerši jsou probrány jednotlivé typy elektromotorů používaných v elektromobilech. Dále jsou popsány koncepce elektrických a hybridních pohonů a jejich technické vlastnosti. Práce se také zabývá problematikou baterií, včetně různých typů používaných v elektromobilech a jejich vlivu na výkon a dojezd vozidel. V poslední části literární rešerše je popsáno nabíjení elektromobilů, kde jsou diskutovány různé způsoby nabíjení a infrastruktura nabíjecích stanic. V praktické části je cílem zhodnocení energetické náročnosti provozu elektromobilu ve srovnání s automobilem se spalovacím motorem s přihlédnutím ke způsobu nabíjení. Vyhodnocení probíhalo na základě testu spotřeby elektrické energie elektromobilu v reálných podmínkách. Hodnoty elektromobilu jsou následně srovnány s hodnotami ostatních automobilů. V závěru práce je diskutována emisní náročnost elektromobilů a jejich vliv na přenosovou soustavu.

Klíčová slova: osobní automobil, hybridní pohon, elektrický pohon, spotřeba energie

Energy demand of electric vehicles

Abstract

This bachelor thesis focuses on the issue of electromobility. The theoretical research discusses the different types of electric motors used in electric vehicles. Furthermore, the concepts of electric and hybrid drives, and their technical characteristics are described. The thesis also addresses the issue of batteries, including the different types used in electric vehicles and their effect on vehicle performance and range. In the last part of the theoretical research, the charging of EVs is described, where different charging methods and charging station infrastructure are discussed. In the practical part, the aim is to evaluate the energy demand of electric car operation compared to a car with an internal combustion engine, also taking into account the charging method. The evaluation took place on the basis of the electric car's real consumption of electricity in the conditions. The values of the electric car are subsequently compared with the values of other cars. At the end of the thesis, the emission requirements of electric cars and their influence on the transmission system are discussed.

Keywords: car, hybrid powertrain, electric powertrain, energy consumption

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod..... | 1 |
| 2 Cíl práce a metodika | 2 |
| 2.1 Cíl práce | 2 |
| 2.2 Metodika práce..... | 2 |
| 3 Vozidla na elektrický pohon..... | 3 |
| 3.1 Historický vývoj elektrických vozidel | 3 |
| 3.2 Elektromotor | 4 |
| 3.2.1 Stejnoseměrný motor | 4 |
| 3.2.2 Bezkartáčový stejnosměrný motor s permanentním magnetem | 5 |
| 3.2.3 Asynchronní motor | 5 |
| 3.2.4 Synchronní motor s permanentním magnetem (PMSM)..... | 7 |
| 3.2.5 Spínaný reluktanční motor | 8 |
| 3.3 Porovnání elektromotorů..... | 9 |
| 4 Koncepce pohonu elektrických vozidel | 10 |
| 4.1 Hybridní elektrická vozidla (HEV)..... | 10 |
| 4.1.1 Sériové uspořádání | 10 |
| 4.1.2 Paralelní uspořádání | 11 |
| 4.1.3 Sériově paralelní uspořádání..... | 12 |
| 4.2 Plug-in hybridní elektrická vozidla (PHEV)..... | 13 |
| 4.3 Mild a Micro hybridní elektrická vozidla (MHEV)..... | 13 |
| 4.4 Elektrická vozidla s palivovými články (FCEV) | 14 |
| 4.5 Elektrická bateriová vozidla (BEV)..... | 14 |
| 5 Bateriové systémy elektrických vozidel..... | 19 |
| 5.1 Základní parametry bateriových systémů | 20 |
| 5.2 Olověné baterie | 22 |
| 5.3 Niklové baterie | 22 |
| 5.4 Lithium-iontové baterie..... | 23 |
| 5.5 Ostatní typy bateriových systémů | 25 |
| 6 Nabíjení elektrických vozidel | 26 |
| 6.1 Typy nabíjení | 26 |
| 6.2 Strategie nabíjení..... | 28 |
| 6.3 Infrastruktura nabíjecích stanic v ČR..... | 29 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7 | Spotřeba elektrické energie elektrického vozidla..... | 30 |
| 7.1 | Parametry testovaného vozidla | 30 |
| 7.2 | Porovnání testovaného elektromobilu s ostatními vozidly | 31 |
| 7.3 | Zhodnocení spotřeby elektrické energie v reálných podmínkách..... | 32 |
| 7.3.1 | Výpočet spotřeby | 33 |
| 7.4 | Porovnání energetické náročnosti vybraných vozidel..... | 34 |
| 7.5 | Emisní náročnost elektromobilů | 35 |
| 7.6 | Posouzení vlivu elektromobility na energetickou soustavu | 37 |
| 7.7 | Diskuse získaných výsledků | 38 |
| 8 | Závěr..... | 40 |
| 9 | Seznam použité literatury..... | 42 |

Seznam použitých zkratek

kW – kilowatt

PMSM – Permanent Magnet Synchronous Motor

HEV – Hybrid Electric Vehicle

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle

MHEV – Mild Hybrid Electric Vehicle

FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle

BEV – Battery Electric Vehicle

AWD – All-Wheel Drive

BMS – Battery Management System

ECU – Electronic Control Unit

BCM – Body Control Module

Ah – ampérhodina

kWh – kilowatthodina

DoD – Depth of Discharge

SoC – State of Charge

ZEBRA – Zero Emission Battery Research Association

HDO – Hromadné dálkové ovládání

MW – megawatt

V – volt

ČSÚ – Český statistický úřad

CO₂ – oxid uhličitý

TWh – terawatthodina

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Asynchronní motor..... | 6 |
| Obr. 2: Synchronní motor s permanentním magnetem..... | 8 |
| Obr. 3: Sériové uspořádání hybridního pohonu..... | 11 |
| Obr. 4: Paralelní uspořádání hybridního pohonu..... | 12 |
| Obr. 5: Schéma elektromobilu Tesla Model S s pohonem všech kol..... | 16 |
| Obr. 6: Schéma pohonného ústrojí elektrického vozidla..... | 17 |
| Obr. 7: Životnost Li-ion baterie v závislosti na její hloubce vybití..... | 21 |
| Obr. 8: Průběh nabíjení baterie elektromobilu..... | 27 |
| Obr. 9: Testovaný elektromobil Tesla Model Y LR..... | 30 |
| Obr. 10: Porovnání emisí CO ₂ jednotlivých typů automobilů..... | 36 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Porovnání parametrů jednotlivých elektromotorů..... | 9 |
| Tab. 2: Porovnání vozidel..... | 32 |
| Tab. 3: Přehled nákladů za nabíjení elektromobilu..... | 34 |
| Tab. 4: Porovnání nákladů na provoz jednotlivých vozidel..... | 35 |

1 Úvod

Automobil lze považovat za jeden z největších vynálezů 20. a 21. století a výraznou mírou ovlivnil způsob, jakým se dnes lidé přepravují. Za posledních 100 let prošlo toto odvětví velkým vývojem, lidé jsou dnes pomocí automobilů schopni překonávat dlouhé vzdálenosti za poměrně krátký čas, než tomu bylo před jejich vznikem. Automobilová doprava dnes představuje výrazný podíl života v moderní společnosti a je využívána pro přepravu lidí, zvířat a dalších nezbytných prostředků pro spokojený život. Společnost si dnes pravděpodobně život bez automobilů potažmo automobilů se spalovacím motorem nedokáže představit, s jejich používáním však výrazně rostou i negativní důsledky. K těm můžeme zařadit především produkci oxidu uhličitého a s tím související spotřebu fosilních paliv. Neméně důležitým problémem je i produkce škodlivých emisí. Míra závažnosti tohoto problému se však snižuje díky výraznějšímu zdokonalování konvenčních spalovacích motorů a jejich prostředků upravující výfukové plyny. To však daný problém kompletně neřeší. Proto je nutné hledat vhodné alternativy pro nahrazení, případně doplnění ke konvenčním spalovacím motorům. (Hromádko, 2012, s. 11)

Za vhodné alternativy ke klasickému konvenčnímu spalovacímu motoru lze považovat všechny koncepce, které se odlišují použitou technologií. K těm můžeme zařadit především vozidla s elektrickým nebo hybridním pohonem. Hlavními důvody pro vývoj elektromobility jsou snížení emisí znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší, snížení emisí skleníkových plynů a snížení závislosti na využití fosilních paliv (Zvěřinová et al., 2019). Obsahem práce bude seznámení se s jednotlivými koncepcemi elektrických a hybridních pohonů. Dále se bude práce zaměřovat na problematiku jednotlivých prvků těchto pohonů jako jsou elektromotory, baterie a jejich nabíjení. Cílem praktické části je zhodnotit energetickou náročnost konkrétních elektromobilů včetně testu v reálných podmínkách. Následně budou výsledky porovnány s automobilem se spalovacím motorem včetně výpočtu nákladů. V závěru práce je cílem zhodnotit vliv vzrůstajícího počtu elektromobilů na přenosovou soustavu.

2 Cíl práce a metodika

V následující části budou probrány konkrétní cíle bakalářské práce, její metodika a stručný popis způsobu vypracování rešerše

2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zhodnocení energetické náročnosti provozu elektromobilu ve srovnání s automobilem se spalovacím motorem, případně s hybridním pohonem; zároveň se od autora očekává komplexní zhodnocení provozování elektromobilu na základě vlastních zkušeností. Práce dále bude analyzovat aktuální i výhledový vliv elektromobility na zatížení elektrické přenosové soustavy.

2.2 Metodika práce

Na základě literární rešerše byla vybrána literatura jejíž předmětem je vývoj a technické prostředky pohonů osobních automobilů, se zaměřením na plně elektrická a hybridní vozidla. Při výběru adekvátní literatury byl brán v potaz její rok vydání a zjištěné informace. Byl brán důraz i na aktuálnost použité literatury vzhledem k rychlému vývoji technologií daného tématu. V praktické části bylo provedeno porovnání energetické náročnosti provozu vybraného elektrického vozidla výpočtem a v reálných podmínkách. K porovnání náročnosti provozu elektrického vozidla bylo využito reálných zkušeností a poznatků přímo od uživatele elektromobilu. Výsledky byly následně porovnány s vozidly stejných parametrů. Na závěr byl diskutován možný vliv vzrůstajícího podílu elektrických vozidel na zatížení elektrické přenosové soustavy.

3 Vozidla na elektrický pohon

3.1 Historický vývoj elektrických vozidel

První malý elektromobil byl navržen již v roce 1835 v Holandsku, což je ještě dříve, než byl vynalezen první automobil se spalovacím motorem. Dalším milníkem byl první elektromobil, který překonal rychlost 100 km/h. Stalo se tak v roce 1899 s vozidlem Torpédo KID. V roce 1902 navíc překonal svůj rekord a dosáhl rychlosti téměř 170 km/h. V této době už byla používána také vozidla se spalovacím motorem, oproti elektromobilům však byla hlučná a méně spolehlivá. (Hromádko, 2012, s. 47)

I na našem území probíhaly první pokusy o postavení elektromobilu. Zasloužil se o to Ing. František Křížík, který v roce 1895 sestavil svůj první elektromobil. Byl poháněn stejnosměrným elektromotorem a disponoval výkonem 3,6 kW. Jeho druhý postavený elektromobil měl elektromotory přímo na zadních kolech a každý z nich měl výkon 2,2 kW. Tento český vynálezce však nezůstal pouze u dvou elektromobilů, a proto sestavil dokonce i třetí vozidlo, které mělo hybridní pohon. (Hromádko, 2012, s. 47)

S vývojem elektromobilů však nezůstal pozadu ani druhý konec zeměkoule. Jako příklad lze uvést USA, kde v roce 1900 jezdilo více elektromobilů než vozidel se spalovacím motorem. Elektromobily zde dosahovaly velké obliby hlavně díky jednoduchému ovládní a absenci fyzicky náročného startování klikou. Velký přelom se však stal, když automobilka Ford představila automobil model T se spalovacím motorem. Ten disponoval zážehovým motorem a brzy začal být velmi populární pro svou jednoduchost a spolehlivost. Výhody spalovacích motorů v té době zahrnovali delší dojezd, snadnější doplňování paliva a rychlejší tankování, a proto byly elektromobily vytlačeny z vývoje a výroby. Velký vliv na to měl i rychlý rozvoj ropného průmyslu, levná výroba benzínu a technologické inovace v oblasti spalovacích motorů. Velký přelom ve vývoji elektromobilů nastal až ve 21. století, kdy se začali stupňovat obavy o rostoucí emise skleníkových plynů a zvýšila se snaha o snížení závislosti na fosilních palivech. Velký přínos měly i nové technologické inovace v oblasti akumulátorů, které umožnily výrazně zvýšit dojezd elektromobilů. Celkově lze říct, že několik faktorů, včetně technologických inovací, environmentálních hledisek a podpory, ze strany vlád a automobilového průmyslu, vede k nárůstu popularity elektromobilů ve 21. století, i když jejich historie sahá do dávné minulosti. (Hromádko, 2012, s. 47)

3.2 Elektromotor

Při vývoji a následné konstrukci elektromotorů lze použít řadu tradičních principů, které jsou využitelné pro trakční pohony. Elektromotory trakčního typu určuje především hodnota točivého momentu a výkonu. Na elektromotory pro pohon elektromobilů jsou kladeny vysoké nároky, jsou jimi spolehlivost a dostatečný výkon v širokém spektru otáček. Nelze opomenout i kompaktní rozměry, nízkou hladinu hluku, vysokou účinnost při malé hmotnosti, krátkodobou přetížitelnost a nízké provozní a pořizovací náklady. (Hromádko, 2012, s. 48)

3.2.1 Stejnosměrný motor

Elektrický pohon se stejnosměrným motorem prokazuje výrazné výhody v tahové charakteristice, snadné regulaci otáček v širokém rozsahu a kontinuálnímu přechodu z jízdy na brzdění. Tento motor je možné využívat v elektrických vozidlech, kde může být přímo napájen z akumulátoru vozidla. Magnetický tok vzniká buzením vinutí ve statoru a proud prochází vinutím otáčejícího se rotoru přes kartáče a komutátor, který periodicky mění proud do cívky kotvy. To umožňuje rotaci kotvy ve vnějším magnetickém poli a vytváří neustále působící točivý moment ve směru rotace. Podle spojení kotvy a budícího vinutí dělíme stejnosměrné motory na sériové a paralelní. Sériový elektromotor má velký točivý moment při nízkých otáčkách, ten však velmi rychle klesá v otáčkách vyšších. Díky tomuto jevu se sériový elektromotor využívá u trakčních vozidel jako jsou vlaky, metra nebo tramvaje. U paralelního elektromotoru klesá točivý moment výrazně pomaleji v souladu s otáčkami motoru. Díky tomu je vhodný pro použití u elektromobilů. V praxi se ještě můžeme setkat s kompaundním elektromotorem, který má sériově-paralelní zapojení budícího vinutí. Tento způsob kombinuje výhody obou výše popsaných typů zapojení. (Hromádko, 2012, s. 48)

Pro řízení všech předchozích typů elektromotorů se využívá elektronická regulace napájení vinutí motoru prostřednictvím křemíkových tyristorů s pravouhlým průběhem napětí. Střední hodnota proudu se nastavuje úpravou frekvence a amplitudy. Pro brzdění stejnosměrného motoru se využívá zvýšení buzení pole. Při brzdění stoupá napětí motoru nad napětí akumulátoru a tím je umožněno dodávat energii zpět do akumulátoru.

Maximální otáčky stejnosměrných motorů jsou omezeny na cca 7 000 otáček za minutu. Pro pohon je proto nezbytné využít vícestupňovou převodovku. Zásadními nevýhodami stejnosměrných motorů je nižší účinnost v porovnání s ostatními typy motorů, velké rozměry, nízká spolehlivost, potřeba časté údržby a omezená rychlost kvůli tření mezi kartáči a komutátorem. (Hromádko, 2012, s. 48; Osmanbasic, 2020)

3.2.2 Bezkartáčový stejnosměrný motor s permanentním magnetem

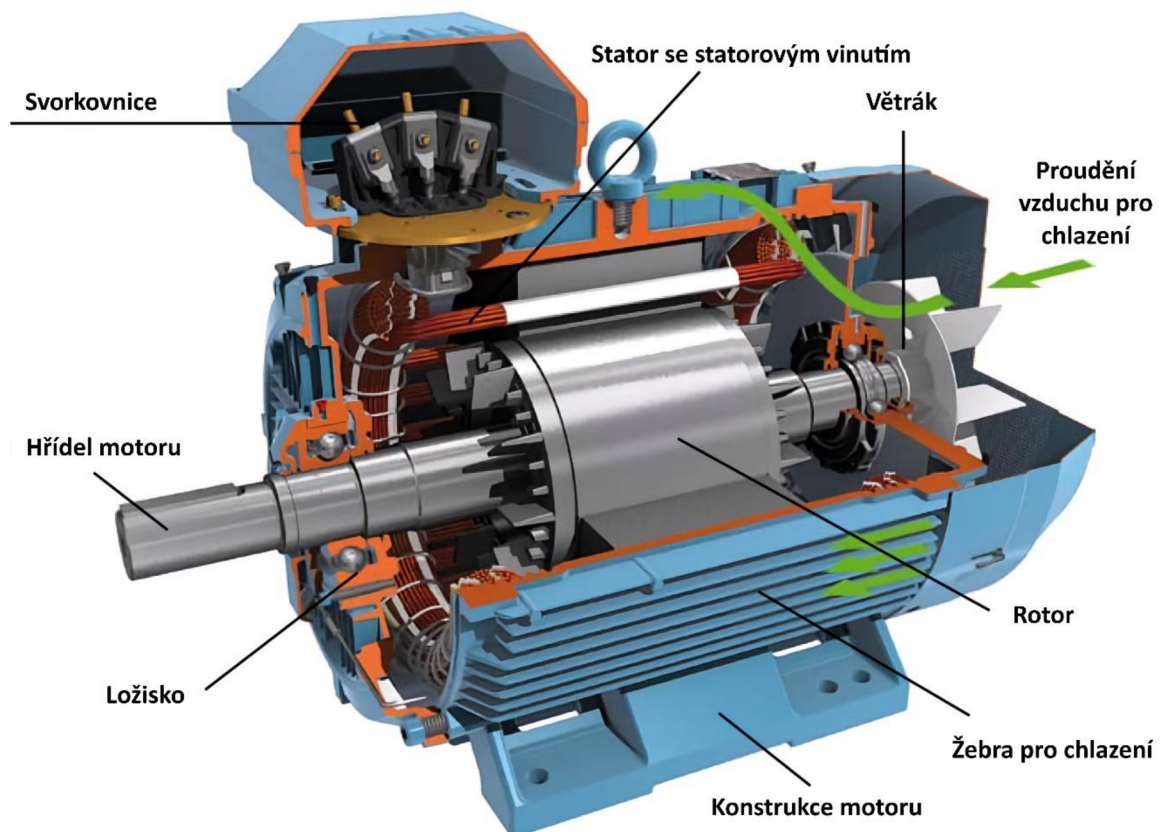
Výše popsané nevýhody spojené s nízkou spolehlivostí stejnosměrných motorů lze částečně vyřešit použitím bezkartáčového stejnosměrného motoru s permanentním magnetem. Tyto motory mají místo vinutí rotoru permanentní magnety, což zlepšuje jejich účinnost v porovnání například s indukčními motory, jelikož eliminují ztráty rotoru. Tyto motory mají omezenou oblast provozu s konstantním výkonem, protože pole permanentních magnetů je oslabeno polem statoru. S ohledem na potřeby elektromobilů, které vyžadují rozsah konstantního výkonu, lze tuto oblast rozšířit pomocí řízení úhlu vedení rotoru, což umožňuje dosažení trojnásobku až čtyřnásobku základní rychlosti. Nevýhodou však je, že magnety jsou citlivé na vysoké teploty, které snižují hustotu zbytkového toku, a to způsobuje i snížení momentu motoru. Výroba permanentních magnetů je také velmi nákladná. Uvnitř motoru jsou zvýšené odstředivé síly v důsledku vyšší rychlosti otáčení a ty mohou potenciálně způsobit i rozlomení magnetů. (Hromádko, 2012, s. 51; Osmanbasic, 2020)

3.2.3 Asynchronní motor

Asynchronní střídavé motory také označované jako indukční motory jsou v pohonech elektromobilů zastoupeny velmi často. Velká výhoda třífázového asynchronního motoru spočívá v jednoduché konstrukci, díky které motor nemá vinutí kotvy a kolektor. Podobně jako u stejnosměrných motorů je magnetický tok přiváděn do statoru pomocí budícího vinutí. Cílem je vytvořit točivé magnetické pole, které je vytvořeno pomocí proměnné amplitudy napětí a frekvence. Vzhledem k tomu, že proud, který vstupuje do motoru z akumulátoru je stejnosměrný, musí být přeměněn na proud střídavý, toho se docílí pomocí měniče. Pro správnou funkci je nezbytné zajistit skluz motoru, to znamená, že rychlost otáčení rotoru musí být nižší než rychlost otáčení točivého magnetického pole. Pro pohon elektromobilů je použití tohoto motoru velice výhodné, hlavně díky jeho jednoduché konstrukci, spolehlivosti a nízké hmotnosti. Oproti stejnosměrnému motoru je schopen

dosahovat až 20 000 otáček za minutu, díky tomu je silně přetížitelný. Důležitá je i absence časté údržby motoru, to přispívá k nízkým provozním nákladům. Velmi důležitou bezpečnostní výhodou je přirozené odbuzení motoru při poruše měniče, což je u elektromobilů žádoucí a nedochází tak k poškození motoru. Při brzdění je možné vracet energii zpět do akumulátoru s vysokou účinností. Nevýhodou tohoto motoru je nižší účinnost ve srovnání s motorem s permanentním magnetem, to je způsobeno především díky vysokým ztrátám v rotoru motoru. Poměrně složité je i jeho řízení, které vyžaduje invertorový obvod. Asynchronní motor je zobrazen na Obr. 1. (Hromádka, 2012, s. 49-50; Osmanbasic, 2020)

Obr. 1: Asynchronní motor



Zdroj: (Valeo, 2023)

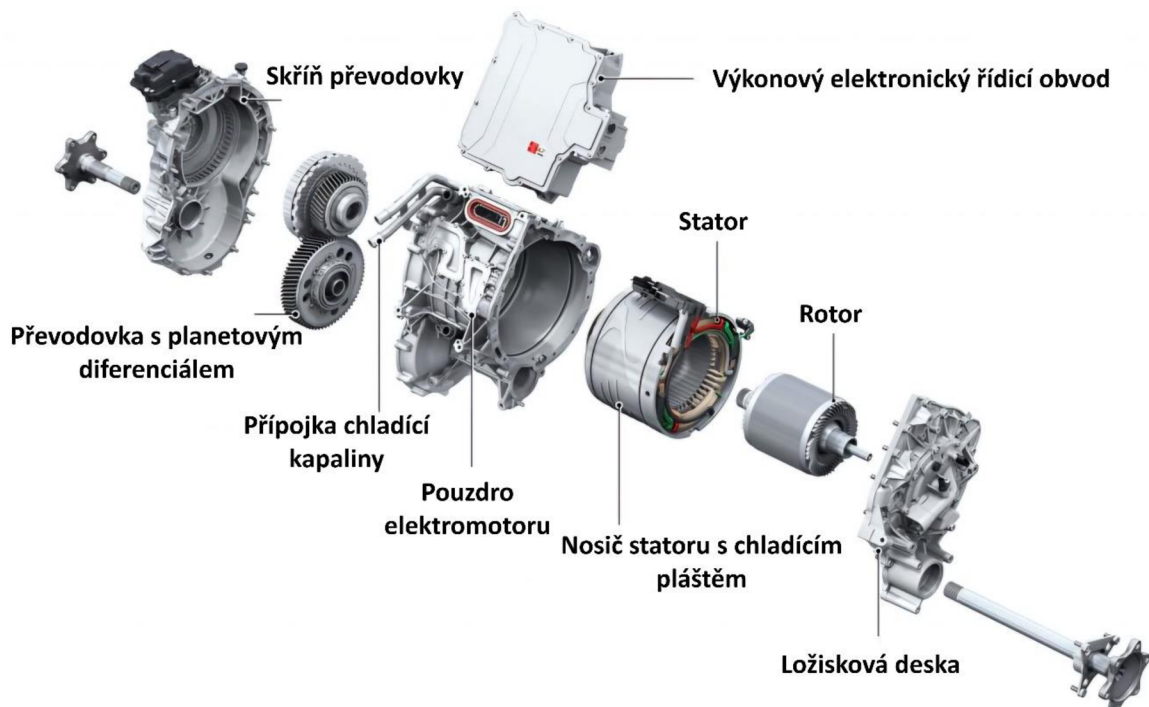
Indukční motory využívala ve svých vozech například automobilka Tesla, konkrétně lze uvést velmi úspěšně prodávaný elektromobil Tesla Model S, dnes se však využívá spíše synchronní motor. Asynchronní motor je v elektromobilech schopný dosahovat velmi vysokou výkonnost v porovnání s ostatními typy motorů, a proto je preferovaný pro vozy, které mají vysoký výkon až několik stovek kW. Střídavé motory mají oproti stejnosměrným

motorům v elektromobilech častější využití. Optimálním nastavením střídavého motoru je možné efektivně využívat energii při brzdění a dodávat ji zpět do akumulátoru. Tuto funkci umožňuje i motor stejnosměrný, ale u něj je to nákladnější a složitější. Díky příznivému točivému momentu jsou střídavé elektromotory schopné zajistit delší životnost převodovky a zamezit tak problémům s komponenty, které točivý moment přenášejí na kola. Výhodou je i snadná reverzace pohybu, postačuje k tomu prochození sledu fázi, u stejnosměrných motorů je reverzace složitější. (Tharad, 2023a)

3.2.4 Synchronní motor s permanentním magnetem (PMSM)

Tento motor je také někdy označován zkratkou PMSM z anglického názvu. Synchronní motor, jak už název napovídá, se otáčí synchronně s točivým magnetickým polem. Pokud dojde k jakékoliv odchylce od synchronního chodu, může se motor a jeho části poškodit. Stator je napájen třífázovým střídavým napětím, oproti tomu rotor je napájen stejnosměrným napětím. Po přivedení střídavého napětí na stator motoru se vytvoří točivé magnetické pole. Následně permanentní magnet generuje konstantní magnetické pole, které je synchronizováno s rotačním magnetem statoru. Synchronní motory jsou podobné jako bezkartáčové stejnosměrné motory, jsou však napájeny střídavým napětím pro snížení zvlnění točivého momentu, což má za následek i snížení hluku během provozu. Tento motor vykazuje velkou účinnost, vysoký rozběhový moment a je schopný dosahovat vyšších výkonů než indukční motory stejných parametrů. Oproti stejnosměrným motorům s permanentními magnety je dražší, avšak pro své výhodné vlastnosti ho používá mnoho výrobců automobilů ve svých elektrických a hybridních vozech. Synchronní motory jsou také vhodné pro vyšší výkony, a proto představují silnou konkurenci indukčním motorům. Tento motor používají přední výrobci elektromobilů, jakými jsou například Toyota, Ford, Nissan nebo BMW. V současnosti se jedná o nejpoužívanější typ motoru v elektromobilech. Soustava synchronního motoru s permanentním magnetem je zobrazena na Obr. 2 a pochází z elektromobilu společnosti Audi. (Tharad, 2023a)

Obr. 2: Synchronní motor s permanentním magnetem



Zdroj: (Babu, 2022)

3.2.5 Spínaný reluktanční motor

Spínané reluktanční střídavé motory nepotřebují na svém rotoru žádné budící vinutí. Odpadá tak využití permanentních magnetů, které je u ostatních motorů velmi nákladné. Na rotoru je jednoduché ocelové jádro s vyčnívajícími póly a neobsahuje žádné elektrické vinutí. Díky absenci vinutí na rotoru jsou ztráty minimální a reluktanční motor je tak účinnější než motor indukční. (Tharad, 2023a)

Princip fungování spočívá v magnetické reluktanci, kde si magnetický tok ze statoru volí cestu s minimální magnetickou reluktancí. V důsledku toho se v rotorech vytvářejí póly, které se zablokují společně s točivým magnetickým polem statoru. Kvůli setrvačnosti rotoru a hysterezi se však spínaný reluktanční motor sám nerozběhne. K rozběhnutí motoru se používá speciální elektronický obvod, který nejprve motor spustí asynchronně. Následně motor běží synchronně, což umožňuje jeho využití v elektromobilech pro dosažení vysokých rychlostí. Robustní konstrukce poskytuje motoru zvládat vysoké výkony. Velkou výhodou těchto motorů je jejich chlazení, protože většina produkovaného tepla pochází ze statoru.

Jsou schopné dosahovat vysokého točivého momentu při nízkých otáčkách, mají nízké náklady na údržbu a jsou vysoko přetížitelné. Spínané reluktanční motory však mají i své nevýhody, tou zásadní je potřeba složitých obvodů pro řízení motoru. Motor je i poměrně hlučný. (Hromádko, 2012, s. 50-51; Tharad, 2023a)

3.3 Porovnání elektromotorů

Dle výše popsaných typů elektromotorů rozpoznáváme dva základní druhy, střídavé motory a stejnosměrné motory. Elektromobily dnes používají převážně motory střídavé, které mají klíčové výhody oproti motorům stejnosměrným. Střídavý motor je schopný efektivně absorbovat energii při brzdění a vracet ji zpět do akumulátoru. Stejnosměrné motory také umožňují absorpci energie při brzdění, ale u nich je to konstrukčně složitější a nákladnější. Střídavé motory mají lepší průběh točivého momentu v daných otáčkách, který dopomáhá prodloužit životnost převodovky. Poměrně snadná je u nich i reverzace pohybu, kdy postačuje prohodit pouze dvě fáze. Střídavé motory jsou tak nezastupitelnými částmi v pohonu elektromobilu (Tharad, 2023a). V Tab. 1 lze vidět porovnání jednotlivých koncepcí elektromotorů. Kritéria jako hmotnost, spolehlivost a cena jsou hodnoceny číslem 1 až 10, přičemž nejlepší splnění dané vlastnosti má číslo 10.

Tab. 1: Porovnání parametrů jednotlivých elektromotorů

| Motor | Hmotnost [1-10] | Spolehlivost [1-10] | Cena [1-10] | Účinnost při min. zatížení [%] | Účinnost při max. zatížení [%] |
|--------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Stejnosměrný | 6 | 7 | 10 | 80-85 | 85-90 |
| Bezkartáčový | 10 | 10 | 8 | 70-80 | >95 |
| Asynchronní | 6 | 9 | 8 | >90 | >90 |
| Synchronní | 7 | 9 | 8 | 80-85 | >92 |
| Reluktanční | 7 | 9 | 9 | >90 | <95 |

Zdroj: Vlastní zpracování dle (Hromádko, 2012, s. 52; Tharad, 2023a)

4 Koncepce pohonu elektrických vozidel

4.1 Hybridní elektrická vozidla (HEV)

Hybridní elektrická vozidla (HEV) představují vozidla, která využívají kombinaci dvou pohonů, spalovacího motoru a elektromotoru. Tyto systémy mohou pracovat buď současně nebo nezávisle na sobě. Elektromotor má také funkci elektrického generátoru, který může generovat energii během brzdění a vracet ji zpět do akumulátoru vozidla. Jedná se tedy o vozidlo, které může být poháněno konvenčním spalovacím motorem nebo elektromotorem. Akumulátor vozidla může být napájen buď přímo spalovacím motorem, elektromotorem (generátorem) nebo externím zdrojem elektřiny. Ve třetím případě se jedná o Plug-in hybridní elektrické vozidlo (PHEV), které lze nabít pomocí kabelu nabíjecího stanovu pro elektrická vozidla nebo z klasické zásuvky a příslušného konektoru. Ve srovnání s konvenčním vozidlem se spalovacím motorem obsahuje HEV a PHEV více elektronických součástí, jako jsou měniče, spínací systémy, akumulátory a elektromotory. (C.S. Ioakimidis et al., 2023)

Aktuální účinnost spalovacích motorů se pohybuje přibližně mezi 30 až 40 %. Zážehové motory mají spíše nižší účinnost, zatímco vznětové motory jsou mírně efektivnější. Tento rozsah hodnot je ovlivněn především účinností termodynamického cyklu, který podléhá jasným fyzikálním omezením. Očekávání výrazného zlepšení účinnosti spalovacích motorů je proto v budoucnosti minimální. Dále je třeba si uvědomit, že v běžném městském provozu je účinnost spalovacího motoru nižší než 10 %, při stojícím vozidle je pak účinnost dokonce nulová. U hybridních elektrických vozidel je proto účinnost spalovacího motoru optimalizována využitím elektřiny z baterií. (Hromádko, 2012, s. 65)

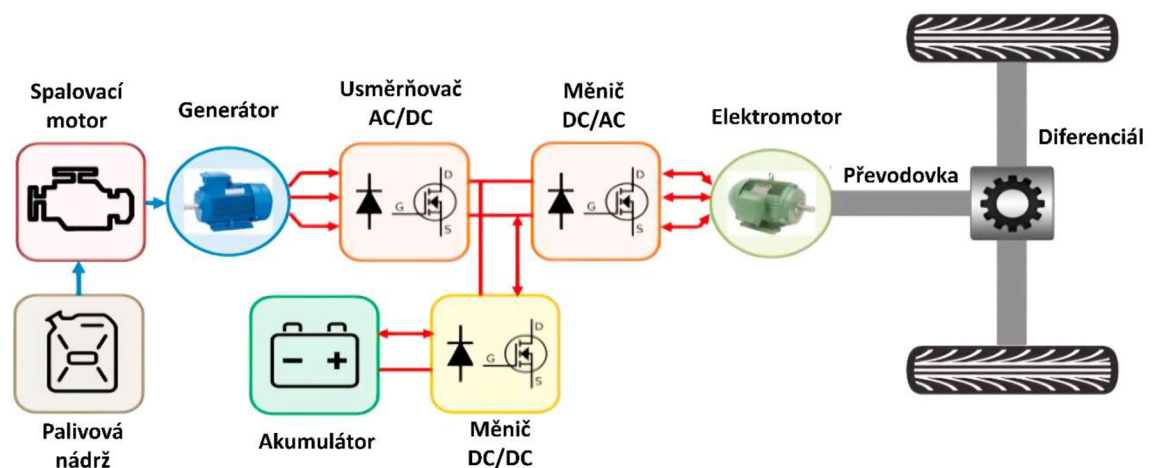
4.1.1 Sériové uspořádání

Princip sériového hybridního pohonu spočívá v tom, že vozidlo je poháněno pouze elektromotorem. Zdrojem energie pro tento elektromotor je spalovací motor, který pohání generátor. Elektrický proud vytvořený generátorem následně napájí elektromotory nebo dobíjí akumulátory. Jednotlivé pohonné komponenty jsou uspořádány za sebou viz Obr. 3, proto tato koncepce nese název „sériová“. Spalovací motor může být optimalizován pro velmi omezený rozsah otáček, včetně provozu při konstantních nebo nízkých otáčkách. Tím

je eliminována neefektivita spojená s provozem při volnoběhu nebo při nízkém zatížení. Akumulátor v sériovém hybridním vozidle je výrazně menší ve srovnání s čistě elektrickým vozidlem. V případě, že akumulátor nedokáže pokrýt aktuální spotřebu, automaticky se spustí spalovací motor a napájí elektromotory. Navzdory výhodám sériového uspořádání existuje nevýhoda spočívající v opakované transformaci energie. Účinnost tohoto typu pohonu se pohybuje okolo 55 %. (Hromádka, 2012, s. 65-66)

Velmi často je v tomto typu pohonu využíván brzdový systém, kdy rekuperační systém dobíjí akumulátor vozidla, to je výhodné především v hustém městském provozu, kde vozidlo neustále zastavuje a popojíždí. Kinetická energie, která by se jinak ztratila ve formě tepla v kotoučích brzd je tak využita na výrobu elektřiny (C.S. Ioakimidis et al., 2023). Příkladem sériového hybridu je elektromobil BMW i3 REX, který používá spalovací motor o objemu 647 cm³ k nabíjení baterie. (Maclean, nedatováno)

Obr. 3: Sériové uspořádání hybridního pohonu



Zdroj: (Tran et al., 2020)

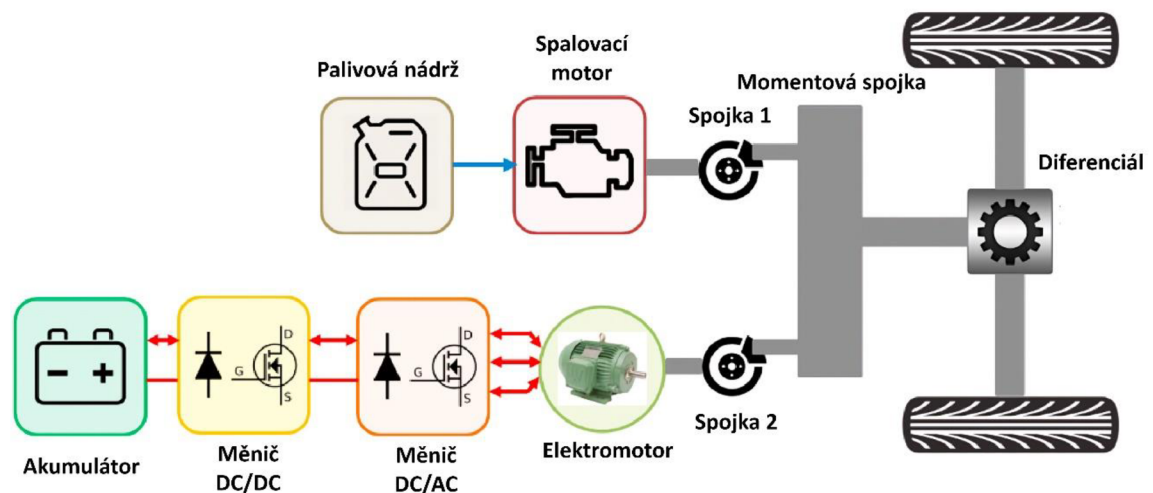
4.1.2 Paralelní uspořádání

V současné době převažuje paralelní uspořádání u většiny hybridních vozidel. Tento koncept zahrnuje kombinaci spalovacího motoru a elektromotoru, které jsou propojeny s koly prostřednictvím mechanické převodovky. Často se můžeme setkat s uspořádáním, kde je elektromotor (generátor) umístěn mezi spalovacím motorem a převodovkou. V tomto případě je generátor využit jako startér a alternátor. Elektrickou energii pro akumulaci poskytuje baterie s výrazně vyšším napětím než běžné 12 V baterie pro automobily. S cílem zvýšit účinnost spalovacího motoru bývají některé spotřebiče jako jsou posilovač řízení či

klimatizace poháněny elektromotorem, což zajišťuje nezávislost na otáčkách motoru. Díky tomu se minimalizuje spotřeba energie. (Hromádko, 2012, s. 66)

V tomto uspořádání jsou spalovací motor a elektromotor spojeny hřídelem a jejich výsledný moment je dán součtem jejich okamžitých momentů. V případě, kdy je využíván pouze jeden motor, druhý motor je odpojen. Elektromotor i spalovací motor tak mohou pohánět kola nezávisle na sobě. V automobilech se běžně uplatňuje spojení přes planetovou převodovku. Typickým provozním režimem paralelního hybridu je, že většinu výkonu poskytuje spalovací motor a elektromotor se aktivuje při akceleraci a při rozjezdech nebo zrychleních při předjíždění. Tato konfigurace umožňuje rovněž rekuperaci energie. Paralelní uspořádání je možné vidět na Obr. 4 (Hromádko, 2012, s. 66). Příkladem paralelního hybridu je Honda Accord. (Maclean, nedatováno)

Obr. 4: Paralelní uspořádání hybridního pohonu



Zdroj: (Maclean, nedatováno)

4.1.3 Sériově paralelní uspořádání

Sériově paralelní uspořádání hybridního pohonu kombinuje výhody sériových a paralelních uspořádání. Tato technologie umožňuje snížit velikost akumulátoru a elektromotoru ve srovnání se sériovým uspořádáním. Ve srovnání s paralelním uspořádáním je zase možné zmenšit velikost spalovacího motoru. Díky tomu, že sériově hybridní uspořádání je účinnější při nižších rychlostech a paralelní při rychlostech vyšších, je tato kombinace velmi výhodná. Má to však svou daň v podobě náročnější konstrukce a pohonné ústrojí vyžaduje dva elektromotory, přičemž jeden z nich funguje pouze jako

generátor. S takto složitým systémem se pojí i jeho vyšší cena při jeho vývoji (Tran et al., 2020). Příkladem sériově-paralelního hybridu je Toyota Prius, Toyota Camry a Corolla Hybrid nebo první generace Hyundai Ioniq. (Maclean, nedatováno)

4.2 Plug-in hybridní elektrická vozidla (PHEV)

Plug-in hybridní elektrické vozidlo má v podstatě stejnou konstrukci jako HEV s tím rozdílem, že akumulátor této koncepce lze dobíjet externě z elektrické sítě. Akumulátor má díky tomu větší kapacitu a vozidlo je schopno ujet delší vzdálenost na čistě elektrický pohon. Oproti tomu hybridní elektrická vozidla mají kapacitu baterie omezenou, a proto využívají režim k udržení nabíjení, který slouží k nabíjení nebo vybíjení baterie s omezeným počtem cyklů. Plug-in hybridní elektrické vozidlo funguje ve dvou odlišných režimech odvíjející se od stavu nabití akumulátoru. Při dosažení 100% nabití akumulátoru pracuje vozidlo v režimu vybíjení. Ve chvíli, kdy se dosáhne limitu kapacity akumulátoru, automaticky se přechází do režimu udržování nabíjení. V tomto režimu využívá vozidlo energii z rekuperačního brzdění a spalovacího motoru. Tento přechod mezi režimy je navržen tak, aby optimalizoval využití baterie a zajišťoval efektivní provoz vozidla (Tran et al., 2020). V čistě elektrickém režimu dokáže Plug-in hybrid ujet vzdálenost od 30 do 80 km. Příkladem těchto vozidel jsou například BMW 530e nebo Porsche Cayenne e-Hybrid. (Maclean, nedatováno)

4.3 Mild a Micro hybridní elektrická vozidla (MHEV)

Setkat se můžeme s označením Mild-hybrid (MHEV) a jedná se o vozidla, která kombinují spalovací motor a elektromotor. Využívána je 48 V architektura, která umožňuje využívat energii z rekuperace vozidla a následně ji použít k akceleraci. Toto řešení přináší reálné snížení spotřeby paliva a emisí. S tímto systémem se dnes můžeme velmi často setkat u nových aut, automobilky tak tento stupeň hybridizace využívají ke snížení emisí a udržení výroby spalovacích motorů. Lze narazit i na pojem Micro hybridní vozidla, což jsou vozidla, která využívají kombinaci tradičních spalovacích motorů a elektrických technologií. Ve vozech jsou využívány pokročilé start-stop systémy a řídicí jednotka neustále vyhodnocuje teplotu motoru, tlak v pneumatikách nebo nabití baterie pro co nejoptimálnější spotřebu. Tyto vozidla se obvykle nazývají „micro“ protože mají menší elektrický systém než plnohodnotná hybridní vozidla. (Wagenknecht, 2018)

4.4 Elektrická vozidla s palivovými články (FCEV)

Elektrická vozidla s palivovými články získali své jméno díky palivovým článkům, které využívají chemické reakce k výrobě elektřiny. Jako palivo pro výrobu elektřiny se zde používá vodík, proto se těmto vozidlům někdy přezdívá „vozidla s vodíkovými palivovými články“. Vodík je uložen ve speciálních vysokotlakých nádržích a k provádění reakce je zapotřebí i kyslík, ten se odebírá z okolního prostředí. Elektrická energie vyprodukovaná palivovými články pohání elektromotor a ten následně pohání kola vozidla. Přebytečná energie je ukládá do baterií nebo do superkondenzátorů. Komerčně dostupná vozidla s palivovými články jsou například Toyota Mirai nebo Honda Clarity. Hlavní výhodou těchto vozidel je schopnost vyrábět vlastní elektřinu bez emisí uhlíku, což umožňuje výrazné snížení uhlíkové stopy ve srovnání s jinými elektrickými vozidly. Jako vedlejší produkt výroby elektrické energie je voda, která je vypouštěna ven přes koncovky výfuku. Klíčovou výhodou je rychlost tankování vodíku, která je srovnatelná s rychlostí dobíjení konvenčních vozidel se spalovacím motorem u čerpací stanice. Tento fakt může zvýšit pravděpodobnost přijetí těchto vozidel v blízké budoucnosti. I přes tyto výhody však existují některé překážky, které brání v rozšíření této technologie. Nedostatek vodíkových čerpacích stanic je jednou z nich, je však nutné brát v potaz, že takovýto problém měly i nabíjecí stanice pro elektrická vozidla a dnes je jejich počet zatím dostatečný. Další nevýhodou je poměrně vysoká cena za palivové články, navíc jsou zde i obavy o bezpečnost při úniku vodíku z nádrže. Cena vodíku je navíc stále vysoká z důvodu stále neexistujícího levného, udržitelného a ekologického způsobu výroby vodíku. (Un-Noor et al., 2017)

4.5 Elektrická bateriová vozidla (BEV)

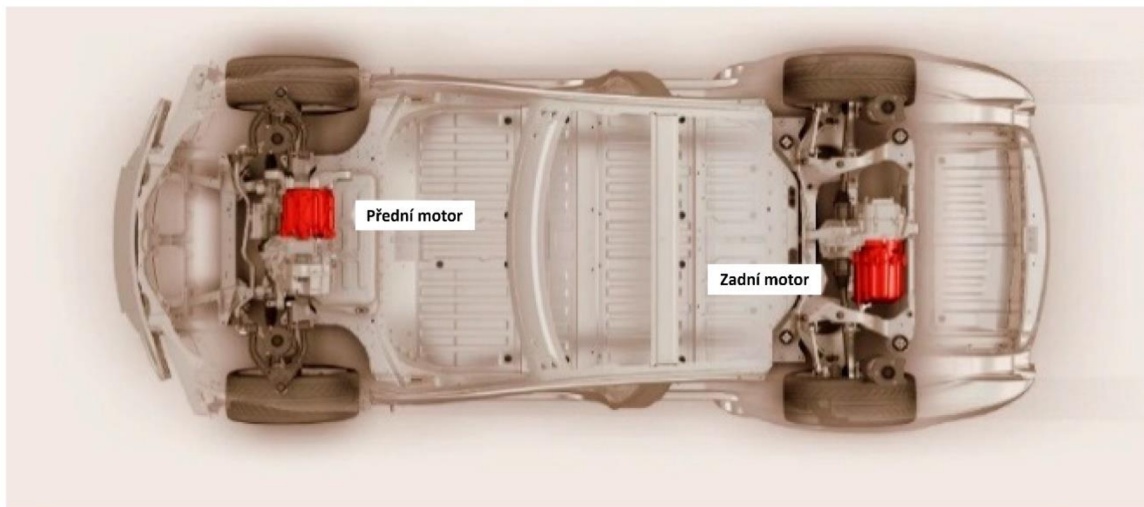
Elektrická bateriová vozidla nebo také elektromobily spoléhají pouze na baterie jako jediný zdroj napájení pro jejich pohon. Jejich dojezd je proto přímo závislý na kapacitě baterie, obvykle se pohybuje od 100 km do 250 km na jedno nabití. Vozidla s vyššími kapacitami baterie jsou schopny dosáhnout dojezdu od 300 km do 500 km. Při optimálních jízdních podmínkách může být dojezd i přes 500 km. Dojezd ovlivňuje především styl jízdy, typ baterie a její stáří, stav vozovky, konfigurace vozidla a klimatické podmínky. Oproti konvenčním vozidlům se spalovacím motorem je u elektromobilů nevýhodou dlouhá doba nabíjení baterie. Úplné dobití baterie může trvat až 36 hodin. To však závisí na podmínkách

jako jsou nabíjecí výkon, teplota baterie, konfigurace nabíječky nebo dobíjecí infrastruktura. Baterie i jejich způsob nabíjení je však ovlivněn velmi rychlým pokrokem, a proto jsou dnes některé elektromobily schopné nabít svou baterie z 30 % na 80 % své kapacity za méně než hodinu. I přesto však žádná z možností dobíjení elektromobilu není srovnatelná s rychlostí doplňování paliva u běžného vozidla se spalovacím motorem. Elektromobily mají své výhody v jednoduché konstrukci a obsluze. Tyto vozidla neprodukují žádné skleníkové emise během jízdy. Pohon má vysoký točivý moment, který je dostupný již od nejnižších otáček. To je ideální vlastností do městského provozu s častým zastavováním a opakovanou akcelerací. (Un-Noor et al., 2017)

Na rozdíl od vozidel s konvenčním spalovacím motorem je platforma elektrického vozidla relativně flexibilní. To je způsobeno absencí složitých mechanických zařízení, která jsou právě pro spalovací motory nezbytná. V elektrických vozidlech jsou tato mechanická zařízení také přítomná, ne však v takové míře. Stále v nich však najdeme převodovku, nápravy kol nebo diferenciál. Jejich podstatnou částí je však elektromotor, který zabírá méně místa než motor spalovací. K provozu elektromotoru je potřeba napájecí zdroj. Umístění těchto dvou klíčových prvků a jejich propojení přes výkonovou elektroniku, měniče a vodiče zajišťuje správnou funkci pohonného ústrojí. Elektromobily mohou být vyrobeny s konfigurací pohonu předních, zadních nebo všech kol. (Un-Noor et al., 2017)

Elektromobily velmi často používají také konfiguraci s pohonem všech kol (AWD), což má však za následek dodatečné náklady, složitost a zvýšenou hmotnost. V této konfiguraci se používají dva motory pro pohon přední a zadní nápravy, které lze vidět na Obr. 5. Pohon všech kol zajišťuje lepší trakci v podmínkách se sníženou adhezí k vozovce. Konfigurace rovněž umožňuje využívání vektorování točivého momentu pro lepší ovladatelnost vozidla v zatáčkách. (Un-Noor et al., 2017)

Obr. 5: Schéma elektromobilu Tesla Model S s pohonem všech kol



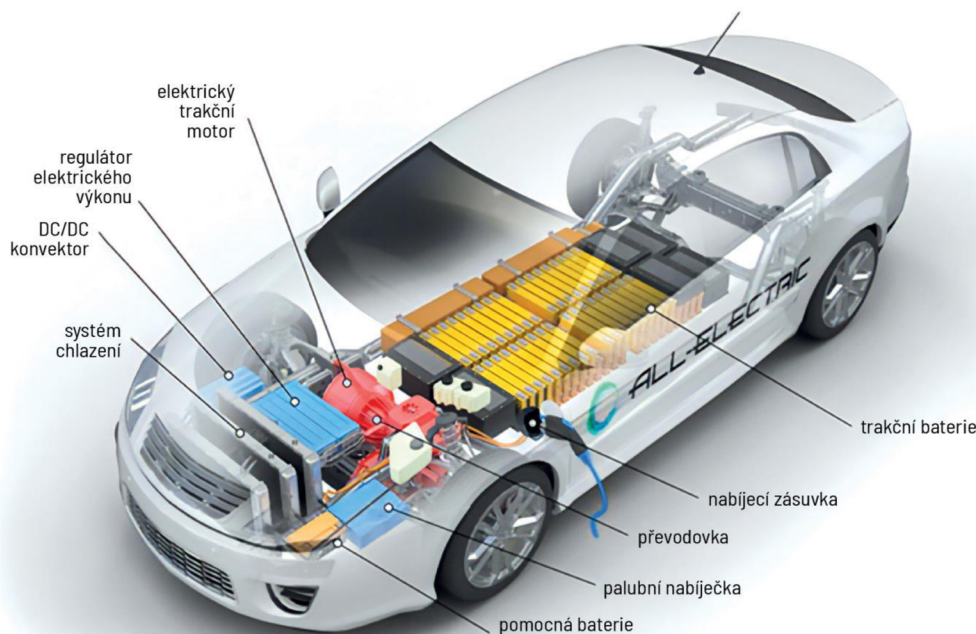
Zdroj: (Un-Noor et al., 2017)

Pohon všech kol může být implementován i pro systémy s motorem umístěným uvnitř kola. Toto uspořádání umožňuje efektivní ovládání všech kol, což přináší snadnou manévrovatelnost s vozidlem. Konfigurace motoru uvnitř kola poskytuje několik výhod, včetně snížení hmotnosti hnacího ústrojí odstraněním centrálního motoru, diferenciálu, hnacího hřídele a dalších částí. Odstraněním těchto částí lze docílit vyšší schopnosti otáčení, zvětšit prostor pro umístění baterií nebo zavazadlový prostor. Je zřejmé, že motor je k napájecímu a řídicímu obvodu připojen pomocí vodičů, které mohou být více náchylné na poškození vlivem vibrací a zrychlení. Z tohoto důvodu byl vyvinut bezdrátový motor, který nahradil koncepci vodičů pomocí dvou cívek, které jsou schopny přenášet energii. Vývoj motoru uvnitř kola a jeho bezdrátové provedení je však teprve v rané fázi vývoje, a proto se v dnešních elektromobilech stále používají elektromotory, které přenášejí točivý moment na kola pomocí hnacího hřídele a diferenciálu a jsou umístěny mezi koly vozidla. Celá architektura elektrického vozidla závisí na uspořádání zdroje energie a komponentů hnacího ústrojí. (Un-Noor et al., 2017)

Detailní schéma systému elektrického pohonu je znázorněno na Obr. 6. Prvním komponentem pohonného ústrojí je trakční baterie, která se skládá z několika článků dle typu baterie a je umístěna do několika bateriových modulů. Tyto baterie mají konstantní stejnosměrné napětí. Dalším prvkem je elektromotor či elektrický trakční motor, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou a uvádí tak vozidlo do pohybu. Jak už bylo zmíněno, elektromotor je schopen využít rekuperační brzdění a vracet energii zpět do

baterie. Součástí baterie je menič DC-AC, který mění stejnosměrný proud z baterie na proud střídavý pro napájení elektromotorů, za předpokladu, že jsou ve vozidle použity střídavé elektromotory.

Obr. 6: Schéma pohonného ústrojí elektrického vozidla



Zdroj: (Dvořák, 2023)

Nepostradatelnou částí je elektronická jednotka ECU. Ta má za úkol řídit velikost napětí a frekvence dodávané do elektromotoru dle vstupních signálu od řidiče vozidla. Mimo již zmíněné hlavní prvky se pohonné ústrojí skládá z několika dalších hardwarových a softwarových komponent. Jako příklad lze uvést již zmíněnou jednotku ECU, v níž je integrovaný softwarový program, který pomáhá s výměnou a zpracováním dat. Celý systém se skládá z několika takovýchto jednotek ECU a každá plní svou specifickou funkci. Nedílnou součástí vozidla je i palubní nabíječka, která mění střídavý proud ze sítě na proud stejnosměrný a reguluje množství energie proudící do baterie. S baterií souvisí i systém správy baterie (anglicky BMS – Battery Management System), který sleduje aktuální stav baterie, zajišťuje řízení nabíjení a sdílí informace o baterii s uživatelem. Z Obr. 6 je možné vidět také konvertor DC-DC, ten zajišťuje přeměnu vysokého napětí z baterie na napětí nízké, kterým jsou napájeny spotřebiče ve vozidle jako jsou klimatizace, osvětlení nebo infotainment. Součástí systému je řídicí modul karoserie (anglicky BCM – Body Control Module), ten má na starosti například zabezpečení vozidla, elektricky ovládaná okna nebo

zrcátka. Pro baterii je během nabíjení a provozu důležité udržovat ideální teplotu. To má na starosti systém tepelného managementu. Baterie elektromobilu produkuje teplo během nabíjení i provozu. Toto teplo může negativně ovlivnit výkon baterie a v extrémních případech i představovat bezpečnostní riziko. Proto je nezbytnou součástí elektromobilů systém tepelného managementu, který zajišťuje optimální teplotu baterie a dalších komponentů a zároveň zvyšuje jejich životnost. (EV Observed, 2021)

5 Bateriové systémy elektrických vozidel

Baterie, tj. akumulátory nebo také galvanické články elektrických vozidel jsou jedním z nejdůležitějších komponent celého elektrického pohonu, a proto je jejich výběr zcela zásadní. Baterie uchovávají energii ve formě chemické energie a v případě potřeby tuto chemickou energii přeměňují na energii elektrickou. Princip fungování baterií a akumulátorů spočívá ve dvou elektrodách vyrobených z odlišných materiálů, ponořených do kapaliny nebo pevné látky zvané elektrolyt, která obsahuje pohyblivé elektricky nabitě částice. Tímto způsobem vzniká vnitřní vodivé spojení mezi oběma elektrodami. Elektrolyt bývá obvykle zředěnou kyselinou, zásadou nebo rozpuštěnou solí. (Hromádko, 2012, s. 52)

Elektrody galvanického článku vykazují rozdílný potenciál vůči elektrolytu. Tento potenciál je dán pozicí elektrody v elektrochemické řadě kovů. Rozdílný potenciál mezi elektrodami vytváří elektrické napětí. Při propojení elektrod vnějším vodičem, dojde k toku elektronů a vzniká tak elektrický proud. V rámci uzavřeného elektrického okruhu bateriového článku se ionty pohybují elektrolytem z elektrody s nižším potenciálem na elektrodu s vyšším potenciálem. První galvanický článek sestrojil Alessandro Volta v roce 1800. Zároveň tak byla stanovena první napěťová řada, což je seznam materiálů nebo prvků uspořádaných podle toho, jak dobře nebo špatně reagují při elektrochemických procesech. Materiály na vrcholu napěťové řady mají tendenci sloužit jako katody (elektrody s vyšším potenciálem), zatímco ty na spodním konci jsou vhodné jako anody (elektrody s nižším potenciálem). Galvanický článek má typicky napětí pohybující se od 1 do 4 V. Pro dosažení vyššího napětí se galvanické články spojují do série. Vzhledem k tomu, že obrácené chemické procesy neprobíhají dokonale, je počet cyklů nabití a vybití baterie omezen. Několikrát zmíněný pojem baterie je většinou spojován s primárními články, v elektrických vozidlech je však tento pojem používán i pro sekundární články. (Hromádko, 2012, s. 52-53)

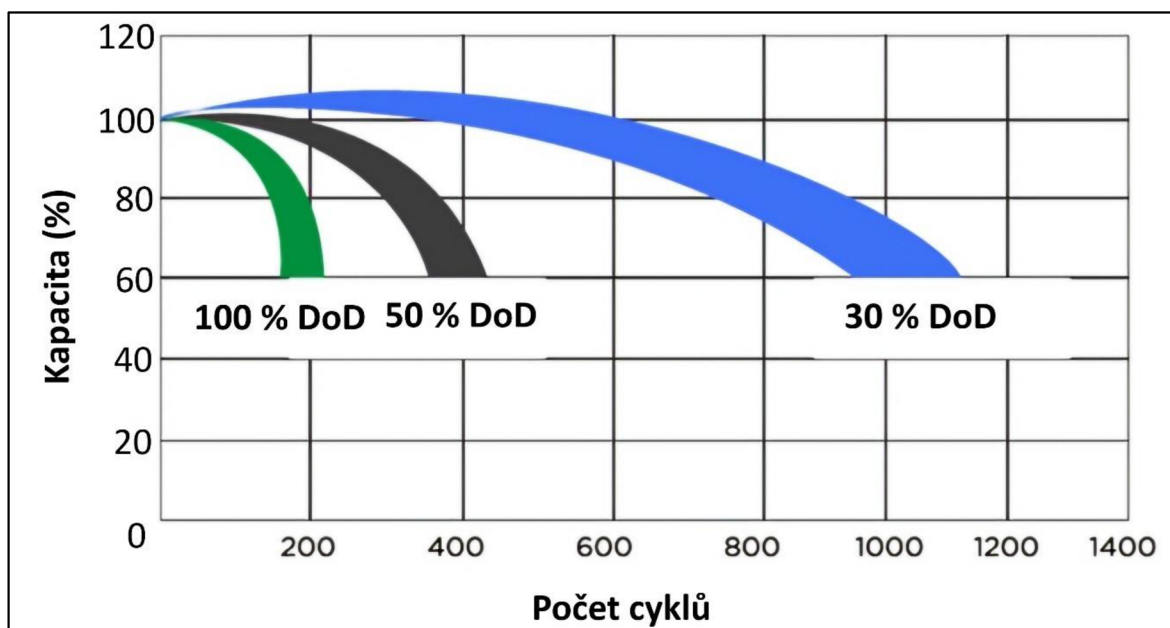
5.1 Základní parametry bateriových systémů

Při vývoji elektrických vozidel je nezbytné, aby konstruktéři vybrali vhodný typ baterie a její ideální parametry. Při výběru jsou podstatné klíčové vlastnosti, jako je kapacita baterie, hloubka vybití, hustota energie, hustota výkonu, živostnost baterie, účinnost a její údržba.

Základní vlastností baterie je její kapacita a hloubka vybití. Kapacita baterie udává množství elektrické energie, kterou může baterie uskladnit a poskytnout. Kapacita baterií v elektrických vozidlech se obvykle měří v kilowatthodinách (kWh). Někdy je také kapacita udávána v ampérhodinách (Ah) a vyjadřuje elektrický proud, který může baterie dodávat po dobu jedné hodiny. Rozdíl těchto dvou veličin spočívá ve způsobu vyjádření a v účelu. Kapacita v Ah se zaměřuje na proudovou schopnost baterie, zatímco kapacita v kWh odráží celkovou energetickou kapacitu. Aktuální průměrná kapacita baterie všech elektrických vozů na trhu je 69,7 kWh, přičemž elektromobil s nejmenší kapacitou má 21,3 kWh a elektromobil s nejvyšší kapacitou má 123 kWh. Vyšší kapacita baterie prodlužuje dojezd elektromobilu. Na druhou stranu mají elektromobily s vyšší kapacitou baterie i vyšší hmotnost, což ovlivňuje jejich dojezd ale i cenu (C.S. Ioakimidis et al., 2023; EV Database, 2024a).

Hloubka vybití, tj. DoD (Depth of Discharge) označuje procento kapacity, které bylo využito z celkové kapacity baterie. Tato hodnota se definuje jako kapacita vybíjená z plně nabitě baterie, vydělená nominální kapacitou baterie. Obvykle se hloubka vybití udává v rozmezí od 20 % do 80 %. Pro některé baterie může být hloubka vybití baterie i o něco vyšší, to však může negativně ovlivnit životnost baterie. S hloubkou vybití baterie souvisí i stav nabití SoC (State of Charge), protože jakmile jeden parametr klesá, druhý vzrůstá. Ve spojitosti s hloubkou vybití se setkáváme i s pojmem životnost cyklů baterií. Ta se měří v počtu cyklů nabití nebo vybití baterie během jejího životního cyklu. Tato hodnota závisí na obvyklém procentuálním využití kapacity baterie. Pravidelné vybíjení s nižším procentuálním vybitím vede ke zvětšení užitečných cyklů než časté vybíjení až na maximální hloubku vybití. Například typický olověný akumulátor poskytuje 200 až 300 cyklů nabití nebo vybití v závislosti na hloubce vybití a provozní teplotě. Na Obr. 7 je znázorněna životnost Li-ion baterie, kde je možné vidět, že s nižší hloubkou vybití baterie je počet cyklů vysoký a kapacita baterie klesá pomaleji. Naopak s větší hloubkou vybití počet cyklů a tím i kapacita baterie výrazně klesá. (Federal Batteries, 2020)

Obr. 7: Životnost Li-ion baterie v závislosti na její hloubce vybití



Zdroj: (Shepard, 2023)

Další důležitou vlastností baterie je hustota energie někdy označovaná také jako gravimetrická energetická hustota. Vyjadřuje množství elektrické energie, která je uložena na jeden kilogram hmotnosti baterie. Je to klíčový parametr při hodnocení baterie, zejména v elektromobilech, kde hmotnost baterie ovlivňuje celkovou hmotnost vozidla a následně i jeho dojezd a efektivitu. Hustota energie se udává ve watthodinách na kilogram hmotnosti baterie (Wh/kg). V praxi to znamená, že čím vyšší je hodnota hustoty energie, tím efektivněji může elektromobil využívat energii uloženou v baterii ve srovnání s hmotností této baterie. Běžné hodnoty hustoty energie v elektromobilech se pohybují od desítek Wh/kg až do cca 250 Wh/kg. Technologický pokrok v oblasti baterií se snaží směřovat ke zvyšování hodnot tohoto parametru a tím docílit snížení hmotnosti baterií (C.S. Ioakimidis et al., 2023). Podobným parametrem je hustota výkonu, která se týká schopnosti baterie poskytnout nebo přijmout energii v daném časovém intervalu. Udává se obvykle ve wattech na jeden kilogram hmotnosti (W/kg). Hustota výkonu je klíčová při rychlém dobíjení a vybíjení baterie, stejně jako při zvládání náročných situací jako je zrychlování nebo brzdění pomocí rekuperace. (Hromádko, 2012, s. 52)

Již zmíněnou životnost baterie ovlivňuje i její údržba, respektive teplota, při které je baterie provozována. V příliš horkém prostředí (nad 30 °C) se baterie může přehřívat, což výrazně zkracuje její životnost. Stejný efekt mají i nízké teploty, které zkracují dojezd

v důsledku zpomalení chemických reakcí v baterii. To vede i k omezení rychlosti nabíjení a snížení účinnosti. Výrobci proto do elektromobilů implementují chladicí a ohřivací systémy, které udržují baterii v optimálních podmínkách. (Federal Batteries, 2020)

Neméně podstatnou vlastností baterie je její účinnost. Ta vyjadřuje schopnost baterie převést uloženou elektrickou energii na energii mechanickou a zpět s co nejmenšími ztrátami. Účinnost se udává v procentech a může být ovlivněna hned několika faktory, teplotou, rychlostí nabíjení nebo vybíjení a celkového stáří baterie. Běžné hodnoty účinností baterií v elektromobilech se pohybují kolem 80 až 95 %. (C.S. Ioakimidis et al., 2023)

5.2 Olověné baterie

Olověné baterie, někdy označované také jako akumulátory s olověnými články, byly dříve velmi široce používány v elektromobilech. Napětí olověného článku se pohybuje okolo 2 V. Olověné baterie mají dvě elektrody. V nabitém stavu je anoda z oxidu olovičitého a katoda z čistého olova. Elektrolyt je tekutina nebo gel, který umožňuje tok iontů mezi elektrodami. V případě olověných baterií je elektrolytem roztok kyseliny sírové. Nevýhodou olověných baterií je jejich vysoká hmotnost a nízká schopnost kumulace energie, cca okolo 35 Wh/kg. Olověné baterie mají také omezenou životnost a jsou náchylné na hluboké vybití. Olověné baterie rovněž nemají tak široký rozsah provozních teplot jako ostatní typy baterií, což může být problém zejména v extrémních teplotních podmínkách. Provozní teplota baterie je od -15 až do $+45$ °C. Při nízkých teplotách však může za předpokladu vybité baterie dojít i k zamrznutí vody v akumulátoru a tím k poškození článků vlivem roztažnosti. (Hromádka, 2012, s. 54)

5.3 Niklové baterie

Niklové baterie se vyrábějí v několika provedení, dvěma základními typy jsou baterie nikl-kadmiové (NiCd) a nikl-metal hydridové (NiMH). Nikl-kadmiové baterie se pro elektromobily dnes nevyužívají. Nikl-metal hydridové baterie se v elektromobilech využívají zejména v hybridních vozech. Princip nabíjení a vybíjení NiMH baterií je založen na elektrochemických reakcích mezi niklovým oxidem na anodě a metal hydridy na katodě. Hustota energie těchto baterií se pohybuje od 55 do 80 Wh/kg. NiMH baterie mají relativně nízký paměťový efekt, takže nemusejí být úplně vybité před každým nabíjením. Napětí

NiMH baterií je 1,3 až 1,4 V. Nevýhody NiMH baterií zahrnují náchylnost k samovybíjení, což znamená, že mohou ztrácet část své kapacity i při nečinnosti. Jsou také citlivější na vysoké teploty a mají omezený počet nabíjecích a vybíjecích cyklů ve srovnání s některými jinými typy baterií. (Hromádko, 2012, s. 54-56; Tharad, 2023b)

5.4 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontová (Li-ion) baterie je dnes nejběžnějším typem baterie používané v elektromobilech. Poskytuje spolehlivý zdroj energie s vysokou kapacitou. Existuje několik typů lithium-iontových baterií, které závisejí na materiálu katody, využívá se oxid kovu a dle něj se Li-ion baterie dělí na lithium-kobaltové (LiCoO_2), lithium-manganové (LiMnO_2), lithium železo-fosfátové (LiFePO_4) a další. Li-ion baterie byly vyvinuty v 70. letech 20. století a jejich vývoj a technologický pokrok zajistil to, že se dnes jedná o nejpokročilejší typ baterie v elektromobilech. Zpočátku se pro anodu používal materiál na bázi koksu, následně se přešlo na materiály na bázi grafitu (A. Abaza et al., 2020). Lithium-iontové baterie fungují na principu reakce mezi katodou a anodou. Během nabíjení se ionty lithia pohybují z anody na katodu. Naopak, při vybíjení se ionty lithia vracejí z katody na anodu a dodávají elektrický proud. Složení katody má významný vliv na kapacitu a napětí lithium-iontové baterie. Vlastnosti anody zase mají vliv na rychlost nabíjení a vybíjení baterie. Elektrolytem bývá běžně lithiová sůl, která je rozpuštěná v organickém rozpouštědle. Důležitou částí baterie je i separátor, který je umístěn mezi elektrodami a zajišťuje oddělení elektrod a zamezuje jejich zkratu. Separátor rovněž umožňuje průchod iontů mezi elektrodami. Napětí tohoto článku je 3,6 až 3,7 V. (C.S. Ioakimidis et al., 2023; Tharad, 2023b)

Jak už bylo zmíněno výše, Li-ion baterií existuje několik typů a každý z nich má své výhody a nevýhody. První z nich je lithium-kobaltová baterie, která má hustotu energie pohybující se od 150 do 200 Wh/kg. Mimo této baterie se ještě vyrábí baterie na bázi lithia, niklu, manganu a kobaltu někdy označované také jako NMC baterie. Změnou poměrů těchto kovů je možné optimalizovat velikost hustoty výkonu a hustoty energie. U baterií NMC je velikost hustoty energie od 150 do 220 Wh/kg. Na bázi kobaltu se můžeme setkat i s bateriemi, které na katodě používají kombinaci niklu, kobaltu a hliníku, ty jsou označované jako NCA baterie. Mají dlouhou životnost a disponují hustotami energie až 260 Wh/kg. Jejich hlavní nevýhodou je nižší tepelná stabilita a vysoká cena. Tyto baterie používá

v některých svých vozech automobilka Tesla. Dalším typem baterie je lithium-manganová označovaná také jako LMO, ta je specifická svým nízkým vnitřním odporem a vysokou teplotní stabilitou, což zajišťuje její vyšší bezpečnost. Hlavní nevýhodou této baterie je její nižší životnost oproti ostatním typům baterií. Dále se můžeme setkat s bateriemi lithium železo-fosfátovými (LFP). Oproti ostatním typům baterií mají LFP nižší hustotu energie pohybující se od 90 do 160 Wh/kg. Tyto baterie mají rovněž nízký vnitřní odpor, což opět pozitivně ovlivňuje tepelnou stabilitu. Jejich výhodou je dlouhá životnost a nízká míra samovybití a prakticky žádný paměťový efekt. Novým typem jsou baterie lithium-titanátové (LTO), které místo grafitu na anodě používají oxid lithný a oxid titaničitý. Tento použitý materiál umožňuje vysokou rychlost nabíjení a vybití baterie. Nevýhodou je nízké jmenovité napětí a nižší hustota energie pohybující se od 50 do 80 Wh/kg. (C.S. Ioakimidis et al., 2023; Tharad, 2023b)

Lithium-iontové baterie jsou tak pravděpodobně nejlepší volbou pro elektrická vozidla. Provozní teplota se udává od -20 do $+60$ °C. U těchto baterií je však nutné dávat pozor na vysoké teploty, které mohou výrazně snížit její životnost. Průměrná životnost všech zmíněných typů Li-ion baterií je 1000 cyklů (C.S. Ioakimidis et al., 2023; Tharad, 2023b). Na počátku vývoje byla cena těchto baterií vysoká. S výrazným nárůstem popularity elektromobility však jejich cena za posledních 10 let výrazně klesla a jedná se tak o nejpoužívanější zdroje energie v elektromobilech a v ostatní elektronice. Lithium-iontové baterie dnes používá většina výrobců elektromobilů jako je Tesla, Mercedes Benz, BMW nebo koncern Volkswagen. (Hromádka, 2012, s. 56)

Z Li-ion bateriemi je spojeno i riziko požáru. K tomu dochází hned z několika důvodů, prvním z nich je elektrické přetížení baterie. K tomu dochází použitím nesprávné nabíječky nebo v důsledku dlouhodobého hlubokého vybití baterie a skladování za nízkých teplot. Dalším rizikem je nesprávná manipulace s bateriemi nebo mechanické poškození. Například vlivem mechanického poškození během dopravní nehody může dojít k vnitřním zkratům a tím k docházení k požáru baterie. Velkým problémem je pak následná likvidace požáru a riziko úniku škodlivých látek. (Denios, neuváděno)

5.5 Ostatní typy bateriových systémů

S výrazným vývojem bateriových systémů je stále snaha o vývoj baterií s použitím jiných materiálů. Ve fázi vývoje jsou baterie na bázi sodík-síra a sodík-niklchlorid. Baterie sodík-niklchlorid je také někdy nazývána jako ZEBRA (Zero Emission Battery Research Association). Oba typy baterií jsou specifické tím, že jejich záporná elektroda není pevná deska, ale roztavený sodík. Kladná elektroda je pak složena z materiálu dle názvu baterie, tedy síry nebo niklchloridu. Aktuální stav vývoje baterie typu ZEBRA má již hustotu energie cca 100 Wh/kg a její životnost je okolo 100 cyklů. Její zásadní nevýhodou je pracovní teplota, která se pohybuje od 270 do 350 °C. Takto vysoká teplota vyžaduje velkou spotřebu energie pro vyhřátí baterie. Pokud tedy dojde k vychladnutí baterie, její opětovné zahřátí může trvat i jeden den. (Hromádko, 2012, s. 56; Tharad, 2023a)

Speciálním typem uložení je superkondenzátor, rovněž nazývaný jako ultrakondenzátor. Hlavním rozdílem mezi klasickou baterií a superkondenzátorem je ve způsobu uchování elektrické energie. Zatímco baterie ukládají energii chemickým způsobem, v superkondenzátorech je energie ukládána přímo v elektrické formě. To má jednu nespornou výhodu v tom, že nevznikají ztráty jako u baterií. Superkondenzátory jsou schopny se velmi rychle vybíjet i nabíjet, proto jsou velmi výhodné pro ukládání energie z rekuperačního brzdění. Mají velmi vysokou hustotu výkonu až 5000 W/kg. Jejich hustota energie se však pohybuje pouze okolo 5 Wh/kg, a proto se nepoužívají jako primární uložení pro elektromobily, mohou však být jeho součástí. (Hromádko, 2012, s. 76-77)

6 Nabíjení elektrických vozidel

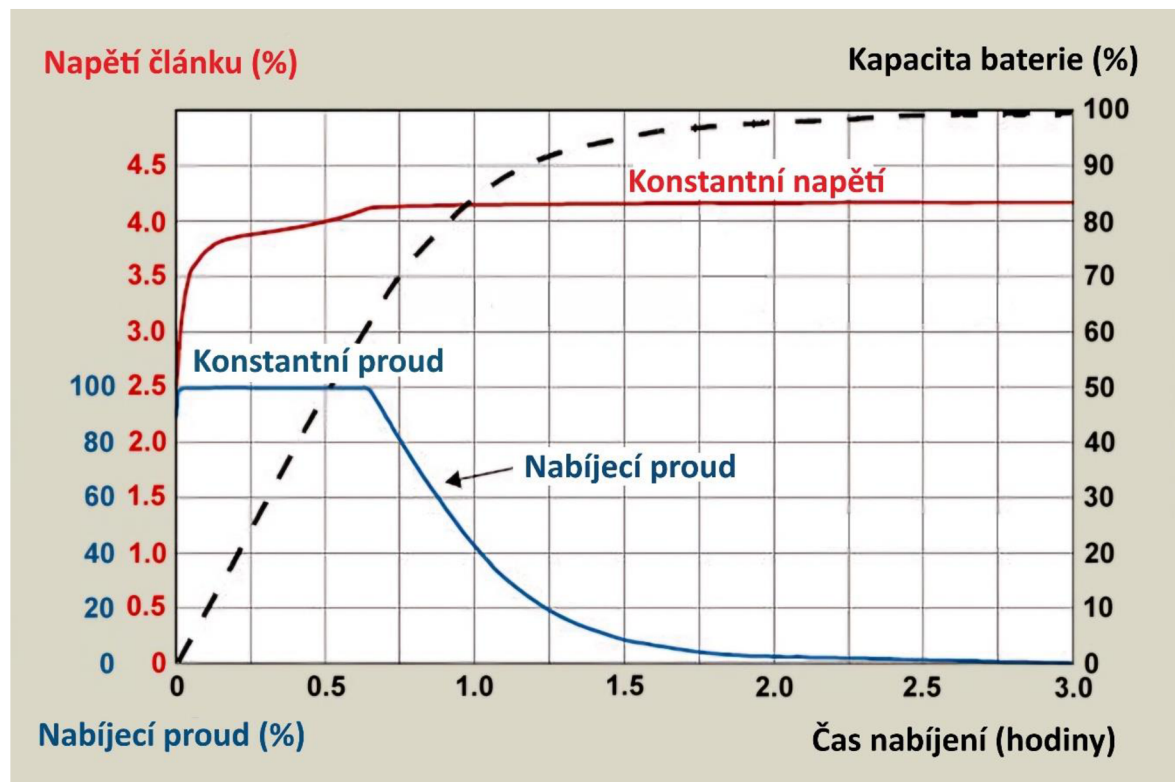
Vlastnosti nabíjení elektromobilů jsou úzce spojeny s technologickým vývojem baterií. Kapacita baterií, dojezd, životnost a rychlost dobíjení jsou klíčovými faktory, které definují využitelnost elektromobilu a umožňují tak konkurovat vozidlům se spalovacím motorem. S rychlým vývojem elektromobility se neustále zdokonalují nabíjecí technologie a dochází také k rozšiřování infrastruktury dobíjecích stanic, a proto se nabíjení stává rychlejší a pohodlnější.

6.1 Typy nabíjení

Základním a nejvíce používaným typem nabíjení elektrického vozidla je kabelové nabíjení, které se využívá na veřejných nabíjecích stanicích i v domácích podmínkách. Podstatou je fyzické propojení nabíječky a vozidla pomocí nabíjecího kabelu s příslušným typem konektoru. Celý proces probíhá přenosem energie z elektrické sítě do baterie vozidla. Vzhledem k tomu, že baterie lze nabíjet pouze stejnosměrným proudem, má každé elektrické vozidlo nainstalovanou palubní nabíječku, která mění střídavý proud na stejnosměrný. Kabelové nabíjení rozdělujeme podle použitého proudu, který vstupuje do nabíjecího procesu (Sun et al., 2020). Prvním typem je střídavé nabíjení (AC). Rychlost nabíjení závisí především na výkonu palubní nabíječky. Nabíjení probíhá pomocí konektoru Mennekes Type 2, který poskytuje výkon od 3,7 do 22 kW v závislosti na napětí, proudu a počtu použitých fází. Střídavé nabíjení se často používá v domácích podmínkách, kde se používají tzv. wallboxy. Druhým typem nabíjení podle typu použitého proudu je stejnosměrné (DC) dobíjení. Hlavní rozdíl je v tom, že střídavý proud je měněn na proud stejnosměrný přímo v nabíjecí stanici a energie je tak ukládána přímo do baterie. Výkon stanic se obvykle pohybuje od 50 až do 150 kW, dnes se však můžeme setkat se stanicemi, které mají výkon až 350 kW. Nejpoužívanějšími typy konektorů pro DC dobíjení jsou CCS2 a CHAdeMO. Nevýhodou DC nabíjení je to, že nabíjecí výkon není po celou dobu nabíjení konstantní. Obvykle je maximální výkon nabíječky využit do 75 % kapacity baterie a následně dochází k jeho poklesu. Doba nabíjení maximálním výkonem je rovněž závislá na typu použité baterie. U DC nabíjení se také může projevit rychlejší opotřebení baterie, proto je vhodné AC a DC nabíjení střídat. U AC i DC nabíjení je umožněna komunikace s řídicím systémem pomocí protokolu OCPP. Připojení je zajištěno pomocí ethernetové přípojky nebo SIM

karty. Tento systém používají veřejné ale i domácí nabíjecí stanice pro efektivní řízení nabíjení (Caisl, 2020). Na Obr. 8 lze vidět průběh proudu, napětí a kapacity baterie v závislosti na době nabíjení.

Obr. 8: Průběh nabíjení baterie elektromobilu



Zdroj: (Caisl, 2020)

Ve fázi vývoje je indukční nabíjení, které představuje inovativní způsob v tom, že elektromobil není připojen k nabíječce pomocí kabelu. Tato metoda využívá elektromagnetické pole k bezdrátovému přenosu energie z nabíjecí stanice na elektromobil. Nabíjecí stanice i elektromobil mají indukční cívku, která umožňuje přenos energie. Tento způsob odstraňuje problémy s jiskřením, které jsou způsobeny připojováním a odpojováním nabíjecího kabelu. Indukční nabíjení však vyžaduje vysoké finanční náklady do infrastruktury sítě a výroby elektromobilů. Nejjednodušším a nejrychlejším způsobem je nabíjení pomocí výměny baterií. Představa je taková, že na nabíjecí stanici proběhne výměna baterie pomocí automatizovaného systému. Jedná se však o pouze hypotetický způsob nabíjení, protože vyžaduje výrazné konstrukční úpravy elektromobilů a použití stejných typů baterií, což prakticky není možné. (Sun et al., 2020)

6.2 Strategie nabíjení

Elektromobil lze nabíjet na veřejných dobíjecích stanicích nebo lze zvolit soukromé nabíjení doma v garáži. Je však nutné zmínit, že více než polovina lidí v ČR žije v bytech, a proto parkují svá vozidla na veřejných parkovištích. Jsou tedy odkázáni na veřejné dobíjení a infrastrukturu dobíjecích stanic. Pokud by tedy trend počtu elektromobilů rostl, je problematické zajistit nabíjení pro takový počet vozidel. Po dobu provozování elektromobilu bude soukromé dobíjení v garáži vzhledem k nákladům na nabíjení nejvýhodnější. Doma lze nabíjet z klasické zásuvky nebo pomocí wallboxu, což je speciální typ nabíječky, který je připojen třífázově k elektrické síti. V domácích podmínkách probíhá nabíjení většinou přes noc nebo v době, kdy se elektromobil nepoužívá. Wallboxy mají omezený maximální dobíjecí výkon pouze 22 kW, proto je nutné nabíjení předem naplánovat. K tomu se často používá HDO (hromadné dálkové ovládání), které signalizuje nízký tarif elektrické energie a spustí nabíjení elektromobilu za co nejvýhodnější cenu. (GBC Solino s.r.o., 2021)

Nejvýhodnějším způsobem domácího nabíjení je propojení vlastní fotovoltaické elektrárny a nabíječky. Výhodou je to, že pokud má fotovoltaická elektrárna dostatečný výkon, umožňuje nabíjet elektromobil v letních měsících za prakticky nulové náklady. Tento způsob má zejména ekonomický význam v tom, že při vzniku přebytků se energie nevrací do sítě, ale je jimi nabíjen elektromobil. (GBC Solino s.r.o., 2021)

Druhým nejčastěji využívaným způsobem nabíjení je na veřejných dobíjecích stanicích. Ty jsou většinou provozovány velkými poskytovateli elektrické energie jako je ČEZ, E.ON Drive nebo PRE pro Prahu. Setkat se však můžeme i s menšími stanicemi, které poskytují nákupní střediska nebo soukromí podnikatelé. Nejčastěji je využíváno urgentní dobíjení, kdy uživatel požaduje co nejrychlejší dobití elektromobilu. Toto dobíjení se využívá v tu chvíli, pokud uživatel cestuje na dlouhou vzdálenost a chce minimalizovat dobu čekání. Často se využívá DC nabíjení, které má vysoký nabíjecí výkon. Na veřejných nabíjecích stanicích jsou také nuceni nabíjet majitele vozidel, kteří bydlí v bytě a nemají svou vlastní garáž s nabíječkou. Tento problém je částečně řešen firemním dobíjením, kdy zaměstnavatel umožňuje nabíjet elektromobily svým zaměstnancům, takových míst je však zatím minimum. Velmi často se také můžeme setkat s dobíjením bonusovým, kdy je uživateli umožněno nabíjení za výhodnou cenu. Tento způsob se využívá v nákupních střediscích a dalších institucích a jeho podmínkou je jejich návštěva. (Caisl, 2020)

6.3 Infrastruktura nabíjecích stanic v ČR

Za posledních pět let došlo s výrazným nárůstem počtu elektromobilů i ke zvýšení počtu dobíjecích stanic. Dle zdrojových dat Ministerstva průmyslu a obchodu bylo k 30. září 2023 v České republice evidováno 2 313 stanic na kterých se nachází 4 313 veřejných dobíjecích bodů. Mezi zeměmi EU je Česká republika na 13. místě v počtu dobíjecích bodů. V počtu elektrických vozidel připadá v České republice na jeden veřejný dobíjecí bod 6,7 vozidel, v EU to je v průměru 12,1 vozidel. Největšími poskytovateli dobíjecích bodů jsou PRE, která disponuje 1 371 nabíjecími body. Na druhém místě je ČEZ, který poskytuje 1200 dobíjecích bodů. Mezi další poskytovatele patří Innogy Energo, ŠKO-ENERGO, Lidl nebo MOL ČR. Cena na nabíjecích stanicích za 1 kWh se aktuálně pohybuje od cca 6 korun do zhruba 20 korun, cena závisí především na typu nabíjecí stanice, nabíjecím výkonu a na tom, zda je zákazník registrovaný či ne. Aktuální vstupní příkon všech veřejných dobíjecích stanic v ČR je 133 MW. Dle nařízení je nutné, aby stanice poskytovaly výkon minimálně 1,3 kW pro BEV vozidlo a 0,8 kW pro PHEV vozidlo. Dle tohoto nařízení proto dobíjecí stanice teoreticky poskytují výkon pro cca 103 tisíc BEV vozidel nebo 165 tisíc PHEV vozidel. Výkon je dostačující, protože aktuálně je v ČR registrováno na 20 tisíc BEV vozidel a 12 tisíc PHEV vozidel. Problémem však je nerovnoměrné rozložení nabíjecích stanic, protože většinová část nabíjecích stanic se nachází v Praze a ve větších městech. (Kadula, 2023)

7 Spotřeba elektrické energie elektrického vozidla

7.1 Parametry testovaného vozidla

Pro zhodnocení spotřeby elektrické energie byl vybrán elektromobil Tesla Model Y LR (Long Range) s pohonem všech kol viz Obr. 9. Jedná o středně velké SUV americké automobilky Tesla. Model Y je nejprodávanějším vozidlem i elektromobilem za rok 2023 v Evropě s počtem 250 tisíci prodanými vozy. (EV Database, 2024b)

Obr. 9: Testovaný elektromobil Tesla Model Y LR



Zdroj: Foto autor

Dojezd tohoto elektromobilu je výrobcem udáván 533 km, reálný dojezd se však pohybuje okolo 435 km. Celkový výkon obou trakčních motorů je 378 kW. Model Y LR využívá lithium-iontovou baterii, materiál katody je vyroben z niklu, kobaltu a manganu, jedná se proto o baterii NMC popsanou v kapitole 5.4. Nominální kapacita baterie je 78,1 kWh a její užitečná kapacita je 75 kWh. Baterie obsahuje 4 416 článků a používá 400 V architekturu. Baterii lze nabíjet pomocí AC i DC nabíjení. V případě AC nabíjení je využíván konektor Mennekes Type 2 s nabíjecím výkonem 11 kW. Pokud je baterie plně vybitá, trvá AC nabíjení 8 hodin a 15 minut. Nepředpokládá se však, že hloubka vybití

baterie přesáhne 80 %, proto bude AC nabíjení z 20% kapacity baterie trvat přibližně 6 hodin. V případě DC nabíjení na veřejných dobíjecích stanicích je možné Model Y nabíjet výkonem až 250 kW, což je využitelné pouze na některých nabíjecích stanicích Tesla Supercharger. Nejběžnějším nabíjecím výkonem však pro Model Y bude 124 kW, které umožňuje dobít baterii z 10 % na 80 % za 27 minut. Je však nutné zmínit, že většina nabíjecích stanic v ČR poskytuje maximální DC nabíjecí výkon 50 kW prostřednictvím konektoru CCS2 nebo CHAdeMO. Nabíjení tímto výkonem bude za stejných podmínek trvat přibližně 1 hodinu. Udávaná průměrná spotřeba tohoto vozu je 17,2 kWh na 100 km. (EV Database, 2024b)

7.2 Porovnání testovaného elektromobilu s ostatními vozidly

Pro porovnání testované Tesly Model Y LR byl vybrán nejprodávanější elektromobil v ČR a tím je Škoda Enyaq iV. Konkrétně byla vybrána specifikace 85x, která má stejně jako Tesla pohon všech kol. Dojezd tohoto vozidla se udává okolo 440 km. Vozidlo má výkon 210 kW. Vzhledem k testovanému vozu je v porovnání brán i důraz na podobnou velikost kapacity baterie. V případě Enyaqu je nominální kapacita 82 kWh a použitelná kapacita je 77 kWh. Baterie je lithium-iontová a obsahuje 288 článků, přičemž architektura je rovněž 400 V. Baterii je možné dobít pomocí AC proudu s dobíjecím výkonem 11 kW a doba dobíjení se pohybuje okolo 6 hodin z 20 % na 100 % kapacity baterie. V případě DC nabíjení je možné využívat dobíjecí výkon až 175 kW. Při dobíjení výkonem 120 kW se baterie z 10 % na 80 % nabije za 28 minut. Při výkonu 50 kW potom dobíjení trvá přibližně 1 hodinu. Průměrná spotřeba tohoto elektromobilu je 17,5 kWh/100 km. (EV Database, 2024c)

Jako zástupce vozidla se spalovacím motorem byl zvolen automobil Škoda Kodiaq se vznětovým motorem o objemu 2,0 l a výkonem 142 kW. V Tab. 2 je zobrazeno porovnání všech tří výše zmíněných vozidel. Za povšimnutí stojí cena jednotlivých vozidel. Je nutné zmínit, že cena Modelu Y LR je konečná, její volitelné příplatky jsou pak pouze za tažné zařízení, zimní sadu pneumatik a autopilota, kterého však díky evropské legislativě nelze plně využít. U zbylých vozů Škoda je však cena počáteční a může být dále navýšena o další příplatky za nadstandardní výbavu. (Škoda Auto a.s., 2024)

Tab. 2: Porovnání vozidel

| Vozidlo | Tesla Model Y LR | Škoda Enyaq Clever 85x | Škoda Kodiaq Selection 2.0 TDI |
|-----------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|
| Typ motoru | Elektromotor | Elektromotor | Vznětový motor |
| Pohon | 4×4 | 4×4 | 4×4 |
| Výkon | 378 kW | 210 kW | 142 kW |
| Kapacita baterie | 75 kWh | 77 kWh | - |
| Spotřeba | 17,2 kWh/100 km | 17,5 kWh/100 km | 6 l/100 km |
| Emise CO ₂ | 0 g/km | 0 g/km | 157 g/km |
| Cena vozu | 1 234 900 Kč | 1 532 900 Kč | 1 189 000 Kč |

Zdroj: Vlastní zpracování

7.3 Zhodnocení spotřeby elektrické energie v reálných podmínkách

Elektromobil Tesla Model Y LR byl podroben krátkodobému testu, při němž se vozidlo pohybovalo na okresních silnicích, ve městě a na dálnici. Průměrná spotřeba elektromobilu při testovací jízdě v zimním počasí a venkovní teplotě 11 °C byla 19 kWh/100 km. Majitel využívá elektromobil pravidelně na vzdálenosti dlouhé 200 km a více. Pro nabíjení jsou využívány výhradně nabíjecí stanice Tesla Supercharger nebo soukromé nabíjení. V době testu vlastní majitel elektromobilu přibližně 10 měsíců a jeho nájezd je 14 000 km. Dle statistik používání elektromobilu se průměrná spotřeba v zimních měsících pohybuje okolo 21 kWh/100 km a v létě okolo 18 kWh/100 km. Průměrná spotřeba za 14 177 km dle palubního počítače je 18,7 kWh/100 km a s touto hodnotou bude proveden výpočet spotřeby a celkových nákladů. Pokud porovnáme průměrnou spotřebu udávanou výrobcem (17,2 kWh/100 km) vidíme, že reálná spotřeba je vyšší, to je způsobeno především častým využíváním jízdy na dálnicích, kde se spotřeba zvyšuje. Velmi zajímavým údajem, který palubní počítač zobrazoval je i celkové množství spotřebované elektřiny, v době testu to bylo 2648 kWh za 14 177 km.

Soukromé nabíjení elektromobilu probíhá dvěma způsoby. Prvním způsobem je nabíjení pomocí přebytků elektrické energie z vlastní fotovoltaické elektrárny, která má výkon 15 kWp. Tento způsob nabíjení využívá majitel především v letních měsících, kdy je sluneční záření intenzivnější a delší než v zimních měsících. Zajímavostí je také to, že

fotovoltaická elektrárna nemá akumulátory, a majitel proto využívá spotovou cenu. To znamená, že přebytky elektrické energie z fotovoltaické elektrárny se prodávají za aktuální tržní cenu. V zimních měsících, kdy je výkon elektrárny prakticky nulový, sleduje majitel spotovou cenu elektřiny během dne a v případě příznivé ceny nabíjí elektromobil. V budoucnu je v plánu automatizace nabíjení. V praxi to bude vypadat tak, že systém bude číst spotřebu domu a v případě, kdy bude nižší než výkon fotovoltaické elektrárny, bude přebytek nabíjet elektromobil. Naopak pokud bude spotřeba domu větší nebo elektrárna nebude dodávat energii, bude se elektromobil za předpokladu výhodné ceny elektrické energie nabíjet ze sítě.

7.3.1 Výpočet spotřeby

Pro zjednodušený výpočet spotřeby a nákladů byl dle aktuálně ujetých kilometrů vozidla zvolen roční nájezd 20 000 km. Jak už bylo zmíněno výše, průměrná spotřeba elektromobilu Tesla je 18,7 kWh/100 km. Výpočet celkové spotřeby elektrické energie je zobrazen vzorcem (7.1) a (7.2).

$$\text{Celková spotřeba} = \frac{\text{počet ujetých kilometrů} \times \text{průměrná spotřeba}}{100} \quad (7.1)$$

Kde: počet ujetých kilometrů [km], průměrná spotřeba [kWh/100 km]

Po dosazení do vzorce:

$$\text{Celková spotřeba} = \frac{20\,000 \times 18,7}{100} = 3\,740 \text{ kWh} \quad (7.2)$$

Z výpočtu vzorce (7.2) je zřejmé, že celková spotřeba elektrické energie za 20 000 km je 3 740 kWh. Pro další výpočet celkových nákladů za nabíjení je dále nutné stanovit, jak často elektromobil byl a bude nabíjen pomocí soukromého nabíjení a veřejného nabíjení. Dle odhadu je proto zvoleno, že 60 % (12 000 km) ze všech ujetých kilometrů bude elektromobil nabíjen soukromě pomocí fotovoltaiky nebo ze sítě s využitím nízkého tarifu. Zbytek kilometrů, tedy 40 % z 20 000 ujetých kilometrů bude elektromobil nabíjen na veřejných nabíjecích stanicích Tesla Supercharger. Při využití nabíjení pomocí fotovoltaiky jsou náklady nulové. Pro nabíjení ze sítě je cena 5,04474 Kč/kWh pro nízký tarif. Tato cena vychází z aktuálního ceníku elektřiny na jeden rok od společnosti ČEZ Distribuce, a.s.

Předpokládá se využití distribuční sazby D27d, což je dvou tarifní sazba, kde je 8 hodin denně cena elektřiny v levnějším tarifu. Nabíjení na veřejných stanicích Tesla Supercharger se aktuálně pohybuje za 9,60 Kč/kWh. Podrobný přehled nákladů za nabíjení je zobrazen v Tab. 3. (ČEZ Distribuce a.s., 2024; Srb, 2024)

Tab. 3: Přehled nákladů za nabíjení elektromobilu

| Typ nabíjení | Počet kilometrů (km) | Spotřeba energie (kWh) | Cena za 1 kWh (Kč) | Celkové náklady (Kč) |
|------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| Fotovoltaika | 7 000 (35 %) | 1 309 | - | 0 |
| Soukromé ze sítě | 5 000 (25 %) | 935 | 5,04474 | 4 716,8 |
| Veřejné nabíjení | 8 000 (40 %) | 1 496 | 9,60 | 14 361,6 |
| Celkem | 20 000 (100 %) | 3 740 | - | 19 078,4 |

Zdroj: Vlastní zpracování

Dle Tab. 3 je zřejmé, že celkové náklady na nabíjení vozidla Tesla Model Y LR jsou 19 078,4 Kč za 20 000 km. Do ceny nákladů je samozřejmě nutné započítat i cenu servisu a výměny provozních kapalin. V případě elektromobilu Tesla jsou však náklady na servis minimální, předepsané intervaly se týkají především filtrů, u nichž jsou náklady zanedbatelné. U elektromobilů dochází k častějšímu opotřebení pneumatik vlivem vysoké hmotnosti a vysokého točivého momentu. Co se týče brzdové kapaliny, je u ní předepsán interval výměny každé 4 roky. Díky využití rekuperace je proto výměna prvků brzdové soustavy méně častá.

7.4 Porovnání energetické náročnosti vybraných vozidel

Pro porovnání energetické náročnosti vybraných vozidel je nejprve nezbytné určit základní údaje o spotřebě jednotlivých vozidel. Náklady pro vozidlo Tesla Model Y LR jsou převzaty z kapitoly 7.3.1. V Tab. 4 jsou pro toto vozidlo uvedeny údaje jednak pro způsob kombinovaného nabíjení, tedy soukromé nabíjení s využitím fotovoltaiky a veřejné nabíjení. Dále jsou pro srovnání uvedeny náklady pouze pro způsob veřejného nabíjení elektromobilu. V Tab. 4 jsou rovněž uvedeny celkové náklady pro vůz Škoda Enyaq 85x u něhož se

předpokládá průměrná spotřeba 17,5 kWh a cena veřejného nabíjení za 10 Kč/kWh. Posledním srovnávaným vozem je Škoda Kodiaq se vznětovým motorem, u něhož se udává průměrná spotřeba 6 l/100 km. Pro výpočet nákladů vozidla využívající spalovací motor byla použita průměrná cena motorové nafty za rok 2023, která byla dle ČSÚ 35,73 Kč/l. Je důležité poznamenat, že do celkových nákladů za pět let nejsou zahrnuty potenciální meziroční zvýšení cen pohonných hmot a elektrické energie. (MPO, 2023)

Tab. 4: Porovnání nákladů na provoz jednotlivých vozidel

| Vozidlo | Náklady na 1 km | Náklady na 20 000 km (1 rok) | Náklady na 100 000 km (5 let) |
|--|-----------------|------------------------------|-------------------------------|
| Tesla Model Y LR (kombinované nabíjení) | 0,95 Kč | 19 078,4 Kč | 95 392 Kč |
| Tesla Model Y LR (veřejné nabíjení) | 1,87 Kč | 37 400 Kč | 187 000 Kč |
| Škoda Enyaq 85x | 1,75 Kč | 35 000 Kč | 175 000 Kč |
| Škoda Kodiaq 2,0 TDI | 2,14 Kč | 42 876 Kč | 214 380 Kč |

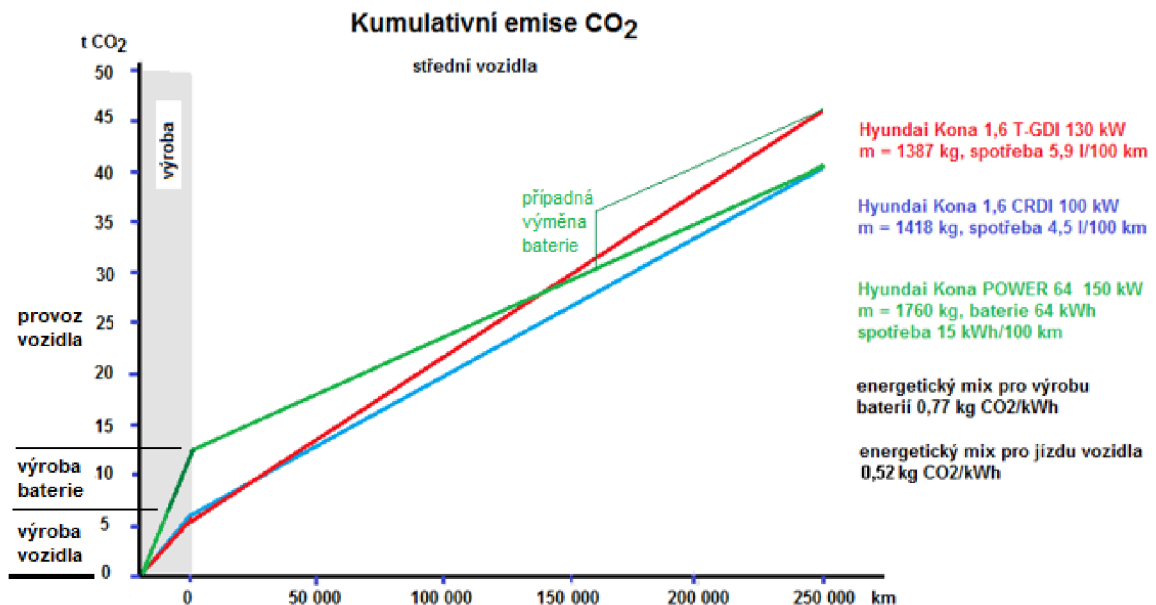
Zdroj: Vlastní zpracování

7.5 Emisní náročnost elektromobilů

Často se chybně uvádí, že elektromobily jsou zcela bezemisní, to však není pravda. Z Tab. 2, kde byly porovnávány jednotlivá vozidla si můžeme všimnout, že uvedené emise CO₂ jsou pro elektromobily 0 g/km. Tento údaj je však zcela zavádějící, protože se týká pouze emisí z jízdy vozidla. Jednu nespornou výhodu však oproti vozidlům se spalovacím motorem mají elektromobily v tom, že v hustě osídlených oblastech neprodukují škodlivé emise. Emisní náročnost elektromobilů přesto nespočívá pouze v produkci emisí z jízdy, ale je nutné do ní zahrnout i životní cyklus vozidla. Do toho patří výroba elektromobilu, baterie a v neposlední řadě i výroba spotřebované elektrické energie a likvidace vozidla nebo baterie. Nejpodstatnějšími cykly jsou výroba baterie a výroba elektrické energie. Samotná výroba baterie vyprodukuje přibližně stejné množství emisí CO₂ jako při výrobě zbytku vozidla. Většina současně používaných baterií je vyráběna v Asii, především v Číně, kde v energetickém mixu převažují zdroje energie využívající uhlí. Každý elektromobil tak při výrobě produkuje zhruba dvojnásobek emisí CO₂ ve srovnání s automobilem se spalovacím

motorem. Tento rozdíl se v průběhu provozu vozidla postupně snižuje v závislosti na zdroji elektřiny, kterou vozidlo využívá při jízdě. Srovnání jednotlivých vozidel je znázorněno na Obr. 10, kde je vidět, že vyprodukované emise pro výrobu elektromobilu výrazně převažují vyprodukované emise pro výrobu vozidel se spalovacím motorem. (Morkus, Macek, 2022)

Obr. 10: Porovnání emisí CO₂ jednotlivých typů automobilů



Zdroj: (Morkus, Macek, 2022)

Dalším životním cyklem elektromobilu je spotřeba elektrické energie, která se však musí vyrobit nějakým způsobem a emise při její výrobě závisí na energetickém mixu dané země. V energetické mixu ČR je přibližně 40 % uhelných elektráren. Pro rok 2023 se udává hodnota 0,413 kg CO₂/kWh, což znamená, množství emisí vznikající při výrobě 1 kWh elektřiny. Reálná hodnota je navíc ještě o něco vyšší, protože jsou do ní započítány ztráty. V ideálním případě, kdyby pro provoz elektromobilu byla využita elektrická energie vyrobená zcela bezemisně, došlo by k vyrovnání emisí mezi elektromobilem a vozidlem se spalovacím motorem po zhruba 45 000 ujetých kilometrech. Situaci zcela bezemisní výroby elektřiny se přibližuje Norsko, kde více než 95 % vyrobené elektrické energie pochází z vodních zdrojů. V ČR se emisní faktor každoročně snižuje. Řešením pro jeho výrazné snížení by mohla být výstavba nových bloků jaderných elektráren Temelín a Dukovany, což však vyžaduje výrazné investiční náklady. (Morkus, Macek, 2022)

7.6 Posouzení vlivu elektromobility na energetickou soustavu

Elektromobilita se stává stále populárnější alternativou k tradičním vozidlům se spalovacím motorem. Nicméně rychlý nárůst počtu elektromobilů s sebou přináší řadu výzev. Jednou z nich je její vliv na rozvodnou soustavu. S nárůstem počtu elektromobilů se zvyšuje i poptávka po elektřině. To může představovat výzvu pro existující rozvodnou soustavu, která může dosáhnout své kapacity, pokud nebude dostatečně modernizována a rozšiřována. Zejména ve městech, kde je koncentrace elektromobilů vyšší, může docházet k přetížení místních sítí. Situace v ČR je zatím udržitelná, protože nárůst počtu elektromobilů je pomalejší než výstavba nových nabíjecích stanic. Přesto je však nezbytné zajistit dostatečné dimenzování distribuční soustavy, protože ve vysokém scénáři se předpokládá, že do konce aktuálního desetiletí bude počet elektromobilů až 500 tisíc. Takový nárůst se však nestane ze dne na den. Do přenosových soustav se navíc ročně investují miliardy korun. Dle společnosti ČEZ je odhad spotřeby energie vynaložené na elektromobily na konci desetiletí od 0,78 až do 1,56 TWh ročně, což však není zanedbatelná hodnota. Největší výzvou bude možné riziko přetížení sítě využíváním rychlého DC nabíjení na veřejných nabíjecích stanicích. Aby se vyrovnala rostoucí poptávka po elektřině, bude třeba provést rozsáhlé investice do modernizace a rozšíření rozvodné sítě. To zahrnuje instalaci nových transformátorů, vylepšení kabelové infrastruktury a zapojení distribučních stanic. Velké přetížení může nastat i v hustě osídlených obytných zónách ve větších městech, kde je nedořešená infrastruktura. Očekává se, že největší zatížení sítě bude v odpoledních hodinách, kdy se lidé budou vracet z práce. Jedním z klíčových prvků, které mohou pomoci minimalizovat vliv elektromobility na rozvodnou síť, je implementace inteligentního řízení sítě. Příkladem mohou být wallboxy, které budou spouštět nabíjení ve vhodný okamžik. Tato technologie umožňuje aktivní monitorování a optimalizaci distribuce elektřiny na základě aktuální poptávky a kapacity sítě. Inteligentní měřiče a automatizované systémy mohou pomoci vyrovnávat zátěž sítě a minimalizovat riziko přetížení. (ChargeUp, 2020)

7.7 Diskuse získaných výsledků

Výsledky zhodnocení a výpočtů týkající se energetické náročnosti testovaného elektromobilu Tesla Model Y LR naznačují, že nelze přesně stanovit, zda je výhodnější elektromobil nebo automobil se spalovacím motorem. Je klíčové si uvědomit, že vypočítané náklady na nabíjení elektromobilu jsou závislé na způsobu nabíjení. Výpočet byl proveden s ohledem na co nejvýhodnější podmínky s využitím nízkého tarifu a vlastní fotovoltaické elektrárny. Pokud by však uživatel elektromobilu bydlel v bytovém domě a byl nucen nabíjet elektromobil z veřejných nabíjecích stanic, tak by při nájezdu 20 000 km ročně a ceně cca 10 Kč/kWh zaplatil 37 400 Kč. To je skoro dvojnásobek původní ceny s minimálním rozdílem od vynaložených nákladů na automobil se spalovacím motorem.

Při srovnání vybraných vozidel a jejich celkových nákladů je zřejmé, že nejvyšší provozní náklady na provoz má vozidlo Škoda Kodiaq se spalovací motorem. Nicméně je třeba zdůraznit, že uvedená průměrná kombinovaná spotřeba vozu 6 l/100 může být v praxi překročena v závislosti na individuálním stylu jízdy a podmínkách provozu vozidla. V případě vozidel se spalovacím motorem je rovněž nutná pravidelná výměna provozních kapalin, což se promítá do dodatečných nákladů. Celkové náklady pro elektromobily Tesla Model Y LR a Škoda Enyaq 85x jsou skoro totožné a není zde zaznamenán výrazný rozdíl v nákladech. Příznivé pro elektromobily jsou i jejich náklady na údržbu vozidla v prvních letech, které jsou při ideálních podmínkách a v případě, že se neobjeví nenadálá situace minimální. Porovnáváné elektromobily se však odlišují v pořizovací ceně, která je nižší ve prospěch Tesly. U ní je navíc pořizovací cena oproti Enyaqu konečná. U Škody Enyaq jsou zřejmé nižší provozní náklady, které jsou však způsobeny využitím udávané průměrné spotřeby k výpočtu, která může být v praxi vyšší. Nicméně velkou otázkou je degradace baterie po několika letech provozu. Problémem je tak výměna baterie, protože se jedná o nejdražší část vozu, jejíž cena se obvykle pohybuje ve stovkách tisíc korun a výrazně tak může překročit cenu celého ojetého vozu. Výrobci proto většinou dávají záruku na baterii po dobu 8 let nebo 160 tisíc ujetých kilometrů.

Z hlediska provozních nákladů, vychází nejlépe elektromobil, který využívá kombinované nabíjení. V kombinovaném nabíjení je nicméně zahrnuto i nabíjení pomocí vlastní fotovoltaické elektrárny, což vyžaduje dodatečné náklady na její pořízení a minimální výrobu elektrické energie v zimních měsících. Rozhodnutí, které vozidlo je výhodnější proto

nelze stanovit jednoznačně, neboť záleží na několika faktorech, včetně stylu jízdy, způsobu nabíjení a ceně za nabíjení. V neposlední řadě záleží také na pořizovací ceně. Podstatné je zmínit, že pořizovací cena porovnávaných vozidel je výrazně vyšší než průměrná cena všech prodávaných vozů v ČR. Běžní spotřebitelé kupující vozidlo například v ceně okolo 500 000 Kč a méně raději zvolí vozidlo se spalovacím motorem, protože ekvivalentní elektromobil by byl značně dražší.

Dalším poznatkem je, že elektromobil není zcela bezemisní, protože do jeho životního cyklu je potřebné započítat i jeho výrobu, a především výrobu baterie. Pouze při výrobě elektromobilu se vyprodukuje přibližně dvakrát více emisí než při výrobě běžného automobilu se spalovacím motorem. V další fázi životního cyklu spotřebovává elektromobil elektrickou energii. Při její výrobě jsou rovněž produkovány emise, které závisí na energetickém mixu země. Nelze proto jednoznačně tvrdit, že elektromobil je zcela bezemisní.

Dále bylo zjištěno, že s rychlým nárůstem počtu elektromobilů bude vzrůstat i zatížení rozvodné soustavy, která musí zvládnout rostoucí poptávku po elektřině, zejména ve městech s vyšší koncentrací elektromobilů. Situace v České republice je zatím udržitelná, ale s očekávaným nárůstem počtu elektromobilů bude nezbytné provést rozsáhlé investice do modernizace a rozšíření distribuční sítě, což může zvyšovat distribuční náklady elektrické energie. Technologie jako inteligentní řízení sítě a wallboxy mohou pomoci minimalizovat vliv elektromobility na rozvodnou síť a vyrovnávat zátěž sítě v závislosti na aktuální poptávce elektrické energie.

8 Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku energetické náročnosti elektromobilů, která je v dnešní době v centru pozornosti v souvislosti s hledáním alternativ k automobilům se spalovacím motorem. V úvodu práce byl proveden stručný přehled historie elektromobilů, který umožňuje porozumět kontextu jejich vývoje a současné situace. Následně se práce zabývá problematikou elektromotorů, přičemž nejpoužívanějším motorem v elektromobilech je synchronní motor s permanentním magnetem. Jeho využití je opodstatněno kombinací dobré účinnosti, spolehlivosti, malými rozměry a nízké hmotnosti.

V další kapitole jsou popsány jednotlivé koncepce elektrických vozidel, jako jsou hybridní elektrická vozidla a elektrická vozidla s palivovými články. Je kladen velký důraz na problematiku bateriových elektrických vozidel, u nichž bylo detailně rozebráno pohonné ústrojí a její jednotlivé komponenty. V práci je také kapitola zaměřující se na baterie, které jsou klíčovým prvkem elektromobilů, neboť fungují jako úložiště energie, která pohání elektromotory. Dnes se převážně využívají lithium-iontové baterie, které mají oproti ostatním typům vyšší hustotu energie a relativně nízkou hmotnost. Ve spojitosti s bateriemi je zmíněno i nabíjení baterií včetně typů nabíjecích stanic, rychlosti nabíjení, dostupných nabíjecích technologií a strategií nabíjení.

Praktická část práce zahrnovala měření spotřeby elektromobilu Tesla Model Y LR. Na základě naměřených hodnot byla vypočítána celková spotřeba energie a náklady na nabíjení. Tyto výsledky byly následně porovnány s dalším elektromobilem a automobilem se vznětových spalovacím motorem. Výsledky prokázaly, že náklady na provoz elektromobilů značně závisejí na typu nabíjení a ceně za nabíjení. Dále byla nad rámec zadání diskutována problematika emisí elektromobilů, ty jsou v provozu nulové. Na druhou stranu je však nutné do celého životního cyklu započítat i vyprodukované emise během výroby elektromobilu a emise při výrobě elektrické energie pro jeho provoz, a ty nejsou zanedbatelné.

Na závěr práce je probrán vliv elektromobility na přenosovou soustavu, protože s rychlým nárůstem elektromobilů vzroste zatížení rozvodné soustavy, vyžadující investice do modernizace distribuční sítě. V České republice je situace zatím udržitelná, ale s předpokládaným nárůstem elektromobilů bude nezbytné využívat inteligentní řízení sítě.

Elektromobilita se tak stává klíčovou součástí úsilí o dekarbonizaci dopravy a dosažení klimatických cílů. Rostoucí trend trhu naznačuje, že prodej elektromobilů do roku 2030 prudce vzroste. S klesajícími cenami baterií, které tvoří významnou část nákladů na elektromobily, se očekává jejich větší cenová dostupnost a rozšíření. Paralelně s tím rychle roste infrastruktura nabíjecích stanic, což je klíčové pro pohodlné používání elektromobilů. Současně pokračuje technologický pokrok, zlepšující dojezd, dobíjení a výkony elektromobilů. Avšak s těmito trendy přicházejí i výzvy jako zajištění dostupnosti surovin pro výrobu baterií, nutnost efektivní recyklace baterií a potřeba modernizace energetické sítě a rozvoje obnovitelných zdrojů energie kvůli zvýšenému počtu elektromobilů. Přesto elektromobilita nabízí obrovský potenciál k transformaci dopravy.

9 Seznam použité literatury

BABU, Phani, 2022. *PMSM Motor for Electric Vehicles*. online. In: ELECTRICAL ENGINEERING MATERIALS. Dostupné z: <https://electengmaterials.com/pmsm-motor-for-electric-vehicles/>. [cit. 2024-03-08].

C.S. IOAKIMIDIS, D.; D. VAN DER MEER, G.R.C.; A. IVANOVA, J.A.; A. MOHAMED, V.; N. LIU, et et al., 2023. *Chapter 10 - Electric vehicles and smart grids*. online. In: ScienceDirect. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323995603000028>. [cit. 2024-02-05].

CAISL, Petr, 2020. *Nabíjení elektromobilů, zatížení sítě a řízení výkonu – část I., typy nabíjení*. online. In: TZB-info. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/20937-nabijeni-elektromobilu-zatizeni-site-a-rizeni-vykonu-cast-i>. [cit. 2024-03-07].

ČEZ DISTRIBUCE A.S., 2024. *Ceníky*. online. In: Skupina ČEZ. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html>. [cit. 2024-03-17].

DENIOS, neuvědno. *Průvodce bezpečným skladováním Li-Ion akumulátorů*. online. In: Nenalezený vydavatel. Dostupné z: <https://www.denios.cz/servis/denios-know-how/pruvodce-bezpecnym-skladovanim-li-ion-baterii>. [cit. 2024-03-18].

DVOŘÁK, Otto, 2023. *Hasičský záchranný sbor České republiky*. online. In: Hasičský záchranný sbor České republiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xxii-cislo-7-2023.aspx?q=Y2hudW09Mg%3D%3D>. [cit. 2024-03-07].

EV DATABASE, 2024a. *Useable battery capacity of full electric vehicles cheatsheet - EV Database*. online. Dostupné z: <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>. [cit. 2024-03-18].

EV DATABASE, 2024b. *Tesla Model Y Long Range Dual Motor*. online. In: EV Database. Dostupné z: <https://ev-database.org/car/1619/Tesla-Model-Y-Long-Range-Dual-Motor>. [cit. 2024-03-17].

EV Database, 2024b. online. Dostupné z: <https://ev-database.org/car/1619/Tesla-Model-Y-Long-Range-Dual-Motor>. [cit. 2024-03-17].

EV DATABASE, 2024c. *Skoda Enyaq 85x*. online. In: EV Database. Dostupné z: <https://ev-database.org/car/2021/Skoda-Enyaq-85x>. [cit. 2024-03-17].

EV OBSERVED, 2021. *EV Powertrain Components – What make EVs different from ICVs?*. online. In: EV Observed. Dostupné z: <https://evobserved.com/ev-powertrain-components/>. [cit. 2024-02-11].

FEDERAL BATTERIES, 2020. *What is Depth of Discharge and why is it so important?*. online. In: FEDERAL BATTERIES. The Best Battery Solutions. Dostupné z: <https://federalbatteries.com.au/news/what-depth-discharge-and-why-it-so-important>. [cit. 2024-02-17].

GBC SOLINO S.R.O., 2021. *Nabíjení elektromobilu a fotovoltaika*. online. In: TZB-info. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/21909-nabijeni-elektromobilu-a-fotovoltaika>. [cit. 2024-03-07].

HROMÁDKO, Jan, 2012. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4455-1.

CHARGEUP, 2020. *Půl milionu elektroaut energetické sítě zvládnou. Větší flotila si už vyžádá větší investice*. online. In: TZB-info. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/21009-pul-milionu-elektroaut-energeticke-site-zvladnou-vetsi-flotila-si-uz-vyzada-vetsi-investice>. [cit. 2024-03-18].

KADULA, Lukáš, 2023. *Česko má přes 4 300 veřejných dobíjecích bodů, 13. nejvyšší počet v zemích EU*. online. In: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/tiskove-zpravy/cesko-ma-pres-4-300-verejnych-dobijecich-bodu-13-nejvyssi-pocet-v-zemich-eu/>. [cit. 2024-03-03].

MACLEAN, Andrew, nedatováno. *All you need to know about Hybrids*. online. In: Driving Insights. Dostupné z: <https://drivinginsights.com.au/fleet-management/the-5-hybrid-vehicle-types/>. [cit. 2024-03-08].

MORKUS, Josef a MACEK, Jan, 2022. *Mýty kolem elektromobility*. online. In: Realistická energetika a ekologie. Dostupné z: <https://realisticka.cz/2022/02/02/myty-kolem-elektromobility/>. [cit. 2024-03-17].

MPO, 2023. *Ceny pohonných hmot v ČR*. online. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/ropa-ropne-produkty/ceny-pohonných-hmot-v-cr--272708/>. [cit. 2024-03-17].

OSMANBASIC, Edis, 2020. *The Many Types of EV Motors*. online. In: Engineering.com. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/the-many-types-of-ev-motors>. [cit. 2024-01-24].

SHEPARD, Jeff, 2023. *What is a battery cycle?*. online. In: EV Engineering. Dostupné z: <https://www.evengeeringonline.com/what-is-a-battery-cycle/>. [cit. 2024-03-18].

SRB, Luboš, 2024. *Cena nabíjení elektromobilu – Tesla Supercharger*. online. In: Tesla Supercharger. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/tesla-supercharger-cena-nabijeni-v-cesku>. [cit. 2024-03-17].

SUN, Xiaoli; LI, Zhengguo; WANG, Xiaolin a LI, Chengjiang, 2020. Technology Development of Electric Vehicles: A Review. online. *Energies*. roč. 13, č. 1. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en13010090>. [cit. 2024-03-07].

ŠKODA AUTO A.S., 2024. *Ceník Škoda Kodiaq*. online. In: Škoda. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/_doc/634e9e51-81c5-4c60-8503-4ab557399835. [cit. 2024-03-17].

THARAD, Vijay, 2023b. *ELECTRIC VEHICLE BATTERY TYPES AND COMPARISON OF BATTERY PARAMETERS*. online. In: Nenalezený vydavatel. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/electric-vehicle-battery-types-comparison-parameters-vijay-tharad>. [cit. 2024-03-22].

THARAD, Vijay, 2023a. *KNOW ABOUT DIFFERENT TYPES OF ELECTRIC MOTORS USED ON ELECTRIC VEHICLES*. online. In: LinkedIn.com. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/know-different-types-electric-motors-used-vehicles-vijay-tharad>. [cit. 2024-02-04].

THARAD, Vijay, 2023b. *ELECTRIC VEHICLE BATTERY TYPES AND COMPARISON OF BATTERY PARAMETERS*. online. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/electric-vehicle-battery-types-comparison-parameters-vijay-tharad>. [cit. 2024-03-18].

TRAN, Dai; VAFAEIPOUR, Majid; EL BAGHDADI, Mohamed; BARRERO, Ricardo; VAN MIERLO, Joeri et al., 2020. *Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies: Topologies and integrated energy management strategies*. online. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Pergamon, s. 109596-109596. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.109596>. [cit. 2024-03-18].

UN-NOOR, Fuad; PADMANABAN, Sanjeevikumar; MIHET-POPA, Lucian; MOLLAH, Mohammad a HOSSAIN, Eklas, 2017. *A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development*. online. In: Energies 2017, Vol. 10, Page 1217. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, s. 1217-1217. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/EN10081217>. [cit. 2024-03-18].

VALEO, 2023. *Basic Understanding of Automotive Electric Motors*. online. In: Valeo Service. Dostupné z: <https://www.valeoservice.in/en-in/newsroom/basic-understanding-automotive-electric-motors>. [cit. 2024-03-11].

WAGENKNECHT, Martin, 2018. *Micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, plug-in hybrid. Jaký je mezi nimi rozdíl?*. online. In: FDrive.cz. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-1857>. [cit. 2024-03-08].

ZVĚŘINOVÁ, Iva; ŠČASNÝ, Milan; MARTÍNKOVÁ, Zuzana a MÁCA, Vojtěch, 2019. *Rozvoj trhu s elektromobily v České republice: veřejná podpora a zkušenosti ze zahraničí*. online. In: TZB-info. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici>. [cit. 2024-01-03].