

# Analýza nabíjení elektromobilů

Analysis of electric car charging

**Tomáš Kvasnica**

Bakalářská

Vedoucí práce: doc. Ing. Lukáš Prokop, Ph. D

Ostrava, Rok 2023

Č.j.VSB/22/079182

### Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Kvasnica**  
Studijní program: B0713A060005 Elektroenergetika  
Téma: Analýza nabíjení elektromobilů  
Analysis of Electric Car Charging  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický úvod – úvod do elektromobility.
2. Popis způsobu nabíjení elektromobilů.
3. Popis variantních řešení pro nabíjení elektromobilů.
4. Analýza možností řízení kaskády nabíjecích stanic.
5. Vyhodnocení nabíjecích cyklů pro vybrané elektromobily.
6. Závěr a diskuze.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] S. Mohanty et al., “Demand side management of electric vehicles in smart grids: A survey on strategies, challenges, modelling, modeling, and optimization,” Energy Reports, vol. 8, pp. 12466–12490, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.09.023.
- [2] “Global electric vehicle stock by region.” [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-andstatistics/charts/global-electric-vehicle-stock-by-region-2010-2020>.
- [3] J. Zhou, Y. Zhang, Z. Li, R. Zhu, and A. zeman, “Stochastic scheduling of a power grid in the presence of EVs, RESs, and risk index with a developed lightning search algorithm,” J Clean Prod, vol. 364, p. 132473, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132473.
- [4] Chupradit, S., Widjaja, G., Mahendra, S.J., Ali, M.H., Tashtoush, M.A., Surendar, A., Kadhim, M.M., Oudah, A.Y., Fardeeva, I., Firman, F.  
Modeling and Optimizing the Charge of Electric Vehicles with Genetic Algorithm in the Presence of Renewable Energy Sources (2023) Journal of Operation and Automation in Power Engineering, 11 (1), pp. 33-38.
- [5] Kocsis, D., Kiss, J.T., Bellér, G., Árpád, I. Electromobility: The Spreading of Electric Cars Versus Internal Combustion Engine Vehicles (2023) Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 330-338.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2022

Datum odevzdání: 30.04.2023

Garant studijního programu: prof. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.

V IS EDISON zadáno: 07.11.2022 14:22

## **Prohlášení**

Potvrzuji tímto, odevzdání své digitální kvalifikační práce. Prohlašuji, že jsem tuto kvalifikační práci vypracoval samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30.04.2023

Tomáš Kvasnica

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je posouzení nabíjecích cyklů konkrétních elektromobilů a využití kaskády nabíjecích stanic. Úvodní část představuje druhy elektromobilů a baterie, které jsou či byly používány. Dále práce zpracovává způsoby nabití elektromobilu a výkony používaných konektorů. V závěrečné části práce jsou rozebrány typy řešení kaskády od různých firem a vyhodnocení nabíjecích cyklů.

## **Klíčová slova**

Elektromobilita, Baterie, Kapacita, Nabíjecí cykly, Konektory, Nabíjecí stanice, Řízení kaskády nabíjecích stanic, Druhy nabíjení.

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is to evaluate the charging cycles of specific electric vehicles and the utilization of a charging station cascade. The introduction presents the types of electric vehicles and batteries that are currently used and were used in the past. Furthermore, this thesis addresses the methods of electric vehicle charging and the performance of used connectors. Finally, this thesis presents the types of cascade solutions from various companies and evaluates the charging cycles.

## **Key words**

Battery, Capacity, Charging cycles, Connector, Charging station, Charging stations cascade Management, Types of charging.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Lukášovi Prokopovi, Ph.D. za podnětné konzultace a cenné odborné informace.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

A	– Ampér (jednotka proudu)
kW	– Kilowatt (jednotka výkonu)
kWh	– Kilowatthodina (jednotka spotřeby elektrické energie nebo kapacity baterie)
V	– Volt (jednotka napětí)
AC	– Střídavý proud
DC	– Stejnoseměrný proud
ČEZ	– České energetické závody
PRE	– Pražská energetika
km/h	– Kilometry za hodinu (jednotka rychlosti)
Wh/kg	– Watthodina na kilogram (jednotka hustoty energie)
Wh/km	– Watthodina na kilometr (jednotka spotřeby elektromobilu)
NiMH	– Nikl-metal hydridový akumulátor
Ni-Cd	– Nikl-kadmiový akumulátor
°C	– Celsiův stupeň
SEI	– Solid Electrolyte Interface (pevná elektrolytová rozhraní)
HPC	– Vysokorychlostní nabíjení
LMS	– Load management systém (řízení zátěže)
Nm	– Newton metr (jednotka točivého momentu)
SoC	– State of charge (stav nabití)
Li-ion	– Lithium-ion baterie



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Popis prvků v elektromobilu[3].....	16
Obrázek 2 - prvky v Hybrid vozu [3] .....	17
Obrázek 3 - Výroba baterie elektromobilu[9] .....	19
Obrázek 4 - Proces nabíjení/vybíjení lithium-ion baterie [11] .....	20
Obrázek 5- Lithium-ion baterie – vybíjení [13].....	21
Obrázek 6 -nabíjení lithium-ion baterie [13].....	21
Obrázek 7- Lithium-ion baterie v podvozku auta[14] .....	22
Obrázek 8 - NIMH baterie[21] .....	23
Obrázek 9- umístění palubní nabíječky [25].....	26
Obrázek 10-ukázka wallboxu [29] .....	27
Obrázek 11- mapa nabíjecích stanic [31] .....	28
Obrázek 12 - Yazaki piny[35] .....	30
Obrázek 13 - Mennekes[35] .....	30
Obrázek 14 - Konektor typu SCAME [34] .....	31
Obrázek 15- GB/T AC/DC VERZE [35] .....	31
Obrázek 16- CHAdeMO [35].....	31
Obrázek 17-konektor Tesla [35].....	32
Obrázek 18 - CSS COMBO II [35].....	32
Obrázek 19 - EMS schneider – controller .....	38
Obrázek 20- WALLBOX commander 2.....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1- Parametry Li-ion článku .....	21
Tabulka 2 - olověná baterie parametry .....	23
Tabulka 3- ceny dodavatelů elektřiny [32] .....	29
Tabulka 4 - výkony jednotlivých konektorů [36] [37] [38]S .....	33
Tabulka 5 - Nissan leaf- parametry[36] .....	34
Tabulka 6 - Hyundai KONA[36] .....	35
Tabulka 7- Renault ZOE[36] .....	36
Tabulka 8 - Tesla model 3[36] .....	37
Tabulka 9 - Min. požadavky na jištění nabíjecích stanic.....	40
Tabulka 10 - celková spotřebovaná energie .....	41
Tabulka 11-Měření nabíjení Nissanu .....	44

## Seznam grafů

Figure 1 - součet proudů při nabíjení 3 elektromobilů .....	41
Figure 2 - průběh při použití kaskády .....	42
Figure 3 Nissan leaf průběh proudu .....	43
Figure 4 - Tesla .....	45
Figure 5 - KONA nabíjecí proud .....	46
Figure 6 - Renault ZOE nabíjecí proud.....	46

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Úvod do elektromobility</b> .....	<b>15</b>
2.1	<b>Elektromobil</b> .....	<b>15</b>
2.2	<b>Hybridní elektromobil</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>Druhy hybridních elektromobilů</b> .....	<b>18</b>
3.1	<b>Mild hybrid</b> .....	<b>18</b>
3.2	<b>Full hybrid</b> .....	<b>18</b>
3.3	<b>Plug-in-hybrid</b> .....	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Baterie</b> .....	<b>19</b>
4.1	<b>Konstrukce baterie</b> .....	<b>19</b>
4.2	<b>Lithium-ion baterie</b> .....	<b>20</b>
4.3	<b>Li-Polymerové baterie</b> .....	<b>22</b>
4.4	<b>Lithium-air baterie</b> .....	<b>22</b>
4.5	<b>Olověné baterie</b> .....	<b>22</b>
4.6	<b>Nickel – cadmium (NiCd) – Nikl-kadmiová baterie</b> .....	<b>23</b>
4.7	<b>NiMH (nickel – metal hydride) – Nikl-metalové hybridní baterie</b> .....	<b>23</b>
4.8	<b>Degradace baterií</b> .....	<b>24</b>
4.9	<b>Cyklická degradace</b> .....	<b>24</b>
4.10	<b>Kalendářní degradace</b> .....	<b>24</b>
4.11	<b>Teplotní degradace a fyzická degradace</b> .....	<b>24</b>
4.12	<b>degradace lithium-ion baterie</b> .....	<b>24</b>
4.13	<b>Recyklace baterií</b> .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Nabíjení</b> .....	<b>26</b>
5.1	<b>Palubní nabíječka</b> .....	<b>26</b>
5.2	<b>Domácí nabíjení Režim 1:</b> .....	<b>27</b>
5.3	<b>Domácí nabíjení Režim 2:</b> .....	<b>27</b>
5.4	<b>Domácí nabíjení „wallbox“ Režim 3:</b> .....	<b>27</b>
5.5	<b>Domácí nabíjení Režim 4:</b> .....	<b>28</b>
5.6	<b>Veřejné nabíjecí stanice</b> .....	<b>28</b>
5.7	<b>Rychlonabíjecí stanice</b> .....	<b>28</b>
5.8	<b>Supernabíječka</b> .....	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Konektory</b> .....	<b>30</b>

6.1	Typ 1 - Yazaki.....	30
6.2	Typ 2 – Mennekes.....	30
6.3	Typ 3 – „SCAME“.....	31
6.4	GB/T standard.....	31
6.5	CHAdeMO.....	31
6.6	Tesla.....	32
6.7	CCS – TYP 1 A TYP 2 (kombinovaný nabíjecí systém).....	32
7	Analýza získaných dat.....	34
7.1	Nissan Leaf I.....	34
7.2	Hyundai KONA.....	35
7.3	Renault ZOE.....	36
7.4	Tesla Model 3.....	37
8	Řízení kaskády nabíjecích stanic.....	38
8.1	Potřebný jistič.....	40
9	Analýza nabíjení elektromobilů.....	43
10	Diskuze.....	48
11	Závěr.....	49
13	Zdroje.....	51

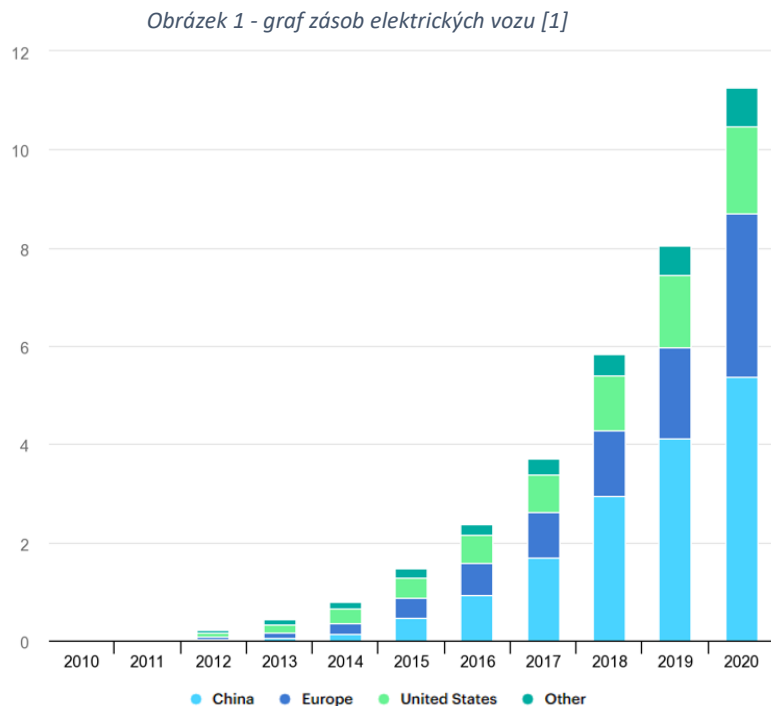
# 1 Úvod

Elektromobilita se stala důležitým článkem v automobilovém průmyslu především z hlediska snížení emisí a dále z důvodu nejistoty ohledně dostupného množství ropy na trhu v budoucnu. Evropská unie přitom spěje k omezení prodeje vozů se spalovacími motory do roku 2035. To má za následek velký vývoj elektromobilů nejen v Evropě, ale na celém světě. Elektromotory můžou pracovat zároveň se spalovacím motorem, kdy tato kombinace nabízí efektivnější jízdu. Elektrické motory nabízejí vysokou účinnost než u spalovacích motorů, na druhou stranu akumulátory reagují na nižší teploty velmi negativně. A proto výrobci píšou rozmezí dráhy, kterou elektromobil ujede. Baterie by měly být nabíjeny od 20 % až 80 % své kapacity. Toto rozmezí vede k delší životnosti a rychlému nabíjení. Vysoká nejistota dojezdu a občas zdlouhavá nabíjení vyvolává pochyby, které jsou způsobeny nedokonalostí a nevyspělostí akumulátoru.

S nynějším rozvojem infrastruktury nabíjecích stanic roste jejich počet a zároveň majitelé vozu tráví méně času nabíjením. Domácí nabíjení přináší chytrá řešení pro nastavení optimálního nabíjení vozu a zároveň je možno využít systém řízení nabíjecích stanic, díky kterým můžeme ušetřit nabíjením a nepřetěžovat síť.

## 2 Úvod do elektromobility

Elektromobilita se stává stále více populárním způsobem, jak snížit emise skleníkových plynů a zlepšit kvalitu ovzduší v městských oblastech. Elektromobily jsou poháněny elektromotory a bateriemi, které se dobíjejí z elektrické sítě, čímž snižují závislost na fosilních palivech a přispívají k udržitelnému rozvoji. V současné době elektromobily představují jednu z největších inovací v automobilovém průmyslu a předpokládá se, že budou hrát důležitou roli v budoucnosti mobility.



Graf výše znázorňuje zásoby elektrických vozů po celém světě v posledních letech. Viditelný je velký každoroční nárůst dostupných elektrických aut. Například v roce 2019 bylo v Evropě 1,9 miliónu elektromobilů, s rokem 2020 tato hodnota vzrostla na 3,3 miliónu. Naopak výrazný nárůst není viditelný ve Spojených státech, kde elektrických vozů meziročně přibývá přibližně 200 000

### 2.1 Elektromobil

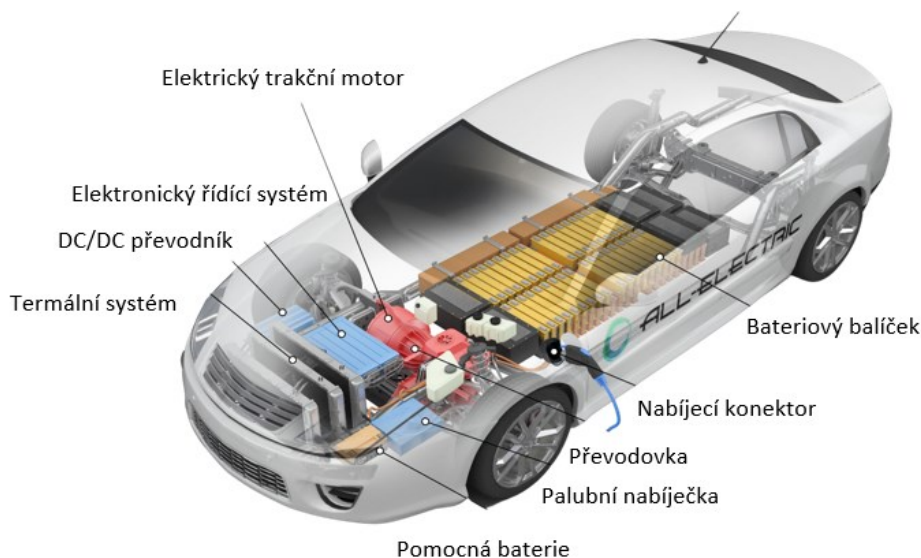
Za elektromobil považujeme vozidlo, které je poháněno elektrickou energií z akumulátoru a ke svému pohonu využívá elektromotor namísto benzínových nebo naftových motorů. Elektromobily jsou prezentovány jako tzv. bezemisní, protože do svého okolí nevypouštějí škodlivé látky jako např. oxid uhelnatý nebo oxid dusíku. V porovnání s auty se spalovacími motory zde nenajdeme základní komponenty jako je výfuk, spojka a zapalovací svíčky.

Elektrické vozy mají mnoho výhod oproti klasickým vozům. Jedna z hlavních výhod je účinnost elektromobilu, která se pohybuje kolem 85-95 %, zatímco klasické spalovací motory mají účinnost kolem 30 %. Kromě toho, že elektromobily nevytvářejí emise a jsou šetrnější k životnímu prostředí, je další výhodou jejich nižší celková cena provozu. Náklady na údržbu elektromobilu jsou obecně nižší a

cena spotřebované energie potřebné pro ujetí jednoho kilometru je srovnatelná nebo dokonce nižší než cena paliva u tradičních spalovacích vozů. Samotné elektromobily jsou obecně tišší než tradiční vozidla s pohonem spalovacím motorem, která bývají velmi hlučná.

Na druhou stranu se s elektromobily také pojí určité nevýhody, jako jsou obvykle vyšší pořizovací cena a vysoká hmotnost baterie. Další nevýhodou elektromobilů může být také omezený dojezd, který se může lišit v závislosti na stylu jízdy, topografii trasy a venkovním počasí. [2]

Obrázek 1 - Popis prvků v elektromobilu[3]



Elektromotor převádí elektrickou energii z baterie na mechanickou energii, která je následně přenášena na kola vozu a umožňuje jeho pohyb. Baterie je možné nabíjet z palubní nabíječky nebo pomocí nabíjecího konektoru. Pomocná baterie poté slouží pro napájení elektronického příslušenství vozidla. Při sešlápnutí brzdy se energie vrací zpět do baterie. Elektronický řídicí systém řídí tok proudu mezi baterií a elektromotorem. Převodník potom snižuje vysoké napětí z baterie na menší napětí do pomocné baterie viz. Obrázek 1 [3]

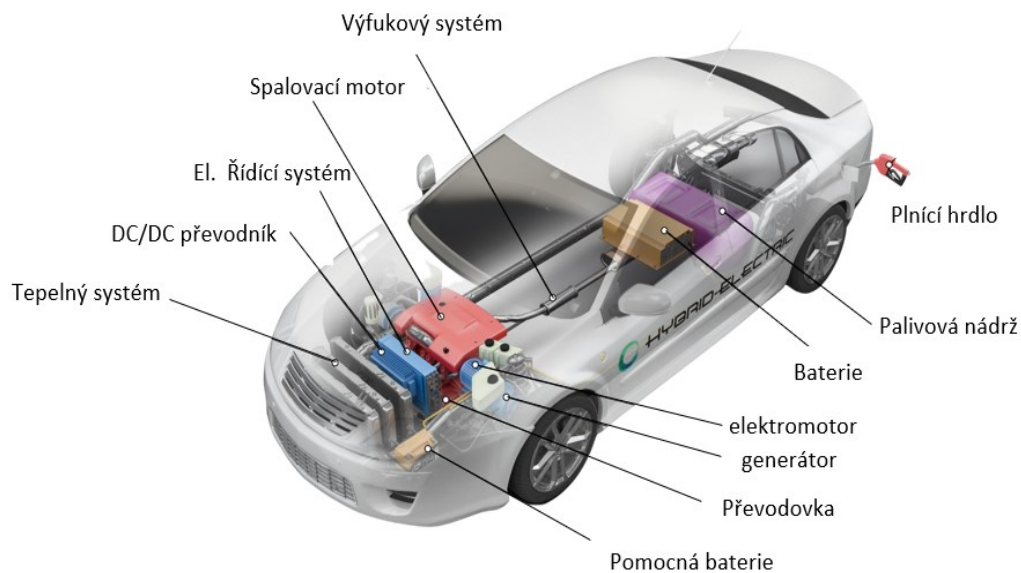
## 2.2 Hybridní elektromobil

Hybridní elektromobil využívá kombinaci spalovacího motoru a jednoho nebo více elektromotorů, což vozidlu umožňuje využívat k pohonu buď pouze elektrickou energii, pouze palivo nebo oba zdroje současně. Když se vozidlo pohybuje pouze na elektřinu, elektromotor využívá energii z akumulátoru. Akumulátor je pak nabíjen pomocí rekuperace, což je proces, kdy se kinetická energie vzniklá při brzdění mění na elektrickou energii a ukládá se zpět do baterie. Baterii však nelze dobíjet ze sítě. Tento proces pomáhá prodloužit dojezd vozidla na jedno nabití baterie a snižuje náklady na palivo. Když je potřeba více výkonu, spalovací motor se zapne a začne pohánět vozidlo, přičemž v případě potřeby mohou být spalovací motor a elektromotor spuštěny současně pro dosažení maximálního výkonu. [3]



Jednou z hlavních výhod elektromobilů je kombinace emisně čistého provozu s nízkou spotřebou energie. Díky použití elektromotoru nevznikají emise z výfukových plynů, což přispívá k ochraně životního prostředí. Zároveň mohou být elektromobily velmi úsporné a efektivní při využití energie, což může vést k nižším provozním nákladům a snížení závislosti na fosilních palivech. [3]

Obrázek 2 - prvky v Hybrid vozu [3]



Pomocná baterie poskytuje energii pro spuštění vozu před zapojením trakční baterie. Generátor při brzdění vytváří elektrickou energii z roztáčejících se kol a tuto energii přenáší zpět do trakční baterie. Některá vozidla používají motorové generátory, které plní jak funkci pohonu, tak regenerace energie. Elektromotor se využívá na krátké vzdálenosti, dopravní zácpy nebo pomalé jízdy. Spalovací motor je využíván při nutnosti větších tras a výkonu. [3]

### **3 Druhy hybridních elektromobilů**

Hybridní elektromobily představují ekologičtější alternativu k tradičním benzínovým nebo dieselovým vozidlům. Existuje několik druhů hybridních vozů, mezi něž patří Mild Hybrid, Full hybrid a Plug-in-Hybrid.

#### **3.1 Mild hybrid**

U tohoto typu hraje spalovací motor hlavní roli v kombinaci s elektromotorem, který poskytuje výpomoc při potřebě vyššího výkonu jako například při rozjezdu a zrychlování či v případě neefektivního režimu spalovacího motoru. Během brzdění se pomocí elektromotoru získává elektrická energie, která se ukládá do baterie. Elektromotor pouze podporuje pohyb vozidla. [5]

#### **3.2 Full hybrid**

Full hybrid vozidlo může být poháněno buď elektromotorem, spalovacím motorem, případně jejich kombinací. Jelikož spalovací motor má mnohem vyšší výkon než elektromotor, bývá jízda na elektrickou energii omezena na kratší vzdálenost nebo nižší rychlost. Akumulátor se nabíjí pouze rekuperací. [4]

#### **3.3 Plug-in-hybrid**

Jedná se o vyšší technologii Full hybridu. Baterie lze nabíjet ze sítě pomocí palubní nebo externí nabíječky na rozdíl od full hybridu. Objevují se zde baterie s velkou kapacitou. Desítky kilometrů lze ujet bez použití spalovacího motoru, což znamená, že není třeba brát v úvahu nabíjecí infrastrukturu. Vzhledem k složitější konstrukci vozidla má však vyšší pořizovací náklady. [5]

## 4 Baterie

Baterie představuje nejdůležitější část elektromobilu. Udává dojezd a životnost celého elektromobilu. Podstatnými parametry baterie jsou váha, napětí, výkon, množství energie, kterou je schopna uchovat (kapacita Ah) a hustota energie, kterou je schopna uchovat na jednotku hmotnosti (Wh/kg). Baterie elektromobilu se velmi liší od baterií používaných ve spotřební elektronice, jako jsou notebooky a telefony, protože musí zvládnout až desítky kW na omezenou hmotnost a cenu. [6]

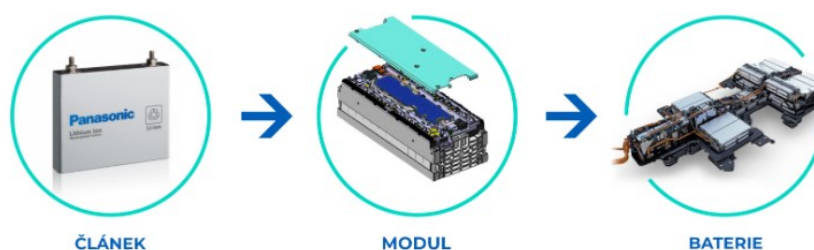
Nízké teploty mají negativní vliv na chemické reakce uvnitř baterie, což vede k nižšímu dojezdu elektromobilu v zimním období. V nízkých teplotách se v akumulátoru objevuje vysoký vnitřní odpor, což způsobuje značné ztráty. Proto výrobci často využívají aktivní ohřev baterie, aby byla schopna fungovat efektivně i v nízkých teplotách. Součástí baterie elektromobilu je speciální ochranná konstrukce, která obklopuje akumulátor a chrání ho v případě havárie.

Pro spolehlivý, dlouhodobý a bezpečný chod baterie je nutností, aby se nabíjela do 80 %. Nabíjení baterie není lineární a mění se vzhledem ke stavu nabití baterie, a proto se v rozsahu od 80 % do 100 % nabíjí velmi pomalu, protože se snižuje množství elektrického náboje kvůli zpomalení elektrochemické reakce. Baterie mají omezenou kapacitu přibližně o 5 kWh kvůli bezpečnostní rezervě, která slouží proti přehřátí a pro správné fungování při méně ideálních podmínkách. [7]

### 4.1 Konstrukce baterie

Baterie se skládá z mnoha (až 1000) malých bateriových článků, které jsou propojeny sériově nebo paralelně, čímž se dosáhne požadované hodnoty napětí a proudu. Existují tři hlavní typy bateriových článků: válcové, hranolové a pouzdrové, přičemž každý z těchto typů má své specifické výhody a nevýhody. Všechny tyto typy mají typicky napětí mezi 3–4 volty. Články jsou v podstatě kovová pouzdra, která obsahují anodu, katodu a dielektrikum ponořené do elektrolytické kapaliny.

Válcové články jsou nyní nejlepší technologií, protože jsou levné a mají velkou kapacitu. Tyto články využívají elektromobily Tesla. Volkswagen využívá hranolové články, které mají lepší chlazení, ale nižší kapacitu než válcové články. Dále Nissan, Renault a Chevrolet využívá pouzdrové články. Obvykle se do každého modulu vloží kolem 12 článků, ale toto číslo se může lišit v závislosti na výrobci a modelu vozidla. Tyto moduly jsou pak umístěny do kovového rámu, který je obalí, a chrání články před fyzickými nárazy. Posledním krokem je vložit moduly do celistvé baterie viz obrázek 4. Akumulátor je poté po uložení do podlahy, aby se snížilo těžiště vozu a takto se zvýšila stabilita [8]

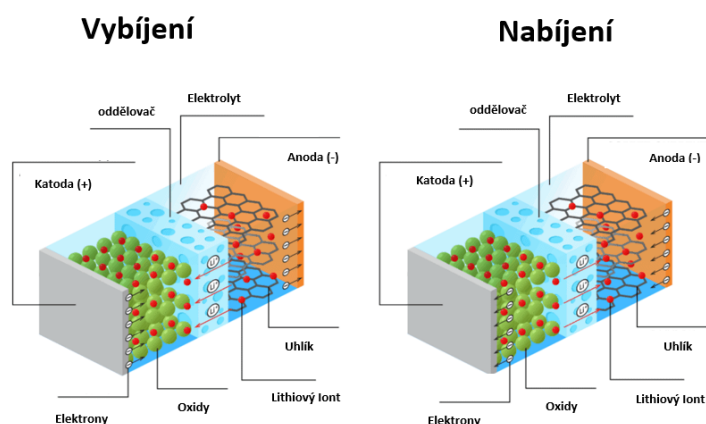


Obrázek 3 - Výroba baterie elektromobilu[9]

## 4.2 Lithium-ion baterie

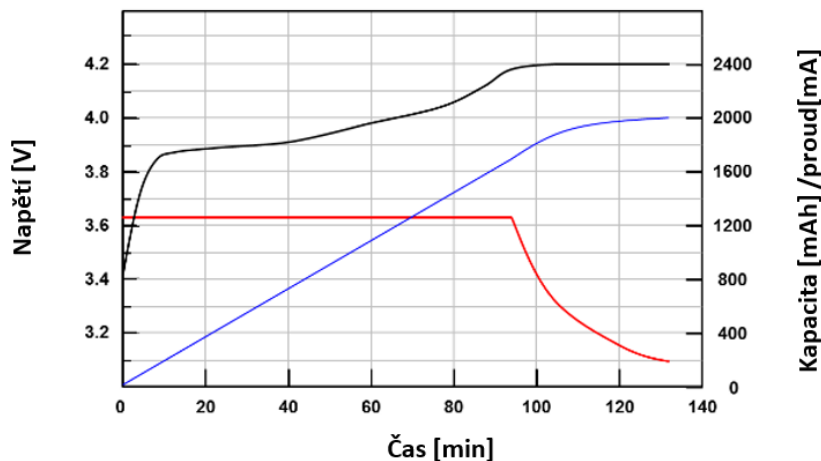
Jedná se nejpoužívanější druh baterie v elektromobilech. Lithium patří mezi lehké kovy s vysokým elektrochemickým potenciálem a disponuje také nejvyšší měrnou energií na jednotku hmotnosti. Obsahuje alkalický nebo jiný nekyselý elektrolyt. Rozlišuje se dle materiálu na elektrodách. Kladná elektroda bývá obvykle vyrobena ze směsi lithia, niklu, kobaltu a manganu, zatímco záporná elektroda je nejčastěji vyrobena z grafitu. Dle těchto materiálů se mění jmenovité napětí.

Mezi hlavní výhody patří velká kapacita, dlouhá životnost, nízká schopnost samovybíjení, vysoké napětí baterie a absence tzv. „memory effectu“. Lithium-ion baterie má i několik nevýhod. Mezi hlavní patří vysoká cena výroby, riziko nebezpečného výbuchu, obsah škodlivých chemikálií a vznik elektronického odpadu při likvidaci. [10]



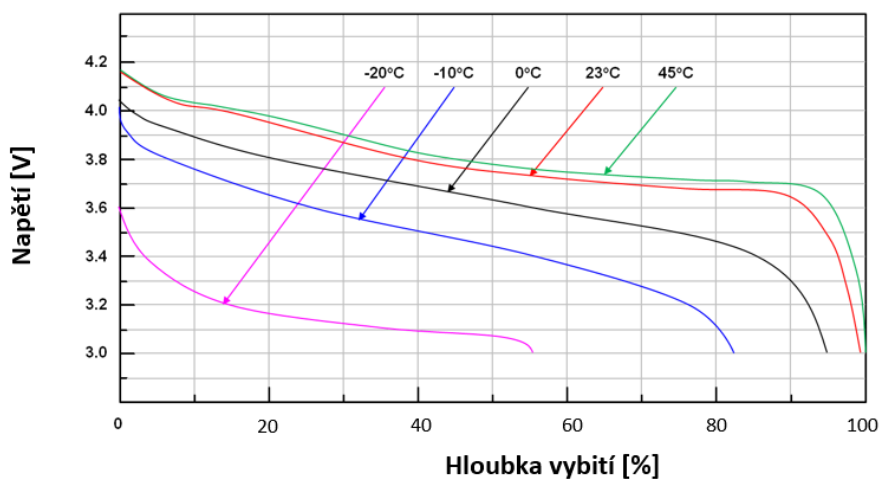
Obrázek 4 - Proces nabíjení/vybíjení lithium-ion baterie [11]

Během procesu vybíjení, viz obrázek č. 5, dochází v anodě k oddělení atomů lithia od jejich elektronů a k jejich následné ionizaci. Tyto ionty se následně přes elektrolyt pohybují směrem ke katodě, kde se rekombinují s elektrony a obnovují svou neutrální podobu. Při nabíjení se kladné lithiové ionty pohybují směrem k záporné elektrodě (anodě). Tyto ionty se redukujejí a ukládají se v anodě. Během tohoto procesu vzniká teplo, které vede ke ztrátě energie. [12]



Obrázek 6 - nabíjení lithium-ion baterie [13]

Obrázek znázorňuje nabíjecí charakteristiku lithium-ion baterie. Na počátku nabíjení napětí na článku velmi rychle vzrůstá, zatímco proud má konstantní. Přibližně po 80% kapacity se láme a klesá do té doby, než se baterie nabije na 100 %. Napětí na druhou stranu začne být kolem hodnoty 80% konstantní. Maximální hodnota článku se mění dle použitého materiálu.



Obrázek 5- Lithium-ion baterie – vybití [13]

Obrázek výše znázorňuje vybíjecí charakteristiku lithium ion baterie. Z grafu je možné vyčíst, že průběhy napětí se v závislosti na teplotě liší. Nejlepší stav při vybíjení znázorňuje křivka s teplotou 23 °C, protože se jedná o pracovní teplotu baterie. Během 40 % hloubky vybití napětí na článku téměř neklesá až po 80% hloubky vybití, kde se tento stav lomí. Naopak teploty 45 °C a -20 °C, můžou být pro baterii kritické. V tabulce 1 jsou uvedeny základní parametry Li-ion článku.

<b>maximální hustota článku:</b> 100-265 [Wh/kg]	<b>napětí článku:</b> 3,6-4,2 [V]	<b>životnost baterie:</b> 2000 cyklů	<b>Pracovní nabíjecí teplota:</b> 0–50 °C	<b>Pracovní vybíjecí teplota:</b> –20 °C až 75 °C
---	--------------------------------------	---	--	--

Tabulka 1- Parametry Li-ion článku



Obrázek 7- Lithium-ion baterie v podvozku auta[14]

### 4.3 Li-Polymerové baterie

Jsou velmi podobné Li-ion bateriím se svojí kapacitou a výkonem, ale místo tekutého elektrolytu využívají pružný polymerní elektrolyt. Li-Polymerová baterie se dá do určité míry mechanicky ohýbat a má nižší hmotnost než Li-ion baterie. [15]

### 4.4 Lithium-air baterie

Typ baterie, který je stále ve výzkumu a neobjevuje se v žádných průmyslových aplikacích. Její teoretická energetická hustota je větší než 800 wh/kg. Je podobná klasické lithium-ion baterii, akorát má svou katodu vystavenou kyslíku. Jedná se o polootevřený systém, který používá kyslík z okolního vzduchu jako zdroj a k uchování a přeměně energie. Při vybíjení je anoda lithia oxidovaná a poté směřuje na kyslíkovou katodu, přesně naopak je tomu při nabíjení, kdy je celý proces obrácený. Tato baterie by mohla přispět k důležitému pokroku v elektromobilitě. Hlavním limitem je právě katoda, když bude na ní přítomná například vodní pára, může celou baterii zničit. Další je problém s úplným vybitím. Tento problém vzniká kvůli zablokování katody výpalkami jako je lithiový peroxid. Tyto výpalky vznikají konstrukcí a chemickými vlastnosti Lithium-air baterie. [16]

### 4.5 Olověné baterie

Využívají stejnou technologii již od 90. let, což je využití elektrochemické reakce mezi kyselinou sírovou a olověnými elektrodami. V současnosti jde o málo používané baterie převážně kvůli jejich nízké kapacitě. Pro srovnání, olověná baterie má hustotu energie 30Wh/kg, zatímco benzín má hustotu energie 93x větší. Neklade vysoké náklady na výrobu. Mezi hlavní výhody patří cena, široká dostupnost, schopnost hlubokého vybití a vysoký proud, který je potřebný při startování motoru.

Její použití je převážně ve vozech se spalovacím motorem. Mezi hlavní nevýhody spadá nízká kapacita baterie, krátká životnost a obsah olova a kyseliny sírové, které jsou toxické a mohou být pro lidský život ohrožující. V tabulce 2 jsou uvedeny základní parametry olověné baterie. [17]

Tabulka 2 - olověná baterie parametry

<b>maximální hustota článku:</b> 40 [Wh/kg]	<b>napětí článku:</b> 2,1 [V]	<b>životnost baterie:</b> 500-800 cyklů	<b>Pracovní doporučená teplota:</b> -40 až 50 °C	<b>Výkon:</b> 180 W/kg
--	----------------------------------	--	---	---------------------------

#### 4.6 Nickel – cadmium (NiCd) – Nikl-kadmiová baterie

Tyto baterie byly nejvíce používány v 90. letech pro elektromobily.[23] Kvůli vysoké toxicitě kadmia je jejich výroba v nynější době zakázána. Kladná elektroda je vyrobena z hydroxidu niklu a zápornou elektrodu tvoří kadmium. Elektrolyt je tvořen ve vodě rozpuštěným hydroxidem draselným. Postupně byly nahrazeny NiMH a lithium-ion bateriemi. Mezi jejich hlavní výhody patří vysoká hloubka vybití, během vybíjení se ochlazuje, teplotní rozsah až 70 °C, lze je skladovat ve vybitém či plně nabitém stavu, aniž by byl akumulátor poškozen. Hlavní nevýhoda je nízká energetická hustota a velká schopnost samovybíjení. [18]

#### 4.7 NiMH (nickel – metal hydride) – Nikl-metalové hybridní baterie

Nejvíce používány v hybridních vozech kvůli jejich vysoké energetické hustotě a nadstandardním vlastnostem při nabíjení a vybíjení. Katodu tvoří kovový hydroxidový materiál a jako anoda je použit niklový prášek. Při nabíjení se kladný aktivní materiál oxiduje a uvolňuje elektrony, zatímco záporný materiál se snižuje a tyto elektrony spotřebovává. Elektrony pak vytváří proud, který teče v externím obvodu. Elektrolyt slouží jako prostředek pro pohyb iontů mezi elektrodami uvnitř baterie, například v niklo-kadmiových a lithiových článcích, zatímco v kyselině olovnaté je aktivním účastníkem v elektrochemické reakci. [19]

Tyto druhy akumulátoru mají největší schopnost samovybíjení. Po prvních 20 hodinách se vybíjí až o 20 % své kapacity. Nechybí zde ani tzv. „memory effect“, a proto je nutné baterii občas zcela vybit. [20]



Obrázek 8 - NiMH baterie[21]

## 4.8 Degradace baterií

Degradace baterie elektromobilu se projevuje poklesem její kapacity, tedy množství energie, které může baterie uchovat a poskytnout. Tento proces je způsoben různými faktory, včetně teploty, počtu nabíjecích cyklů, rychlosti nabíjení a vybíjení, hloubky vybíjení, věku baterie a dalších proměnných. Tyto faktory mohou vést k oxidaci elektrod, vytvoření pláště na povrchu elektrod, narušení elektrolytu a dalším negativním účinkům, které snižují výkon a životnost baterie.

Degradace baterií elektromobilů je tedy významným tématem pro výzkumníky, výrobce i uživatele. Cílem je vylepšit technologie baterií a prodloužit jejich životnost, což přispěje k udržitelnějšímu a úspornějšímu provozu elektromobilů.

## 4.9 Cyklická degradace

Při každém nabití a vybití baterie se baterie opotřebovává, což má za následek snížení kapacity. Rychlost degradace závisí na rychlosti, teplotě a staří baterie

## 4.10 Kalendářní degradace

Způsobena rozpadem chemických sloučenin uvnitř baterie. Příčinou je staří, počet cyklů a také špatné skladování baterie.

## 4.11 Teplotní degradace a fyzická degradace

Teplotní degradací znamená, že příliš vysoké teploty způsobují rychlejší cyklickou degradaci, zatímco nízké teploty zpomalují reakci v baterii. Fyzická obsahuje jakoukoliv formu mechanického poškození jako například otřesy, vibrace.

## 4.12 degradace lithium-ion baterie

Nejčastěji se v této baterii objevuje tzv. mechanická degradace, kdy dochází ke ztrátě zásob lithia způsobena tvorbou a růstem pevné mezifázové vrstvy elektrolytu (SEI). Tato vrstva vzniká během prvních cyklů nabíjení a vybíjení na povrchu anody. SEI vzniká důsledkem elektrolytické reakce mezi anodou a elektrolytem a slouží k oddělení anody od elektrolytu a zajišťuje stabilitu celého systému, ale během nabíjení a vybíjení mění své chemické vlastnosti, což vede ke ztrátě lithia. [22]

## 4.13 Recyklace baterií

Jednou z nejefektivnějších metod je mechanická termodynamická recyklace. Účinnost této metody je 91 %. Moduly se vyjmou z ochranné schránky a dále se v drtičce ve vakuu rozdrtí, aby se zabránilo zapálení. Po rozdrcení je všechn materiál prašnou hromadou. Od prašné hromádky se pomocí magnetického separátoru oddělí plast, hliník a měď. Poté získáme jemný šedý prášek, který



obsahuje cenné suroviny. Nikl, mangan a lithium poté získáme separací šedého prášku pomocí hydrometalurgie.

Staré a funkční baterie je energeticky výhodnější repasovat a použít pro uložení elektrické energie. Například v Amsterdamu využívá fotbalový stadion 148 starých baterií Nissan Leaf k vytvoření 3MW bateriového uložení. Toto uložení využívá pro vyrovnání špiček během utkání.[23]

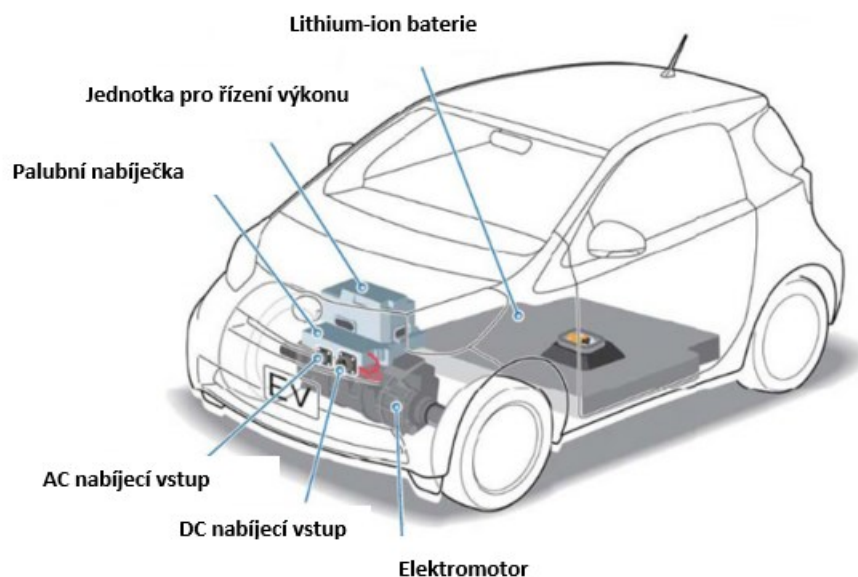
## 5 Nabíjení

Nabíjení baterií probíhá pomocí nabíjecích stanic anebo pomocí klasické domácí zásuvky. Nabíjecí stanice jsou zařízení s elektrickou energií, která se využívá pro nabíjení elektrických vozidel. Umožňují rychlé nabíjení vozidel stejně jako benzinové pumpy pro spalovací motory. Mohou být pro domácí nebo komerční užití.

Komerční jsou umístěny v místech veřejného prostoru jako např. parkoviště, čerpací stanice, obchodní centra apod. Domácí jsou přímo umístěné na domácí elektrickou síť a umožňují tak nejjednodušší způsob nabíjení, zato však pomalejší než v komerční nabíjecí stanici. Pro domácí užití se nejčastěji využívají wallboxy. [24]

### 5.1 Palubní nabíječka

Nabíjení stejnosměrným proudem (DC) má vyšší výkon a větší rychlost nabíjení, a to z důvodu, že není nutné mít převodník v baterii ze střídavého proudu (AC) na stejnosměrný. O tento proces se stará palubní nabíječka, která převádí střídavou veličinu na stejnosměrnou, kterou poté zašle do baterií. Pokud je nabíjení stejnosměrné, není funkce palubní nabíječky potřeba a rovnou se energie zašle do baterií přes BMS. Palubní nabíječka umožňuje především monitorování proudu a napětí, kterými se baterie nabíjí (Voltage či Current Control Mode), aby zajistila její optimální životnost. Palubní nabíječka a výkon nabíjecí stanice je limitujícím faktorem v rychlém nabíjení elektromobilu. [25]



Obrázek 9- umístění palubní nabíječky [25]

Palubní nabíječky také pracují s konstantním napětím nebo konstantním proudem, aby zajistily správný chod nabíjení baterie. Tímto se chrání i životnost baterií. Při nabíjení konstantním proudem baterie rychle zásobuje energii, jenže hrozí přehřívání v konečných fázích nabíjení. Naopak konstantním

napětím hrozí, že na počátku bude velký nárůst proudu. Proud způsobí velké oteplení baterie, což by mohlo vést k snížení životnosti. [26]

## 5.2 Domácí nabíjení Režim 1:

Nabíjení se síťovým střídavým napětím 230/400 Voltů (2,3 – 3,6 kW). Maximální proud je 16 A. Jedná se o tzv. pomalé nabíjení. Kabel má konektor (TYP 2) do elektrického vozu a zástrčku do domácí sítě TN. V kabelu nedochází k žádné komunikaci mezi vozidlem. Možnost pořídit si třífázovou průmyslovou zásuvku (400 V až 22kW) sníží dobu nabíjení přibližně o třetinu. Předpokladem je, aby byla zajištěna bezpečnost proti chybovým proudům. Hrozí nebezpečí přehřátí, v USA je tento režim zcela zakázaný. Nejčastěji se užívá pro motocykly. [27]

## 5.3 Domácí nabíjení Režim 2:

Speciální nabíjení střídavým proudem pomocí speciálního kabelu z průmyslové nebo domácí zásuvky. Kabel má v sobě ochranné prvky proti přepětí, nechtěným vlivům a ochranu proti úrazu elektrickým proudem. Maximální nabíjecí proud je 13 A. Tyto kabely jsou obvykle součástí každého vozu. Na rozdíl od Režimu 1 probíhá mezi kabelem a vozidlem komunikace. [27]

## 5.4 Domácí nabíjení „wallbox“ Režim 3:

Nástěnná nabíjecí stanice, tzv. wallbox do zdi, zvýší rychlost nabíjení a zároveň bude proces nabíjení mnohem bezpečnější. Chytřejší wallboxy umí optimalizovat celý proces nabíjení, můžou tedy nabíjet např. pouze v době nízkého tarifu, anebo při větší zátěži v domácnosti svůj výkon snížit. Mají v sobě integrovaný kabel s konektorem typu 2, díky kterému není nutné vždy kabel z auta vytahovat. Dále nabíjí proudem DC, kde je nutné, aby vozidlo si tento proud usměrnilo pomocí palubní nabíječky. Wallbox má samostatný okruh s příslušnou elektroinstalací. Zde probíhá komunikace mezi nabíjecí stanicí a vozidlem. V tomto zařízení je i zahrnutý vzdálený přístup, kdy je možné pomocí wifi sítě sledovat celý průběh nabíjení. Cena tohoto zařízení je v rozmezí od 12 000 Kč do 25 000 Kč. U starších domů je nutná nová elektroinstalace, další nutností je elektrická přípojka 400 V a vlastní proudový chránič typu A. Nejčastěji se vytváří komunikace s měniči a fotovoltaickými panely, aby byla cena co nejmenší. Typické výkony jsou 22kW a 11kW. [28]



Obrázek 10-ukázka wallboxu [29]

## 5.5 Domácí nabíjení Režim 4:

Nabíjení stejnosměrným proudem tzv. rychlé nabíjení. Nabíjení externím nabíječem, který je pevně uchycen ke stanici. Všechny ochranné a jistící prvky jsou součástí zařízení. [27]

## 5.6 Veřejné nabíjecí stanice

Dominují svojí vyšší rychlostí nabíjení ve srovnání s domácím nabíjením. V České republice je v nynější době 1266 dobíjecích stanic. Na 100 elektromobilů u nás připadá 22 nabíjecích stanic, v EU je to přibližně v průměru 15. [30]

## 5.7 Rychlonabíjecí stanice

Rychlonabíjecí stanice s výkonem 40 kW, které díky nabíjení stejnosměrným proudem dokážou za 30 minut vůz nabít na 80 %. Je však nutná komptabilita s elektromobilem, kterou mají jen určité typy vozu. Velmi rapidně roste jejich počet. [27]

## 5.8 Supernabíječka

Nejvýkonnější nabíjecí stanice v ČR je tzv. supernabíječka s výkonem až 150 kW nejen pro elektromobily Tesla. Za méně než 10 minut je schopná vůz nabít na dojezd 100 km. V současnosti je v České republice provozováno 6 těchto supernabíječek, a to městech Humpolec, Brno, Olomouc, Kamenný újezd, Lovosice a Vestec. Nabíjení je zde zcela zdarma.



Obrázek 11- mapa nabíjecích stanic [31]

Na obrázku je možné vidět, že největší množství nabíjecích stanic je v největších městech (Praha, Ostrava, Brno) a nejmenší počet vidíme v horských oblastech jako například Beskydy a Orlické hory.

Tabulka 3- ceny dodavatelů elektřiny [32]

		Nabíjecí stanice			domácí nabíjení	
		cena za kWh			cena za kW	
		AC nabíječka	DC nabíječka	HPC	Nízky tarif	vysoký tarif
ČEZ	registrování	8 Kč	13 Kč	18 Kč	8,654 Kč	8,654 Kč
	neregistrování	10 Kč	15 Kč	20 Kč		
PRE	registrování	7 Kč	9 Kč	11 Kč	7,92 Kč	8,120 Kč
	neregistrování	6 Kč	7 Kč	9 Kč		
EON	registrování	7,9 Kč	11,9 Kč	16,9 Kč	3,504 Kč	3,894 Kč
	neregistrování	9,9 Kč	13,9 Kč	14,9 Kč		

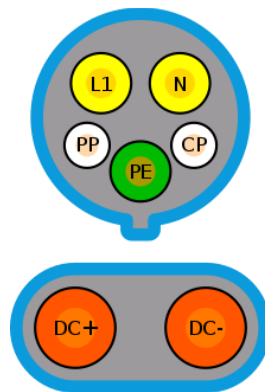
Tabulka 3 ukazuje ceny dodavatelů elektřiny. V tabulce je možné pozorovat, že nejdražší nabití bude u společnosti ČEZ a nejlevnější u společnosti PRE. ČEZ má u nabíjení poplatek ve výši 2 koruny za každou minutu stání po nabití 80 %, a proto můžete být u stanice omezený čas. [33] PRE nabízí tzv. lítačku, díky které můžete nabíjet za sníženou cenu, a není nutný platit jednorázový poplatek 20 Kč.

## 6 Konektory

V minulosti první elektromobily využívaly ke svému nabíjení indukční spojení, kdy docházelo k nabíjení pomocí elektromagnetické indukce. Tento způsob nebyl zcela efektivní, a proto byly vynalezeny AC konektory.

### 6.1 Typ 1 - Yazaki

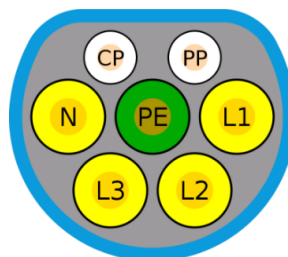
Jinak zvaný SAE J1772, který vznikl v roce 2001 v Kalifornii. Dříve se používal v Evropě, ale v nynější době se využívají v Americe a Asii. Nabíjí se pomocí střídavého proudu. Má 5 kontaktů, z toho 2 kontakty pro přenos střídavého napětí, jeden zemnicí, komunikační (PP) mezi vozem a nabíjecí stanicí a dále vzdálenostní (CP) pro správné zapojení konektoru. Je určen pro jednofázové nabíjení s proudem 16 A (pomalé) až 80 A (rychlé) a napětím 120-240 V. Používá se pouze pro jednofázové nabíjení. Tento konektor nenabízí možnost uzamčení, což znamená, že každý může bez povolení odpojit nabíjecí konektor.[34]



Obrázek 12 - Yazaki piny[35]

### 6.2 Typ 2 – Mennekes

Název „Mennekes“ získal po stejnojmenné firmě, která zpracovala návrh na tento konektor. Je určen pro vozy vyrobené nebo určené na evropský trh. Má možnost třífázového nebo jednofázového nabíjení střídavým proudem. Obsahuje 7 kontaktů, 3 nebo 1fázový pin, komunikační, kontrolní, nulový pin a ochranný. Ke své komunikaci využívají signalizační protokol J1772. Podporuje automatický uzamykatelný systém. Prvním pinem je vzdálenostní pin (PP), u kterého, pokud není správně zasunut



Obrázek 13 - Mennekes[35]

do automobilu nebo nabíjecí stanice, bude nabíjení zakázáno. Dále se v tomto konektoru nachází kontrolní pin (CP), který je odpovědný za signalizaci o selhání či poskytování informace o stavu nabití. Další piny slouží pro ochranu (PE) či přenos proudu (AC).[34] [35]

### 6.3 Typ 3 – „SCAME“

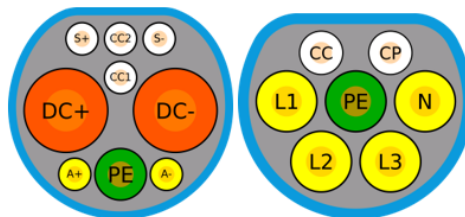
Jedná se o italský standard, který se používá na straně stanice. Slouží k technologii „V2G“ neboli využití elektromobilu jako akumulátoru. Nepoužívá se v České republice.[34]



Obrázek 14 - Konektor typu SCAME [34]

### 6.4 GB/T standard

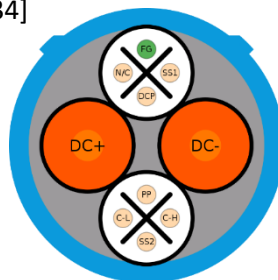
Používá se pouze v Číně, kde také byl vynalezen. Vypadá naprosto identicky jako konektor typu 2, ale kabely jsou uspořádané obráceně. Verze pro AC a DC nabíjení.[34]



Obrázek 15- GB/T AC/DC VERZE [35]

### 6.5 CHAdeMO

Název získala zkrácením věty z francouzského „chargé de move“, což v překladu znamená „nabij a jed“. Využíván převážně v Japonsku. Konektor byl vyvinut pěti japonskými automobilkami, které z toho konektoru chtěly udělat globální standard. Snahou Evropské unie však bylo, aby tento konektor zanikl a takto byl využíván pouze CSS. Evropské unii se to ale nepovedlo prosadit. Pin FG slouží jako zemnicí pin, SS1 A SS2 jako zapnutí/stopnutí nabíjení, dále pin pro povolení vozidla napájet pomocí nabíjecí stanice – DCP. Poté vzdálenostní a komunikační pin vodící stejnosměrný proud. V nynější době nabízí výkon až 900 kW (600 A a 1,5kV).[34]



Obrázek 16- CHAdeMO [35]

## 6.6 Tesla

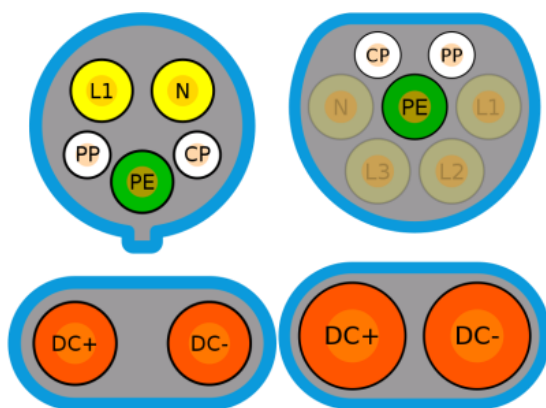
Má odlišné konektory, které jsou kompatibilní pouze s vlastní nabíjecí stanicí. Zároveň nabízí adaptéry pro ostatní typy konektorů.[34] [35]



Obrázek 17-konektor Tesla [35]

## 6.7 CCS – TYP 1 A TYP 2 (kombinovaný nabíjecí systém)

Nejpopulárnější konektor pro nabíjení elektromobilu. Nejčastěji konektor COMBO II je používán v Evropě a combo I je používán v USA. Pro nabíjení stejnosměrným proudem. Jedná se o konektory typu 1 a typu 2, kterým jsou přidány 2 kolíky. Tyto 2 kolíky slouží jako komunikační pin a zemní vodič, který zastává roli jako referenční nulový bod pro ochranné systémy.[34] [35]



Obrázek 18 - CCS COMBO II [35]



Tabulka 4 - výkony jednotlivých konektorů [36] [37] [38]S

Konektor:	počet fází/AC/DC	Napětí[V]	Výkon[kW]	Proud [A]
Typ 1 (Yazaki)	1 - fáze	120	1,92	16
		120–240	6,6 - 7,6	32
		240	19,2	80
Typ2(Mennekes)	Zásuvka	230	2,3	10
	1 - fáze	230	3,7	16
		230	7,4	32
	3 - fáze	400	11	3x16
400		22	3x32	
CCS combo 2	DC	—	50	—
			75	
	rychlónabíječka	—	150	—
			175	
DC	—	250	—	
		350		
Yazaki	1 - fáze	—	3,7	20
	1 - fáze		7,4	32
	3 - fáze		11	20
	3 - fáze		22	32
TESLA	DC	-	11	-
			250	
GB/T standard	AC	250	4	16
		250/440	8 - 12,8	32
	DC	750/1000	80	80
		750/1000	125	125
CHAdeMO	DC	500	32,5	125
		600	330	550
		1500	900	600

Podle tabulky lze zjistit, že nabíjením třífázovým střídavým proudem maximálně získáme výkon 22kW. Tento výkon nepřesahuje ani jeden z konektorů pro AC. Lze také pozorovat vysoké výkony u konektorů na stejnosměrný proud. Výkon konektorů začíná na 32kW a končí největším výkonem konektoru CCS, který stoupá se svým výkonem až na 350kW. Výkon 900kW u konektoru CHAdeMO je pouze teoretický a na tuto hodnotu se konektor teprve vyvíjí.


## 7 Analýza získaných dat

K analýze nabíjení byla použita data získána ze 4 elektromobilů – Tesla model 3, Hyundai KONA, Nissan Leaf, Renault ZOE. K nabíjení byly využity dvě nabíjecí stanice firmy Schneider electric jedna 3fázová výkonu 22kW a jednofázová o výkonu 11kW.

Tabulky níže uvádějí základní parametry jednotlivých elektromobilů jako například kapacitu baterie, nabíjecí výkon a typ nabíječky, která byla použita.


### 7.1 Nissan Leaf I

Tabulka 5 - Nissan leaf- parametry[36]

			
<b>Cena:</b>	<b>od 937 000 Kč</b>	Jmenovité napětí:	<b>350 V</b>
<b>Baterie:</b>	<b>lithium-ion</b>	Kathodový materiál:	<b>oxidy niklu-manganu-kobaltu</b>
<b>počet článků:</b>	192	Kapacita baterie:	<b>30kWh</b>
<b>Nabíjení</b>			
	<b>domácí</b>		<b>rychlónabíjení</b>
<b>konektor:</b>	TYP 2	<b>konektor:</b>	CHAdemo
<b>výkon konektoru:</b>	7 kW AC	<b>výkon konektoru:</b>	46kW DC
<b>čas nabíjení:</b>	12h 45minut	<b>čas nabíjení:</b>	43 minut
<b>rychlost nabíjení:</b>	36 km/h	<b>rychlost nabíjení:</b>	230 km/h
<b>Výkonnost</b>			
<b>akcelerace 0 - 100 km/h:</b>	7,9 sekund	<b>Výkon:</b>	110 kW
<b>nejvyšší rychlost:</b>	144 km/h	<b>celkový točivý moment:</b>	320 Nm
<b>elektrický dojezd:</b>	235 km	<b>pohon:</b>	přední
<b>Spotřeba:</b>	166 Wh/km	<b>Ekvivalent paliva:</b>	1,9/100 km
<b>Realná potřeba</b>			
<b>město - studené počasí</b>	166 Wh/km	<b>město - mírné počasí:</b>	110 Wh/km
<b>dálnice - studené počasí</b>	236 Wh/km	<b>dálnice studené počasí:</b>	181 Wh/km
<b>kombinace</b>	195 Wh/km	<b>kombinace:</b>	142 Wh/km
<i>Studené počasí v tomto hledisku znamená -10°C se zapnutým topením. Mírné počasí znamená venkovní teplotu 23 °C</i>			
<b>Váha</b>	1,5 t	<b>Počet míst:</b>	5
<b>délka</b>	4,490 m	<b>karosérie:</b>	Hatchback
<b>šířka</b>	2,03 m		


## 7.2 Hyundai KONA

Tabulka 6 - Hyundai KONA[36]

			
<b>Cena:</b>	<b>od 849 000kč</b>	<b>Jmenovité napětí:</b>	<b>350 V</b>
<b>Baterie:</b>	<b>lithium-ion</b>	<b>Katodový materiál:</b>	<b>—</b>
<b>počet článků:</b>	<b>294</b>	<b>kapacita:</b>	<b>39,2 kWh</b>
<b>Nabíjení</b>			
	<b>domácí</b>		<b>rychlónabíjení</b>
<b>konektor:</b>	TYP 2	<b>konektor:</b>	CCS
<b>výkon konektoru:</b>	7,2 kW AC	<b>výkon konektoru:</b>	77kW DC
<b>čas nabíjení:</b>	7 hodin	<b>čas nabíjení:</b>	44 minut
<b>rychlost nabíjení:</b>	58 km/h	<b>rychlost nabíjení:</b>	370 km/h
<b>Výkonnost</b>			
akcelerace 0 - 100 km/h:	7,9 sekund	<b>Výkon:</b>	150 kW
<b>nejvyšší rychlost:</b>	167 km/h	<b>celkový točivý moment:</b>	395 Nm
elektrický dojezd:	395km	<b>pohon:</b>	přední
Spotřeba:	162 Wh/km	<b>Ekvivalent paliva:</b>	1,8/100 km
<b>Realná Spotřeba</b>			
<b>město - studené počasí</b>	164 Wh/km	<b>město - mírné počasí:</b>	108 Wh/km
<b>dálnice - studené počasí</b>	229Wh/km	<b>dálnice studené počasí:</b>	175 Wh/km
<b>kombinace</b>	191 Wh/km	<b>kombinace:</b>	139 Wh/km
<i>Studené počasí v tomto hledisku znamená -10°C se zapnutým topením. Mírné počasí znamená venkovní teplotu 23 °C</i>			
<b>Váha</b>	1,7 t	<b>Počet míst:</b>	5
<b>délka</b>	4,205 m	<b>karosérie:</b>	SUV
<b>šířka</b>	2,07 m		


## 7.3 Renault ZOE

Tabulka 7- Renault ZOE[36]

			
<b>Cena:</b>	<b>od 859 000kč</b>	<b>Jmenovité napětí:</b>	<b>350 V</b>
<b>Baterie:</b>	<b>lithium-ion</b>	<b>Katodový materiál:</b>	<b>NCM 172 (NIKL – KOBALT – MANGAN)</b>
<b>počet článků:</b>	<b>197</b>	<b>kapacita:</b>	<b>54,7 kWh</b>
<b>Nabíjení</b>			
	<b>domácí</b>		<b>rychlónabíjení</b>
<b>konektor:</b>	TYP 2	<b>konektor:</b>	CCS
<b>výkon konektoru:</b>	22 kW AC	<b>výkon konektoru:</b>	46kW DC
<b>čas nabíjení:</b>	3 hodin	<b>čas nabíjení:</b>	56 minut
<b>rychlost nabíjení:</b>	110 km/h	<b>rychlost nabíjení:</b>	230 km/h
<b>Výkonnost</b>			
<b>akcelerace 0–100 km/h:</b>	11,4sekund	<b>Výkon:</b>	80 kW
<b>nejvyšší rychlost:</b>	135 km/h	<b>celkový točivý moment:</b>	225 Nm
<b>elektrický dojezd:</b>	315 km	<b>pohon:</b>	přední
<b>Spotřeba:</b>	162 Wh/km	<b>Ekvivalent paliva:</b>	1,9/100 km
<b>Reálná Spotřeba</b>			
<b>město – studené počasí</b>	168 Wh/km	<b>město – mírné počasí:</b>	109 Wh/km
<b>dálnice – studené počasí</b>	236Wh/km	<b>dálnice studené počasí:</b>	182 Wh/km
<b>kombinace</b>	196Wh/km	<b>kombinace:</b>	142 Wh/km
<i>Studené počasí v tomto hledisku znamená -10 °C se zapnutým topením. Mírné počasí znamená venkovní teplotu 23 °C</i>			
<b>Váha</b>	1,57 t	<b>Počet míst:</b>	5
<b>délka</b>	4,08m	<b>karosérie:</b>	Hatchback
<b>šířka</b>	1,787 m		

## 7.4 Tesla Model 3

Tabulka 8 - Tesla model 3[36]

			
<b>Cena:</b>	<b>od 1 089 000kč</b>	Jmenovité napětí:	<b>340 V</b>
<b>Baterie:</b>	<b>lithium-ion</b>	Katodový materiál:	<b>LFP (železo fosfát)</b>
<b>počet článků:</b>	106	kapacita:	<b>60 kWh</b>
<b>Nabíjení</b>			
	<b>domácí</b>		<b>rychlónabíjení</b>
<b>konektor:</b>	TYP 2	<b>konektor:</b>	CCS
<b>výkon konektoru:</b>	11 kW AC	<b>výkon konektoru:</b>	170 kW DC
<b>čas nabíjení:</b>	6h 15m	<b>čas nabíjení:</b>	25 minut
<b>rychlost nabíjení:</b>	62 km/h	<b>rychlost nabíjení:</b>	630 km/h
<b>Výkonnost</b>			
<b>akcelerace 0–100 km/h:</b>	6,2 sekund	<b>Výkon:</b>	208 kW
<b>nejvyšší rychlost:</b>	225 km/h	<b>celkový točivý moment:</b>	420 Nm
<b>elektrický dojezd:</b>	380 km	<b>pohon:</b>	zadní
<b>Spotřeba:</b>	151 Wh/km	<b>Ekvivalent paliva:</b>	1,7/100 km
<b>Reálná Spotřeba</b>			
<b>město – studené počasí</b>	160 Wh/km	<b>město – mírné počasí:</b>	104 Wh/km
<b>dálnice – studené počasí</b>	209 Wh/km	<b>dálnice studené počasí:</b>	160 Wh/km
<b>kombinace</b>	183 Wh/km	<b>kombinace:</b>	129 Wh/km
<i>Studené počasí v tomto hledisku znamená -10 °C se zapnutým topením. Mírné počasí znamená venkovní teplotu 23 °C</i>			
<b>Váha</b>	2,25 t	<b>Počet míst:</b>	5
<b>délka</b>	4,7 m	<b>karosérie:</b>	Sedan
<b>šířka</b>	1,8 m		

## 8 Řízení kaskády nabíjecích stanic

Kaskádní řízení nabíjecích stanic umožňuje optimalizovat využití výkonu napájecí linky mezi několika nabíjecími stanicemi, které jsou připojeny na ni. Tento proces funguje, tak že jedna stanice přijímá plný výkon ze sítě, zatímco ostatní jsou omezeny na menší výkon. Když první stanice dosáhne svého maximálního výkonu, zbytek výkonu je přeměrován na další stanice, které mohou nabíjet další elektromobily. Tento postup se opakuje až do doby, kdy jsou všechny nabíjecí stanice plně využity.

Kaskádní řízení nabíjecích stanic je užitečné v situacích, kdy je v jedné lokalitě více elektromobilů, které potřebují být nabitý současně. Tento typ řízení umožňuje maximalizovat využití dostupného výkonu a zkrátit čas potřebný k nabití všech elektromobilů.

Schneider Electric EVLink smart wallbox nabíjecí stanice podporuje kaskádní řízení s maximálním výkonem 22kW. Tato nabíjecí stanice může být propojena s dalšími nabíjecími stanicemi až do počtu 50 nabíjecích stanic společně s jedním centrálním řízením EVLink Management systém (EMS). Pomocí EMS může správce nabíjecích stanic monitorovat spotřebu energie a řídit přístupová oprávnění pro jednotlivé uživatele. Dále umožňuje řídit prioritizaci nabíjení a nastavit maximální nabíjecí výkon pro každou stanici nebo celou kaskádu. EMS také poskytuje podrobné statistiky o použití nabíjecích stanic, což umožňuje správci monitorovat účinnost sítě a optimalizovat její využití. Celý proces optimalizuje využití dostupného výkonu mezi více nabíjecích stanic tak, aby byla maximalizovaná rychlost nabíjení a zároveň minimalizovaná zátěž sítě. [39]

Obrázek 19 - EMS schneider – controller



EMS mohou pracovat ve dvou režimech – dynamický nebo statický. Při statickém řízení se omezí nastavení maximálního proudu pro celou dobíjecí infrastrukturu, která závisí na dodávaném výkonu a na spotřebovaném výkonu. Proud se rozdělí mezi všechna připojená zařízení, aby se předcházelo přetížení sítě. Tento režim najdeme u všech EMS firmy Schneider. Naopak v dynamickém režimu se maximální hodnota nabíjecího proudu v celé infrastruktuře mění v závislosti na zatížení v budově a na dostupné elektrické energii. Zbývající dostupný proud se rozdělí mezi všechna připojená vozidla. Tento

režim nenajdeme u nižších modelů EMS společnosti Schneider. Pro přenos pomocí wi-fi je nutné zakoupit 3G/4G externí modulátor a switch pro připojení všech nabíjecích stanic pomocí ethernetu.

Firma WALLBOX problematiku kaskád řeší chytrým systémem nabíjecích stanic, kdy se všechna řízení nabíjení mohou ovládat pomocí ethernetu, Bluetooth a wifi v aplikaci myWALLBOX. V této aplikaci může uživatel monitorovat celý proces nabíjení, volit dobu nabíjení a chránit ho před nežádoucím použitím. Nabíjecí stanice jménem COMMANDER 2 využívá funkci tzv. „power sharing“ neboli sdílené napájení, kdy se do stejného elektrického obvodu připojí více nabíječek a při této funkci integrovaná softwarová inteligence automaticky vyvažuje distribuci energie pro optimální nabití všech připojených elektromobilů. Dále má nabíjecí stanice COMMANDER 2 dotykovou obrazovku, která usnadňuje odemykání a nastavení nabíjení. Snadné sdílení pomocí RFID karty, hesla a sdílení pomocí aplikace myWallBox. Dále nabízí elektroměr powerboost, který měří spotřebu domu a automaticky tak přizpůsobí nabíjení. Nabíjecí stanice typu QUASAR dokonce obsahují funkci rozpoznání obličeje. [29]



Obrázek 20- WALLBOX commander 2

Značka GoodWe, což je převážně výrobce fotovoltaických panelů, měničů a baterií, nabízí přímé spojení s nabíjecí stanicí GoodWe HCA series s fotovoltaickou elektrárnou, což vede k efektivnímu a cenově výhodnému nabíjení. Energie z fotovoltaických panelů a celý proces nabíjení lze sledovat a řídit v aplikaci SEMS, kdy nabíječka a měnič mají přístup pomocí Bluetooth a wifi. Chybí zde ovládání kaskády nabíjecích stanic, kdy uživatel nemůže připojit více než 1 nabíjecí stanici.

Systém řízení zátěže ABB využívá inteligentní algoritmy k dynamické úpravě rychlosti nabíjení elektromobilů v reálném čase na základě změn v podmínkách sítě a dostupnosti energie. Systém nepřetržitě monitoruje spotřebu energie nabíjecí stanice a upravuje rychlost nabíjení tak, aby celková spotřeba energie zůstala v mezích kapacity sítě. V případě vysoké poptávky v síti systém řízení zátěže sníží rychlost nabíjení elektromobilů, aby se předešlo přetížení sítě. Naopak, pokud má síť nadměrnou volnou energii, systém zvyšuje rychlost nabíjení, aby využil dostupný výkon. [40]

## 8.1 Potřebný jistič

Pro správnou ochranu nabíjecí stanice je důležité zvolit správný jistič. Jistič plní funkci ochrany před přetížením a zkraty v elektrickém obvodu, které by mohly poškodit zařízení a způsobit bezpečnostní riziko. Proto je nutné zvolit jistič s odpovídající hodnotou proudového omezovače, který bude schopen zajistit bezpečné a spolehlivé provozování nabíjecí stanice. Při pořizování nabíjecích stanic se doporučuje navýšit hodnotu hlavního jističe.

Tabulka 9 - Min. požadavky na jištění nabíjecích stanic

	Výkon nabíjecí stanice [kW]	Min. požadované jištění [A]
1fázové:	3,7	16
	7,4	32
3fázové:	11	3x16
	22	3x32

Výpočet maximálního proudu pro 3 nabíjecí stanice – 3fázových wallboxů o výkonu 22kW a proudu 32 A. Pro výpočet proudu celé kaskády bez použití LMS pomocí maximálního nabíjecího proudu nabíjecí stanice  $I_{max}$  a počtu nabíjecích stanic.

$$I_{kaskády}[A] = I_{max}[A] \cdot n_{počet}$$

Po dosazení:

$$I_{maxkaskády} = 32 \cdot 3 = 96 A$$

Z toho výpočtu vyplývá, že nabíjecí stanice budou po připojení 3 elektromobilů využívat maximální výkon a velikost jističe bude vybrána na hodnotu 96 A a výše. Při takovém zatížení je možné, že „nezbude“ proud pro ostatní spotřebiče, a při připojení dalšího spotřebiče by mohlo dojít k zareagování hlavního jističe, který má omezený příkon. V rámci nabíjení elektromobilu je možné využít sazbu D27d, která nabízí vysoký a nízký tarif. Nízký tarif lze denně využívat přibližně 8 hodin. V nynější době ČEZ nemá zvýhodněnou cenu nízkého tarifu, a proto je nutností použít k příkladu distribuci EON. Výpočet ceny pro nabití 30kWh baterie:

$$Cena[kč] = kapacita\ baterie[kWh] \cdot Cena_{nizkytarif}[kč/kWh]$$

$$Cena = 30 \cdot 7,809 = 234\ kč$$

Výpočet pro vysoký tarif bude stejný:

$$Cena = 30 \cdot 9,675 = 290,25\ kč$$

Při neřízeném nabíjení je nutné mít větší velikost hlavního jističe. Za zvětšení příkonu je měsíční poplatek ve výši 2,48 Kč za ampér jednofázového a v průměru 250 Kč za ampér u třífázového jističe. Poplatky za navýšení rezervovaného výkonu je možné použít:



$$Cena_{poplatky} = 2,48 \cdot 250 = 119 \text{ Kč}$$

Při využití kaskády je schopnost snížit nabíjecí proud, kdy v dynamickém režimu LMS systém vyhodnocuje maximální hodnotu nabíjecího proudu automaticky, také jsme schopni omezit nabíjecí proud, což vede k delšímu nabíjení, ale k menší velikosti jističe. Máme-li řízení při wallboxu o výkonu 22kW a nabíjecím proudem 3x32 A. Tak můžeme nabíjecí proud omezit na 50 %. To znamená, že nemusíme navyšovat velikost hlavního jističe, a můžeme nabíjet v tarifu nízkém, kdy je cena za kWh nižší.

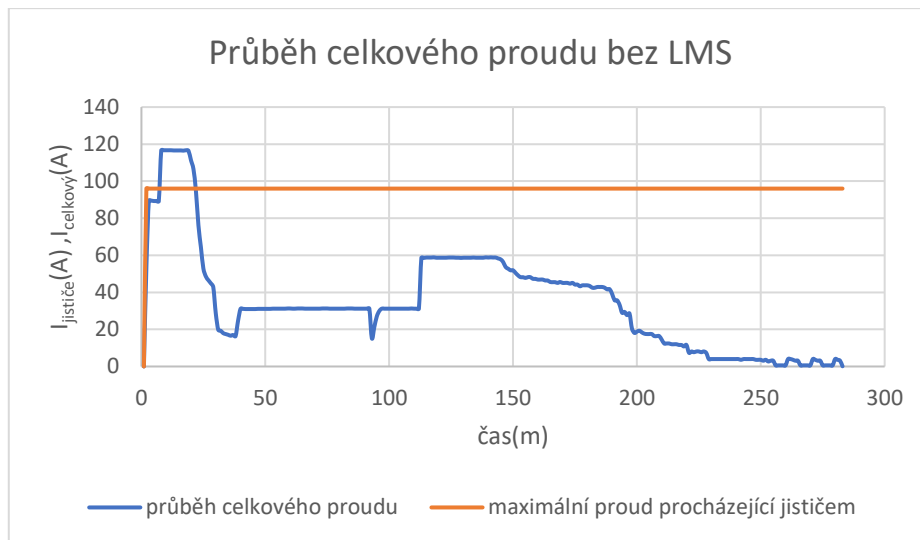


Figure 1 - součet proudů při nabíjení 3 elektromobilů

Při použití 2x 3fázového a 1fázového wallboxu a 98 A jističe pro nabíjení elektromobilů jménem Renault ZOE, Nissan leaf a Hyundai KONA je limit jističe nedostačující. Jistič by v 30 minutách zareagoval shozením celého nabíjecího cyklu. Vidíme velký nárůst proudu hned na začátku grafu, kdy ZOE využívá svůj maximální výkon k nabíjení, tj. 22kW. Celý cyklus nabíjení bude trvat pro nabití všech automobilů 11 hodin, kdy se ZOE nabije nejrychleji a KONA se bude nabíjet nejdéle.

Tabulka 10 - celková spotřebovaná energie

<b>Celková dodaná energie (kWh):</b>	10 580
<b>Celkový výkon(kW):</b>	2 259
<b>Doba(h):</b>	5h 11m

Doba nabíjení pro snížení výkonu o 50 %:

$$t_{nabijeni}(h) = \frac{10\,580}{2\,259 * 0,5} = 9h\ 29\ minut$$

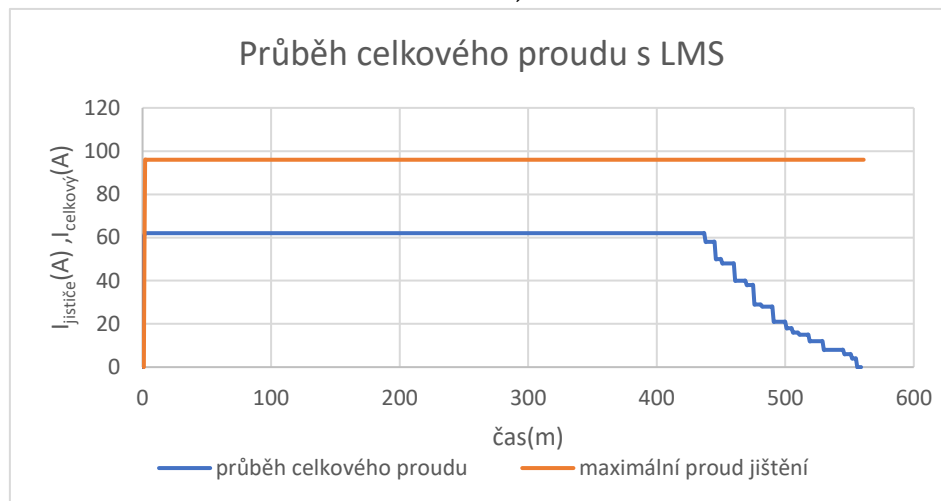


Figure 2 - průběh při použití kaskády

Při použití kaskády můžeme celý výkon korigovat, a proto je možností změnit celý proud použitý při nabíjení pro všechny automobily. Chceme-li zachovat stejnou energii a snížíme výkon o 50 %. Celý cyklus se poté bude nabíjet mnohem déle. Přesněji 9h 29

## 9 Analýza nabíjení elektromobilů

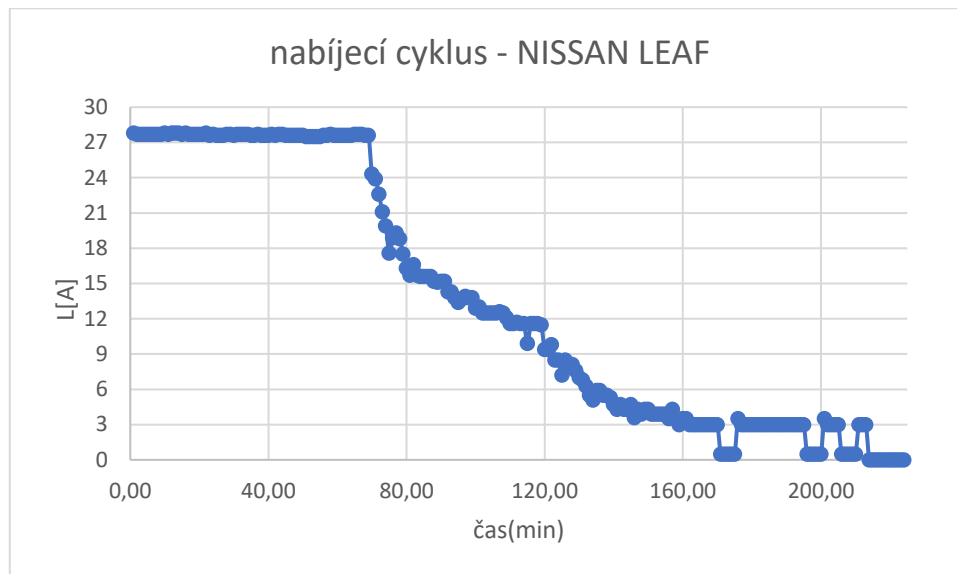


Figure 3 Nissan leaf průběh proudu

Elektromobil Nissan Leaf se nabíjí na 1fázovém wallboxu firmy Schneider o výkonu 7,4 kW. Jedná se o nabíjení v Režimu 2 střídavým proudem; toto nabíjení patří mezi pomalé a můžeme tedy říct, že plné nabíjení by mohlo trvat i 7 hodin. Z průběhu je možné pozorovat, že proud byl na počátku vysoký (přibližně kolem 27 A) a s ubíhajícím časem proud klesá až do hodnoty nabití elektromobilu. Celý proces nabíjení trval 3 h a 45 minut. Jelikož nevíme, při jakém SoC se nacházela baterie, nejsme schopni určit reálnou hodnotu nabití akumulátoru. Akumulátor Nissan Leaf má kapacitu 30kWh, jenže přibližně 5kWh slouží jako tzv. bezpečnostní rezerva. Dále pozorujeme, že wallbox nevyužíval 100% výkon, jelikož by proud při maximálním výkonu dosahoval 32 A a celý výkon je omezen palubní nabíječkou vozu - 7kW. Ve vrcholu proudu získáme hodnotu 27,8 A. Co se týče napětí, bude stále konstantní na hodnotě 230 V. Budeme-li chtít spočítat výkon pomocí vzorce při konstantním maximálním proudu a napětí:

$$P_{realný} = 27,8 \cdot 230 = 6,394 \text{ kW}$$

Pro přibližné určení kapacity baterie můžeme použít vzorec:

$$\text{Množství energie (kWh)} = \text{výkon nabíječky (kW)} \cdot \text{délka nabíjení (h)}$$

Poté dosadíme-li naše hodnoty do vzorce získáme:

$$\text{Množství energie (kWh)} = 6,394 \cdot 3,73 = 23,849 \text{ kWh}$$

Pro výpočet ročního počtu nabíjení využijeme vzorec:

$$\text{Počet nabíjení} = \frac{\text{průměrná denní jízda}(km) \cdot 365 \cdot \text{spotřeba vozu} \left(\frac{Wh}{km}\right)}{\text{kapacita baterie}(Wh)}$$

Průměrný český řidič ujede denně průměrně 55 km. Dosadíme-li do vzorce:

$$\text{Počet nabíjení} = \frac{55 \cdot 365 \cdot 166}{25000} = 133,298 \text{ rok}$$

Vezme-li se v potaz čas nabíjení elektromobilu na 100 % při AC nabíjení, můžeme vypočítat, kolik hodin stráví automobil na nabíječe:

$$\text{čas nabíjení (h rok)} = 133,298 \cdot 7 = 931 \text{ h} \cdot \text{rok}$$

Chování lithium-ion baterie můžeme pozorovat i zde, kdy kolem 80 % SOC zpomalí elektrochemickou reakci v baterii a nabíjení začne zpomalovat, což znamená menší nabíjecí proud. Proud byl maximální a poté v čase 1 h 9minut začal rapidně klesat a celý tento klesající proces trval kolem 2 h a 30 minut. Z toho můžeme určit, že Nissan Leaf byl téměř nabit na 100 %, tedy přesněji na 92 %. Z pozorování je nutné říct, že 0,5 až 1 kW se ztratí v podobě vytopení baterie a dalších částí, takže energie dodána do akumulátoru se může ještě lišit.

Tabulka 11-Měření nabíjení Nissanu

Měření	Doba nabíjení	SoC	Průměrný nabíjecí Proud
	(h)	(%)	(A)
<b>1</b>	3:48	52	15
<b>2</b>	3:27	73	8,83
<b>3</b>	7:43	60	5,83
<b>4</b>	7:12	55	6,87
<b>5</b>	7:39	83,6	2,41

Tabulka v sobě obsahuje informace o době nabíjení Nissanu, který má maximální kapacitu 25 kWh. Je z ní patrné, že doba nabíjení je závislá na velikosti nabíjecího proudu – čím vyšší proud, tím rychlejší nabíjení. Měření 5 je nejvíce kritické, kdy nabíjení od 80 % SoC až na 100 % trvá 7 h.

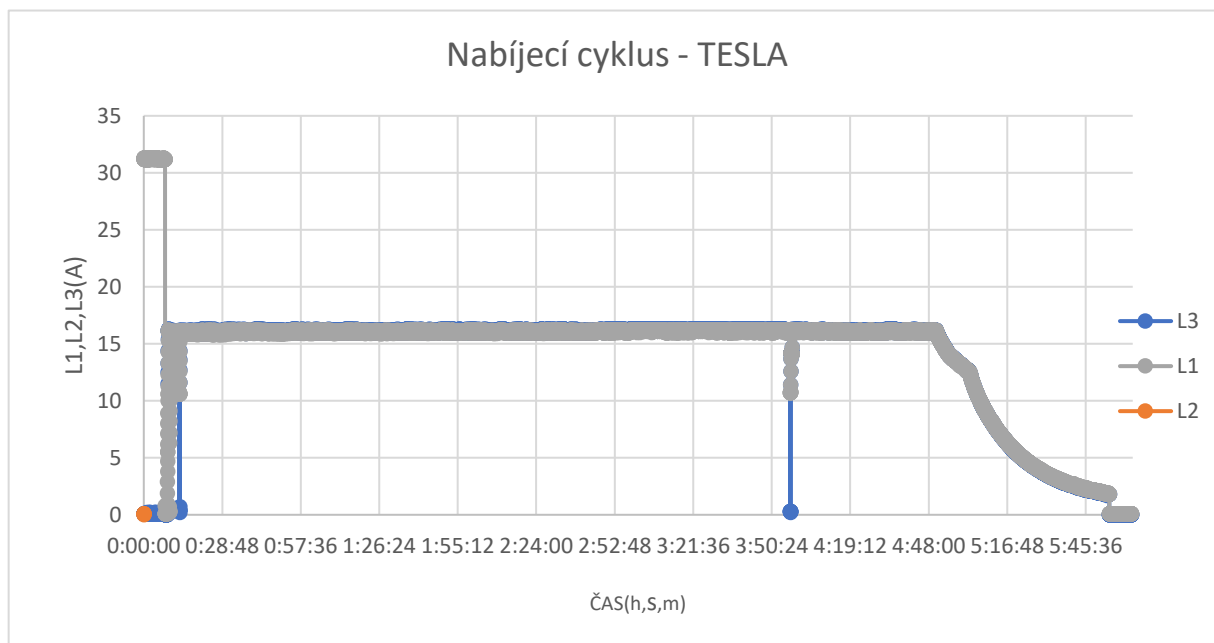


Figure 4 - Tesla

Celý proces nabíjení elektromobilu Tesla trval necelých 6 h a SoC na začátku bylo 10 %, přičemž se jednalo o trojfázové nabíjení. Můžeme pozorovat nabíjecí proud, který byl přes čtyři a půl hodiny konstantní a nabíjecí stanice využívala svůj maximální výkon. Na všech fázích byla hodnota proudu 16 A, což odpovídá výkonu 11 kW, což je maximální hodnota palubní nabíječky Tesly. Jako v případě Nissanu Leaf má Tesla rezervu 5 kWh jako tzv. bezpečnostní rezervu. Viditelné výpadky mohou být způsobeny dalším připojením vozu či velikou zátěží v budově, kdy LMS zareagoval snížením či vypnutím nabíjecího cyklu. Při zhruba 80 % kapacity baterie se proud snižoval. V této chvíli se zpomalila elektrochemická reakce v baterii, kdy nabíjení do 100 % trvá až hodinu.

$$P_{\text{reálný výkon}} = \text{proud (A)} \cdot \text{napětí (V)} \cdot \sqrt{3}$$

Po dosazení:

$$P_{\text{reálný výkon}} = 16 \cdot 400 \cdot \sqrt{3} = 11 \text{ kW}$$

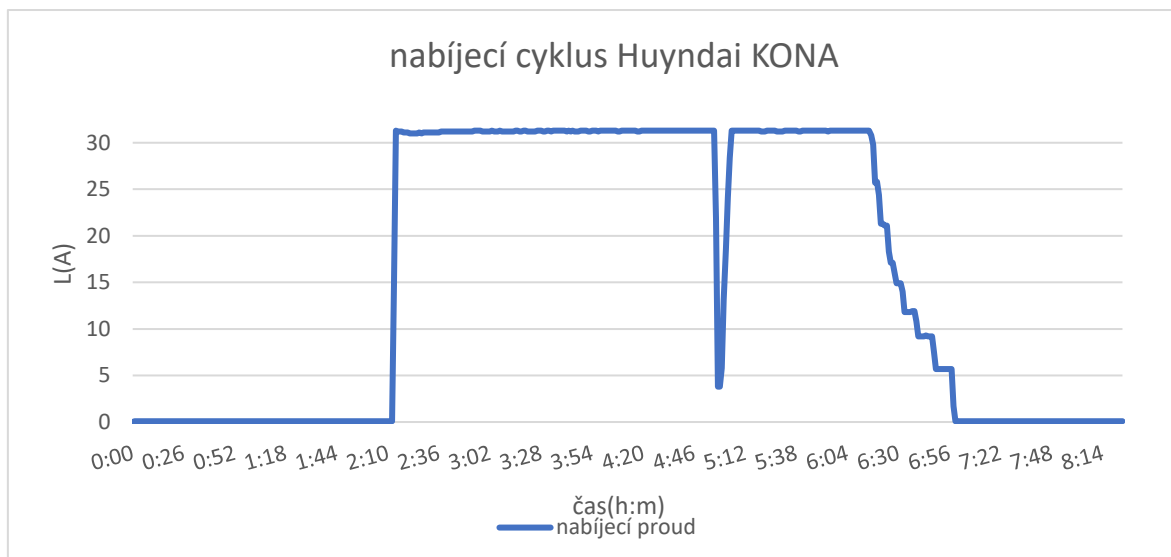


Figure 5 - KONA nabíjecí proud

Nabíjecí charakteristika Hyundai Kona popisuje, jak se mění rychlost nabití baterie v závislosti na proudu dobíjení. V tomto případě je nabíjecí proud konstantní a činí 31,2 A. Avšak, jak se baterie nabíjí, odpor uvnitř baterie se zvyšuje a zpomaluje proud dobíjení. V důsledku toho se v určitém bodě nabíjecí proud snižuje na 0,1 A. Tento bod se v tomto případě nachází přibližně třech čtvrtinách dobíjecího cyklu. To znamená, že v prvních třech čtvrtinách dobíjecího cyklu se baterie dobíjí rychleji s konstantním proudem 30 A, zatímco v poslední čtvrtině se rychlost dobíjení postupně snižuje. Tento jev je běžný u lithium-iontových baterií a zajišťuje bezpečné a efektivní dobíjení baterií. Celé nabíjení trvalo 5 hodin s výkonem 7,2 kW.

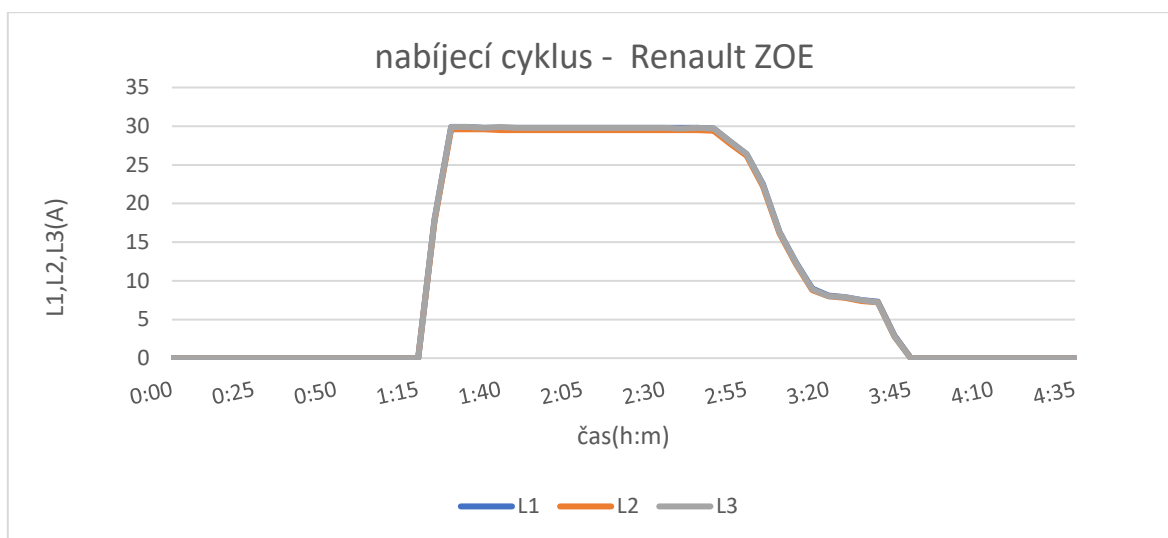


Figure 6 - Renault ZOE nabíjecí proud

Renault Zoe disponuje velmi rychlou palubní nabíječkou o výkonu až 22 kW, což je nejrychlejší nabíječka ze všech testovaných elektromobilů, a v každé fázi nabíjení dokáže dosáhnout až 29,8 A proudu. Díky této vysoké výkonové kapacitě může být elektromobil nabíjen velmi rychle na stanicích

nabíjení jak v režimu AC, tak i DC. V případě nabíjení baterie elektromobilu Renault Zoe byl celý cyklus dokončen během 3 hodin.

## 10 Diskuze

Cílem této bakalářské práce byla analýza řízení kaskády a nabíjení elektromobilu, jelikož se elektromobily stávají více populárními a čím dal více lidí přechází od běžných aut k elektromobilům. Byla používána data, která pocházela z nabíjení typu 3, kdy se jednalo o nabíjení pomocí nástěnných wallboxů značky Schneider o výkonech 22kW pro 3fázové nabíjení a 11kW pro nabíjení 1- fázové. K analýze byla využívána data ze 4 elektromobilů.

Limitujícím faktorem nabíjení pomocí nástěnných wallboxů je velikost hlavního jističe, který svou jmenovitou hodnotou udává velikost rezervovaného výkonu. Rezervovaný výkon limituje spotřebu elektrické energie. Velikost tohoto jističe se udává dle plánovaných či používaných spotřebičů v domácnosti.

Jedna z možností řízení výkonu je využít řízení kaskády, díky které máme kontrolu nad spotřebovaným výkonem v rámci nabíjení elektromobilu. Kaskáda zároveň zabraňuje překročení maximální spotřeby rezervovaného výkonu. Je však nutné brát v potaz, že nabíjení bude trvat déle, a proto by bylo dobrým řešením nabíjení v noci, kdy je primárně nízký tarif, takže nabíjení bude levnější. Další možností je navýšení hlavního jističe, není-li možnost nabíjet v noci nebo se jedná čistě o komerční využití wallboxu.

Na základě výsledku předchozích výzkumu bylo očekáváno, že přibližně v 80 % SoC baterie zpomalí svou elektrochemickou reakci a tím zvýší svůj odpor, což vede k snížení nabíjecího proudu. [6] Výsledky analýzy tato očekávání potvrdily. Pomocí proudu v čase byl vypočítán maximální reálný výkon nabíjecí stanice. Tato hodnota byla poté využita k výpočtu doby nabíjení. Pomocí této hodnoty bylo určeno kolik času stráví majitel nabíjením svého vozu.

Byly zkoumány podrobněji vlastnosti a charakteristiky baterií využívaných v elektromobilitě, tyto výsledky však ukazují, že současné baterie mají mnoho nedostatků, podléhají degradacím, jsou náchylné na venkovní teploty a mohou být pro člověka nebezpečné. V současné době pokračuje výzkum na Lithium-air baterii, která by mohla přinést velký pokrok v oblasti zvýšení kapacity v elektromobilitě. Naneštěstí, její konstrukce a vlastnosti prozatím neumožňují její aplikaci v praxi, a proto je nyní nejlepší volbou Lithium-ion baterie.



## 11 Závěr

Elektromobilita přispívá k ekonomičtější a udržitelné dopravě, zejména v případě hybridních vozů, kde akumulátor zlepšuje jízdní vlastnosti a snižuje spotřebu vozidla. Hybridní elektromobily fungují v kombinaci s tradičním spalovacím motorem, což umožňuje efektivnější využití energie. S tím souvisí i vysoká účinnost elektromotorů, která se může vyšplhat až na 90 %, zatímco klasické motory obvykle dosahují účinnosti pod 40 %.

Existují různé typy hybridních vozidel. Mild hybrid využívá akumulátor pouze jako pomocné zařízení pro spalovací motor. Full hybrid je schopen na krátkou dobu pohánět vozidlo pouze elektromotorem, ale stejně jako mild hybrid se nabíjí pouze rekuperací. Plug-in hybrid má větší baterii s kapacitou dodávat energii elektromotoru až na několik desítek kilometrů a umožňuje nabíjení ze sítě.

Rapidní nárůst počtu elektromobilů v poslední době je důsledkem snahy odpoutat se od fosilních paliv, které se v budoucnosti stanou nedostatkovým zbožím a také snahou o ochranu životního prostředí. Nicméně, technologie využívaná v elektromobilech je stále zaostalá, zejména v oblasti baterií, které jsou založeny na voltových článcích. Navíc se jejich vlastnosti mění v závislosti na teplotě venkovního prostředí, což může ovlivnit kapacitu baterie, která způsobí menší dojezd vozidla. Samotná baterie elektromobilu se skládá z několika menších článků nebo modulů, které jsou spojeny dohromady. Každý výrobce elektromobilů používá jinou technologii a konstrukci baterií. Tesla využívá válcové články, hranolové články jsou využívány firmou Volkswagen a pouzdrové články využívají firmy jako Nissan, Renault a Chevrolet. Na trhu jsou nejlepší válcové, protože jsou levné a mají velkou kapacitu.

Lithium-ion baterie jsou v současné době nejvíce používanou technologií baterií v elektromobilech. Z důvodu jejich vysoké kapacity, dlouhé životnosti a nízké schopnosti samovybití. Tyto baterie jsou navrženy tak, aby poskytovaly vysoký výkon a rychlé nabíjení, což je pro elektromobily klíčové. Nicméně, tyto baterie obsahují škodlivé chemikálie a jsou náchylné k výbuchům. Dalším nedostatkem je vysoká cena baterií, což zvedá ceny elektromobilů. Kromě lithiových iontových baterií jsou v automobilech také využívány olovené akumulátory, ale ty se obvykle používají pouze pro startování motoru a nejsou vhodné pro pohon vozidla. Některé hybridní a starší elektromobily využívají nikl-metal hydridové baterie (NiMH), které mají nižší kapacitu a výkon než lithiové iontové baterie

V posledních letech se stává nabíjení elektromobilů dostupnější a pohodlnější pro řidiče. V České republice na každých 100 elektromobilů připadá zhruba 22 nabíjecích stanic, což je stále méně než v některých západních zemích, ale počet stanic se rychle zvyšuje. Supernabíječky se nachází pouze na 6 lokalitách v ČR. Domácí nabíjení se stává populárnějším díky svému snadnému ovládní a dostatečnému výkonu pro každodenní použití. Díky přístupu k nabíjení z vlastního domova se řidiči nemusí obávat hledání nabíjecí stanice a mohou si být jistí, že mají vždy plně nabitý elektromobil k dispozici. S dostatečným plánováním nabíjení může být domácí nabíjení pro většinu lidí dostačující. Nejlevněji nabijeme elektromobil v hlavním městě a v místech pod distribucí PRE.

Existuje několik typů konektorů, které se používají pro nabíjení elektromobilů. Mezi nejznámější patří typy CCS, CHAdeMO a Tesla Supercharger. CHAdeMO, který není povolen v Evropské unii, vyvíjí technologii pro výkon až 900kW. Konektor CCS je nejpoužívanější v Evropě a umožňuje nabíjení při výkonu až 350 kW. Tesla Supercharger využívá speciální konektor vyvinutý pro vozy Tesla a umožňuje nabíjení výkonem až 250 kW. Pro nabíjení 3fázovým střídavým proudem je maximální výkon 22kW.

Firma Schneider nabízí chytrý způsob řízení kaskády nabíjecích stanic. Na EVlink ovladač jsou připojeny všechny příslušené nabíjecí stanice. Tento ovladač připojí k počítači a otevře se software ve kterém může uživatel nastavit maximální výkon a prioritizaci nabíjecích stanic. Firma wallbox řeší tento problém pomocí aplikace myWALLBOX, kdy uživatel může vzdáleně sledovat celý proces nabíjení. Dále výrobky nabízí funkci „power sharing“, kdy se pomocí ISI automaticky vyvažuje distribuce energie pro připojené elektromobily. Firma ABB využívá inteligentní algoritmy k nabíjení více elektromobilů.

Nabíjení konkrétních elektromobilů se nijak neliší od nabíjení udávané výrobcem. Výkon nabíjecí stanice je omezen výkonem palubní nabíječky. Nejrychleji se nabíjel Renault Zoe, protože je osazen výkonem 22kW, při tomto výkonu byl využit celý výkon wallboxu od firmy Schneider.

## 13 Zdroje

- [1] Global electric vehicle stock by region, 2010-2020: 26.10.20 [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-vehicle-stock-by-region-2010-2020>
- [2] SANGUESA, Julio A., Vicente TORRES-SANZ, Piedad GARRIDO, Francisco J. MARTINEZ a Johann M. MARQUEZ-BARJA. A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities* [online]. 2021, 4(1), 372-404 [cit. 2023-04-30]. ISSN 2624-6511. Dostupné z: doi:10.3390/smartsities4010022
- [3] U.S DEPARTMENT OF ENERGY: Energy Efficiency & Rebewable energy. *U.S DEPARTMENT OF ENERGY: Energy Efficiency & Rebewable energy* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- [4] HYBRID.CZ [online]. 19.7.2019 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/jsou-vozidla-se-spalovacim-motorem-cistsi-nez-elektromobily/#:~:text=Samotn%C3%A1%20pohonn%C3%A1%20jednotka%20vozidla%3A%20%C3%BA%C4%8Dinost,%25%20%E2%80%93%20co%C5%BE%20je%20v%C3%BDrazn%C4%9B%20v%C3%ADce.>
- [5] Honda.cz [online]. 18.11.2020 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/jsou-vozidla-se-spalovacim-motorem-cistsi-nez-elektromobily/#:~:text=Samotn%C3%A1%20pohonn%C3%A1%20jednotka%20vozidla%3A%20%C3%BA%C4%8Dinost,%25%20%E2%80%93%20co%C5%BE%20je%20v%C3%BDrazn%C4%9B%20v%C3%ADce.>
- [6] GARCIA-VALLE, Rodrigo a João A. PEÇAS LOPES, ed. *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks* [online]. New York, NY: Springer New York, 2013 [cit. 2023-04-30]. ISBN 978-1-4614-0133-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4614-0134-6
- [7] COLE, Craig, ed. *WiTricity: The 80% Rule* [online]. 6.10.2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://witricity.com/newsroom/blog/the-80-rule/#:~:text=There%20are%20two%20reasons%3A%20charging,improved%20when%20kept%20below%20100%25.>
- [8] *Elektromobily, jejich baterie a jak nabíjet* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie>
- [9] *BATERIE ELEKTROMOBILU – ZÁKLADNÍ PARAMETRY* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu>
- [10] What are electric car batteries made of?. *EvBOX* [online]. 27.1.2023 [cit. 2023-04-30].  
a. Dostupné z: <https://blog.evbox.com/what-are-ev-batteries-made-of/#:~:text=An%20EV%20battery%20is%20typically,energy%20storage%20capacity%20and%20price.>
- [11] KUMAR SINGAL, Neeraj. *Understanding the Self-charge and discharge mechanism of a lithium-ion battery* [online]. 16.2.2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-self-charge-discharge-mechanism-battery-singal/#:~:text=During%20charging%2C%20lithium%20ions%20move,times%20for%20the%20same%20battery.>
- [12] PELLETIER, Samuel, Ola JABALI, Gilbert LAPORTE a Marco VENERONI. Battery degradation and behaviour for electric vehicles: Review and numerical analyses of several models. *Transportation Research Part B: Methodological* [online]. 2017, 103, 158-187 [cit. 2023-04-30]. ISSN 01912615. Dostupné z: doi:10.1016/j.trb.2017.01.020

- [13] LI-ION BATTERY AND GAUGE INTRODUCTION. [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.richtek.com/Design%20Support/Technical%20Document/AN024>
- [14] *Electric car batteries: everything you need to know* [online]. 6.12.2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.carmagazine.co.uk/electric/ev-car-battery-capacity-tech/>
- [15] *Li-ion baterie: principy, provoz, rady* [online]. 15.4.2011 [cit. 2023-04-30].
- [16] IMANISHI, Nobuyuki a Alan C. LUNTZ, BRUCE, Peter, ed. *The Lithium Air Battery: Fundamentals*. Springer, 2014. ISBN 978-1-4899-8062-5.
- [17] *Lead-Acid batteries science and Technology: a handbook of lead-acid battery technology and its fluence on the product*. Oxford: ELSEVIER, 2011. ISBN 978-0-444-59552-2.
- [18] *Battery and Energy Technologies: Nickel Cadmium Batteries* [online]. [cit. 2023-04-30].  
a. Dostupné z: <https://www.mpoweruk.com/nicad.htm>
- [19] Lawan, Musa Baba & Samaila, Ya'u & Tijjani, Ibrahim & Muhammad, Aminu. (2020). Performance analysis of nickel metal hydride (NiMH) rechargeable battery using Matlab/Simulink. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*. 3. 001-009. 10.30574/gjeta.2020.3.1.0014.
- [20] *BU-203: Nickel-based Batteries* [online]. 22.10.2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-203-nickel-based-batteries>
- [21] *IMH : Advanced nickel metal hydride battery systems for light duty automotive SUV hybrid electric vehicles* [online]. 31.8.2004 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: [https://yenra.com/nimh/?fbclid=IwAR0Juv\\_n71aKlrvFPM85T2IRd4lJP7QlqdaR49AR5BCcl-7EvGU8li4iDA](https://yenra.com/nimh/?fbclid=IwAR0Juv_n71aKlrvFPM85T2IRd4lJP7QlqdaR49AR5BCcl-7EvGU8li4iDA)
- [22] PELED, E., D. GOLODNTTSKY, G. ARDEL, C. MENACHEM, D. BAR TOW a V. ESHKENAZY. The Role of Sei in Lithium and Lithium Ion Batteries. *MRS Proceedings* [online]. 1995, **393** [cit. 2023-04-30]. ISSN 0272-9172. Dostupné z: doi:10.1557/PROC-393-209
- [23] *Ecofriendly Recycling of Lithium-Ion Batteries* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: [https://www.duesenfeld.com/recycling\\_en.html](https://www.duesenfeld.com/recycling_en.html)
- [24] KNOFLÍČKOVÁ, Olga. *nabijeci stanice* [online]. 3.12.2021 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.woltair.cz/blog/nabijeci-stanice/domaci-nabijeni-elektromobilu>
- [25] *On-Board Charger* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.evexpert.eu/eshop1/knowledge-center/on-board-charger>
- [26] *Režimy nabíjení EV* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.midaevse.com/cs/ev-guide-1/>
- [27] *Jak funguje wallbox pro nabíjení elektroauta* [online]. 25.7.2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/jak-funguje-wallbox-pro-nabijeni-elektroauta>
- [28] Ondřej. *Elektromobily a jejich nabíjení: Znáte nejčastější typy nabíječek a konektorů?* [online]. 3. 9. 2019 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/elektromobily-a-jejich-nabijeni-znate-nejcastejsi-typy-nabijecek-a-konektoru-130851>

- [29] Manual. Wallbox [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: [https://solar-distribution.baywa-re.cz/out/media/07-600001\\_wallbox-datasheet-CZ.pdf](https://solar-distribution.baywa-re.cz/out/media/07-600001_wallbox-datasheet-CZ.pdf)
- [30] POČET NABÍJECÍCH STANIC NA 100 ELEKTROAUT: V ČR 22, V EU JEN 15 [online]. 8.12.2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.e-flotila.cz/2022/12/08/pocet-nabijecich-panic-na-100-elektroaut-v-cr-22-v-eu-jen-15/#:~:text=Na%20100%20elektromobil%C5%AF%20u%20n%C3%A1s,nich%20celkem%202462%20dob%C3%ADje c%C3%ADch%20bod%C5%AF.>
- [31] MAPA DOBÍJECÍCH STANIC PRO ELEKTROMOBILY. *Mapa dobijecích stanic pro elektromobily*. [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.nabijto.cz/>
- [32] *Sazba D27d, tarif D27d - elektřina* [online]. 4.11.2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/d27d>
- [33] *Kolik stojí nabíjení elektromobilu? Ceny a příklady* [online]. 4.11.2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://autotrip.cz/kolik-stoji-nabijeni-elektromobilu/>
- [34] *Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě* [online]. 8.12.2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete>
- [35] NABÍJECÍ KONEKTORY EV SE DODÁVAJÍ V MNOHA TVARECH A VELIKOSTECH. [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: [https://10-raisons.fr/cs/les-connecteurs-de-charge-ev-sont-disponibles-dans-de-nombreuses-formes-et-tailles/?fbclid=IwAR0yF40VvYG\\_POE7lgd6xem7p20gZy-KH\\_bucTt-iKkr4-Nis48V2cy8pgM](https://10-raisons.fr/cs/les-connecteurs-de-charge-ev-sont-disponibles-dans-de-nombreuses-formes-et-tailles/?fbclid=IwAR0yF40VvYG_POE7lgd6xem7p20gZy-KH_bucTt-iKkr4-Nis48V2cy8pgM)
- [36] YAZAKI. [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/>
- [37] CHADEMO. [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.yazaki-europe.com/index>
- [38] ELECTRIC VEHICLE DATABASE. [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider-topspeed:prev~next=110~350|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-towweight:prev~next=0~2500|range-slider-fastcharge:prev~next=0~1500|paging:currentPage=0|paging:number=9>
- [39] *EV charge controller, EcoStruxure EV Charging Expert, 5 charging stations, dynamic charge management* [online]. In: [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.se.com/ww/en/product/HMIBSCEA53D1EDB/ev-charge-controller-ecostruxure-ev-charging-expert-5-charging-stations-dynamic-charge-management/?%3Frange=62159-ecostruxure-ev-charging-expert&parent-subcategory-id=1840&filter=business-5-residential-and-small-business&selected-node-id=14751666756>
- [40] Manual. ABB [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: [https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A8329&LanguageCode=en&DocumentPartId=9AKK107991A8329\\_A\\_07\\_PDF&Action=Launch](https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A8329&LanguageCode=en&DocumentPartId=9AKK107991A8329_A_07_PDF&Action=Launch)