



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Nabíjení baterií elektrických vozidel

Charging of electric vehicles batteries

BAKALÁŘSKA PRÁCE

2021

Tomáš Štofík

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, Csc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štofík** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **475090**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Nabíjení baterií elektrických vozidel

Název bakalářské práce anglicky:

Charging of electric vehicles batteries

Pokyny pro vypracování:

Popište způsoby dobíjení elektrických a hybridních vozidel. Sledujte okolnosti ovlivňující rychlost dobíjení a řízení jeho průběhu. Pokuste se nalézt závislosti na parametrech vozidla a nabíječky (napětí, požadovaný dojezd, způsob chlazení baterie atd.). Porovnejte ztráty při různých způsobech nabíjení. Uveďte příklady reálných vozidel a nabíječek.

Seznam doporučené literatury:

odborné publikace, internet

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Josef Morkus, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.09.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

Ing. Josef Morkus, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Anotačný záznam

Meno autora: Tomáš Štofík

Názov práce: Nabíjení baterií elektrických vozidel

Anglický názov: Charging of electric vehicles batteries

Rozsah práce:

54 strán

34 obrázkov

Akademický rok: 2020/2021

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Študijný program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Vedúci práce: Ing. Josef Morkus, Csc.

Kľúčové slová: Batéria, Nabíjanie, Elektromobil, Účinnosť, Straty

Key words: Battery, Charging, Electric vehicle, Efficiency, Losses



Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá popisom spôsobov nabíjania elektrických a hybridných vozidiel, sledovaním okolností rýchlosti a riadenia nabíjania a hľadáním závislosti na parametroch vozidla a nabíjačky. Jedná sa o rešerš a analýzu dostupných výskumov na túto tému. Na základe získaných znalostí, sú straty porovnané pri rôznych spôsoboch nabíjania a uvedené sú aj reálne príklady dobíjania vozidiel.

Abstract

This bachelor thesis deals with the description of methods of charging electric and hybrid vehicles, monitoring the circumstances of speed and charging control and finding the dependence on the parameters of the vehicle and charger. It is a search and analysis of available research on this topic. Based on the acquired knowledge, the losses are compared between different methods of charging and there are also real examples of vehicle charging.



Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému: , Nabíjení baterií elektrických vozidel‘ vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname zdrojov, ktorý tvorí poslednú kapitolu tejto práce.

V Prahe dňa: 6. septembra 2021

.....

(podpis autora)



PodĎakovanie

Rád by som poĎakoval vedúcemu mojej práce Ing. Josefovi Morkusovi, Csc. za jeho venovaný čas ako aj odborné konzultácie a kvalitnú spätnú väzbu. Ďalej svojej priateľke a rodičom za podporu a trpezlivosť, ktorá prispela k úspešnej finalizácii tejto práce.



Obsah

1. Batérie EV a HEV	9
1.1. Základné batériové technológie	9
1.1.1. Olovené batérie	9
1.1.2. Niklové batérie.....	9
1.1.3. Sodíkové batérie	9
1.1.4. Lítiové batérie	10
1.1.5. Zinkové batérie	11
1.1.6. Porovnanie jednotlivých druhov batérií na základe špecifickej energie... 11	
1.2. Parametre batérií	12
2. Zdroje pre napájanie EV	13
3. Druhy EV.....	14
4. Princípy nabíjania EV a HEV.....	15
4.1. Nabíjacie stanoviisko [9].....	15
4.1.1. Koncepty nabíjacieho stanoviiska.....	17
4.2. Rozdelenie podľa spôsobu spojenia EV so sieťou.....	18
4.2.1. Manuálne nabíjanie	18
4.2.2. Automatizované nabíjanie	18
4.2.3. Výmena batérie	20
5. Nabíjačka EV.....	20
5.1. Nabíjacie úrovne SAE.....	21
AC – nabíjanie striedavým prúdom.....	21
5.1.1. AC úroveň 1	22
5.1.2. AC úroveň 2	22
DC – nabíjanie jednosmerným prúdom.....	22
5.1.3. DC úroveň 1	22
5.1.4. DC úroveň 2.....	23
5.1.5. HPCCV	23
5.2. Nabíjacie režimy IEC	24
5.3. Prípady zapojenia podľa IEC	25
5.4. Typy konektorov	25
5.4.1. Typ 1	25
5.4.2. Typ 2 (SAE).....	27
5.4.3. Typ 2 (EIC).....	27
5.4.4. Typ 3 (EIC).....	27
5.4.5. Typ 4 (EIC).....	28



5.4.6.	Ďalšie konektory	29
5.5.	Porovnanie noriem.....	30
6.	Nabíjacie metódy	31
6.1.	Doma zo zástrčky	31
6.2.	Wallbox	31
6.3.	Verejné.....	31
6.4.	Rýchlo nabíjačky	32
7.	Riadenie priebehu nabíjania.....	32
7.1.	Systém spravovania batérie (BMS-battery management system)	32
7.2.	Spravovanie teploty a výkonu	33
8.	Faktory ovplyvňujúce rýchlosť nabíjania	33
9.	Efektívnosť nabíjania	34
9.1.	Porovnanie nabíjania úrovne 1 a úrovne 2 [10].....	34
9.1.1.	Metóda.....	34
9.1.2.	Hlavné ciele:.....	34
9.1.3.	Výsledky.....	35
9.1.4.	Záver.....	37
9.2.	Efektívnosť rýchleho DC nabíjania	37
9.2.1.	Metóda.....	38
9.2.2.	Hlavné ciele:.....	38
9.2.3.	Výsledky.....	39
9.2.4.	Záver.....	41
9.3.	Dobíjanie konkrétnych vozidiel (InsideEVs)	42
9.3.1.	BMW i3s REx 2020	42
9.3.2.	Porsche Taycan Cross Turismo.....	43
9.3.3.	Mercedes-Benz EQS	43
9.3.4.	Tesla Model S Plaid	44
9.3.5.	Mustang Mach-E.....	45
9.3.6.	VW ID.4 First Edition.....	46
9.4.	Účinnosť nabíjania EV (ADAC Ecotest)	47
10.	Záver.....	48
	Zdroje	49
	Zoznam obrázkov	53
11.	Zoznam príloh	54
12.	Prílohy	55



1. Batérie EV a HEV

1.1. Základné batériové technológie

1.1.1. Olovené batérie

Na úvod boli olovené, tie sa postupne s príchodom novších technológií javia príliš ťažké. Preto sa ich využitie sústredilo na štart a napájanie elektroniky automobilu. Prípadne ako záložný zdroj v električke, vlaku alebo v metre. Menovité napätie článku je na úrovni 2 V. [17] Sú najstarší predstaviteľ skupiny nabíjateľných sekundárnych článkov. Okrem toho, že sú veľmi rozšírené v klasických automobiloch so spaľovacím motorom, v niekoľkých prípadoch boli využité aj na napájanie EV (EV – elektrické vozidlá). Majú malú špecifickú energiu a malú hustotu energie. Príkladom vozidiel s týmto akumulátorom sú GM EV1 a Toyota RAV4 EV. [14]

1.1.2. Niklové batérie

Batérie založené na technológií, ktorá využíva katódu z nikel hydroxidu NiOOH. Spolupracuje s kovovou (Ni-Cd), alebo vodík skladujúcou anódou (Ni-H₂, Ni-MeH). Má nízke menovité napätie článku na úrovni 1,2 V. [18] Nikel-kadmiové batérie predstavujú technológiu používanú v 90. rokoch. Napriek tomu, že majú vyššiu hustotu energie, sa vyznačujú vysokým pamäťovým efektom a kratšou životnosťou. Okrem toho je kadmium veľmi drahý a pre životné prostredie nebezpečný prvok. Preto sú v dnešnej dobe nikel-kadmiové batérie nahradzované batériami nikel-metal-hydridovými. Nikel-metal-hydridové batérie (Ni-MH) na ukladanie vodíka používajú namiesto kadmiovej elektródy zliatinové. Napriek svojmu zvýšenému samovybíjaciemu efektu sa použila v niekoľkých EV, ako napríklad Toyota Prius, druhá verzia GM EV1, či ďalšia verzia Toyoty RAV4 EV. [14]

1.1.3. Sodíkové batérie

Konštrukcia týchto druhov akumulátorov využíva prvok sodíka, ktorý je v tekutej forme využívaný ako anóda. Katóda je v tomto prípade konštruovaná z nikel chloridu NiCl₂. Verzia používaná prevažne v industriálnych aplikáciách, na skladovanie energie



v náročnejších podmienkach, využíva sodík v tekutej forme, ktorý je oddelený pevným elektrolytom od priestoru s tekutou sírou, NaS. [19] Sodík-sírové batérie (Na-S) vytvárajú potenciál vďaka svojej vysokej hustote energie, efektívite prevádzky ako aj dlhej životnosti, pričom materiály v nej použité sú málo nákladné. Tento typ batérie bol použitý vo Forde Ecostar, napriek tomu, že jeho pracovné hodnoty dosahujú 300-350°C. Sodík-nikel-chloridové batérie, známe ako ZEBRA, sú podobné sodík-sírovým batériám, a predstavujú ich bezpečnejšiu a lacnejšiu alternatívu. Ich výhodou je, že pri nízkych teplotách poskytujú až o 30% viac energie, aj keď ich optimálna pracovná teplota je stále na vysokej úrovni, približne 260-300°C. Tieto batérie sú konštrukčne jednoduché, majú vysokú hustotu energie, dlhú životnosť, nenáročnú údržbu, ako aj efektívnu recykláciu, či odolnosť v teplotách od -40 do 60 °C. Napriek tomu sú vzhľadom na vysoké pracovné teploty v EV nevyužívané. [14]

1.1.4. *Lítiové batérie*

Tento typ batérie je v dnešnej dobe dominantný pre mobilné systémy. Vďaka vysokej kapacite aktívnych materiálov je menovité napätie jedného článku až 3,6 V. Prednosťou v rámci spomínaných technológií je hlavne vysoká hustota energie pri izbovej teplote. Nemenej veľkou výhodou je nízka hmotnosť ich komponentov pri zachovaní vysokej kapacity, nízkeho vnútorného odporu a malého pamäťového efektu, čo pozitívne ovplyvňuje jeho životnosť. Ich prevádzka musí byť prísne kontrolovaná v rámci bezpečných teplotných a napäťových rozmedzí, keďže ich prekročenie môže znamenať zníženie výkonu batérie ako aj bezpečnostné riziko. Od 150°C začína samovoľná deštrukcia elektrolytu.

1.1.4.1. *Li-Ion*

Li-ion batérie používajú katódu z lítneho oxidu kovu (napríklad kobaltu, mangánu, železa alebo niklu), anóda je vyrobená z uhlíku a elektrolyt je lítiová soľ v organickom rozpúšťadle.

1.1.4.2. *Lítium – polymér*

Lítiové batérie sú taktiež dostupné s elektrolytom v podobe polyméru (pevný alebo gélový). Vďaka vysokej vodivosti polyméru poskytujú vyššiu špecifickú energiu, čo umožňuje využitie v prípadoch, kde je dôležitým faktorom hmotnosť. [20]



1.1.5. Zinkové batérie

Zaujímavá technológia v prípade zinkovo-bromidovej batérie (Zn-Br₂) predstavuje riešenie tvorené z dvoch nádrží v ktorých sa na kladnej elektróde pretvára bróm. Využitý bol na prototype nazývanom ‚T-Star‘. [14]

1.1.6. Porovnanie jednotlivých druhov batérií na základe špecifickej energie

Lítiové batérie postupne nahradili niklové NiCd/NiMh v aplikácií pre napájanie elektrických dopravných prostriedkov. Dôležité činitele pristúpenia na tento prechod boli hlavne možnosti zmenšovať rozmery a hmotnosť potrebných zdrojov, v ďalšom rade zjednodušiť údržbu. Podobne sa pre aplikáciu na napájanie pohonu elektromobilu nehodí olovená batéria vzhľadom na jej veľkú hmotnosť.

Tabuľka na obrázku 1 zahŕňa porovnanie najdôležitejších parametrov medzi ktoré patrí napríklad pracovná teplota, pretože môže limitovať ich využitie v rôznych aplikáciách. V tomto ohľade sa pozitívne javia olovené a lítiové batérie, keďže dokážu pracovať pri veľmi nízkych teplotách až do -20°C, hoci lítium-iónové batérie pri veľmi nízkych teplotách vykazujú zníženie kapacity a s tým spojené samovybíjanie. Optimálna teplota na fungovanie lítium-iónových batérií je okolo 40°C. Môžeme pozorovať, že batérie formované sodíkom (Na-NiCl a Na-S) majú vyššie pracovné teploty. Čo sa týka špecifickej energie a jej hustoty najlepšie obstávajú lítium-iónové batérie a naopak negatívne sa umiestnili olovené (Pb-PbO₂) a niklové (Ni-Cd) batérie.

	Pb-PbO ₂	Ni-Cd	Ni-MH	Zn-Br ₂	Na-NiCl	Na-S	Li-Ion
Pracovná teplota (°C)	-20-45	0-50	0-50	20-40	300-350	300-350	-20-60
Špecifická energia (Wh/kg)	30-60	60-80	60-120	75-140	160	130	100-275
Hustota energie (Wh/L)	60-100	60-150	100-300	60-70	110-120	120-130	200-735
Špecifický výkon (W/kg)	75-100	120-150	250-1000	80-100	150-200	150-290	350-3000
Napätie článku (V)	2.1	1.35	1.35	1.79	2.58	2.8	3.6
Počet nabíjajúcich cyklov	500-800	2000	500	>2000	1500-2000	2500-4500	400-3000

Obrázok 1- Tabuľkové porovnanie parametrov batériových technológií [24]



Podľa špecifického výkonu sa medzi najhoršie javia batérie olovené, či zinkové s hodnotami na úrovni 100W/kg. Najlepšie hodnoty vychádzajú pre Ni-MH (1000W/kg) a lítium-iónové s hodnotou až do 3000W/kg. Najvyššiu hodnotu napätia jedného článku má batéria lítium-iónová, a to 3,6V. Spolu s Na-S majú lítiové najväčší počet možných nabíjajúcich cyklov. Spomenuté parametre nabádajú k tomu, že práve lítiová technológia má vo využití v EV najväčší potenciál.

1.2. Parametre batérií

Zo základných princípov fungovania jednotlivých technológií akumulátorov, som sa pokúsil určiť najdôležitejšie parametre, ktoré sa snažím v ďalšom rozbere sledovať.

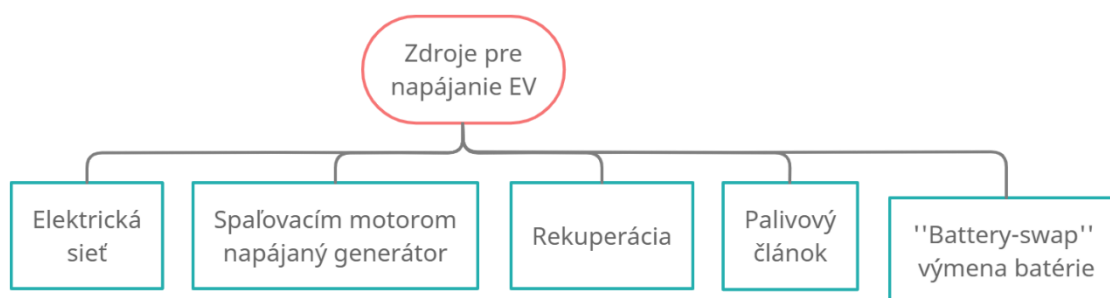
- Typ článku (chemické zloženie, tvar, veľkosť,) [1]
 - Kapacita (Ah; Wh)
 - Hustota energie (Wh/l)
 - Špecifická energia (Wh/kg)
 - Špecifický výkon (W/kg)
 - Stav nabitia (%)
 - Vnútorný odpor
- Vek batérie (v rokoch) [2]
- Parametre nabitia-vybitia.
 - Počet cyklov (počet nabití-vybití)
 - Úroveň vybitia (hlboké/plytké, SOC – state of charge, teda úroveň nabitia batérie)
 - Teplota (hlavne počas vybíjania/nabíjania)
 - C-rate (Trvalý pomer medzi nabíjajúcim a vybíjajúcim výkonom vo W a kapacitou v kWh.)
- Formy degradácie výkonu



- Zníženie kapacity (dostupnej energie) - aktívny materiál článku sa mení na neaktívny
- Zníženie merného výkonu (reakčný rozsah) – materiál sa mení na iné zlúčeniny, ktoré pôsobia ako bariéry.

Treba si dávať pri porovnávaní pozor, či sú dané parametre uvedené pre jeden článok alebo pre celý batériový zväzok (teda batériu). Okrem parametrov určujúcich typ článku, ako chemické zloženie, tvar, veľkosť, sú dôležité parametre na základe ktorých možno technológie porovnať. Medzi ne patrí kapacita, hustota energie, špecifická energia, špecifický výkon, stav nabitia a vnútorný odpor. Ďalšie dôležité faktory, ovplyvnené používaním sú vek batérie a počet cyklov, kedy nás okrem samotného počtu zaujíma aj úroveň vybitia a teplota počas celého cyklu. Používaním sa môže dostať degradácia vo forme zníženia kapacity, kedy sa aktívny materiál batérie mení na neaktívny. Iná forma degradácie spôsobuje zníženie merného výkonu, ktorý zapríčiňuje zmena vnútorného materiálu na inú zlúčeninu, ktorá pôsobí ako bariéra.

2. Zdroje pre napájanie EV



Obrázok 2 - Schéma rozdelenia zdrojov pre napájanie EV

Na úvod uvádzam na obrázku 2 rozdelenie zdrojov pre napájanie EV. Možnosti sú napájanie z existujúcej elektrickej siete, kedy buď za pomoci nabíjacieho kábla napájame palubnú nabíjačku alebo pomocou externej nabíjačky nabíjame priamo batériu vozidla. Spaľovací motor, alebo spaľovacím motorom napájaný generátor, ktorý vidíme v aplikáciách ako plug-in hybridné vozidlá, kde je spojený s hnacím ústrojenstvom, môže



teda slúžiť ako na dobíjanie tak aj na pohon. Príbuzné sú aj vozidlá s predĺženým dojazdom (tzv. ‚extended range‘ ER-EV).

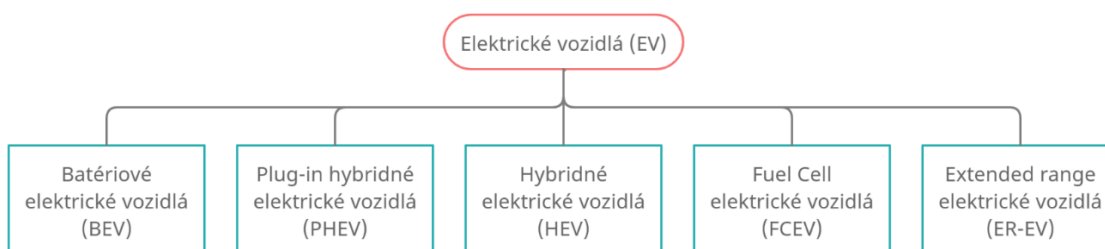
Ďalšou možnosťou je rekuperácia, alebo rekuperačné brzdenie, kedy použijeme elektromotor ako generátor, ktorý pri brzdení produkuje výkon, ktorým sa môže dobíjať akumulátor EV.

V prípade vozidiel s palivovým článkom používame chemickú energiu paliva (primárne vodíku) a okysličovadla (čo predstavuje vzdušných kyslík) na výrobu elektrickej energie. Palivo vo forme stlačeného vodíka, mechanicky doplňujeme, podobne ako v prípade benzínu alebo nafty do nádrže vozidla s klasickým spaľovacím motorom.

‚Battery swap‘ alebo výmena batérie za plne doplnený akumulátor a príslušná výmenná stanica vo svojej podstate používa na napájanie elektrickú sieť. Na rozdiel od ostatných technológií sa v tomto prípade vybitý akumulátor, na dedikovanej výmennej stanici, odstráni z vozidla a je nahradený dobitým akumulátorom, dostupný na výmennej stanici. Stanica pre tento proces, teda zahŕňa aj vhodné nabíjacie stanoviisko pre vybité akumulátory, ktorých nabíjanie prebieha mimo vozidla.

3. Druhy EV

Elektrické vozidlá by sme ďalej mohli kategorizovať spôsobom uvedeným na obrázku 3, [14] podľa adaptácie spomínaných zdrojov v rámci svojej prevádzky:



Obrázok 3 - Schéma rozdelenia elektrických vozidiel [14]

Batériové elektrické vozidlá (BEV), používajú na napájanie elektromotora akumulátor, ktorý je zväčša dobíjaný z elektrickej siete. Štruktúru dopĺňa systém rekuperácie, slúžiaci na čiastočné zužitkovanie energie produkovanej pri spomaľovaní.



„Plug-in“ hybridné elektrické vozidlá (PHEV), môže poháňať rovnako ako elektromotor aj spaľovací motor. Užívateľ má možnosť použiť pre jazdu buď spaľovací motor, alebo elektromotor, alebo obe zároveň. Batéria sa dobíja buď rekuperáciou pri jazde na spaľovací motor, alebo podobne ako v prípade batériových vozidiel z elektrickej siete vstupom na nabíjanie.

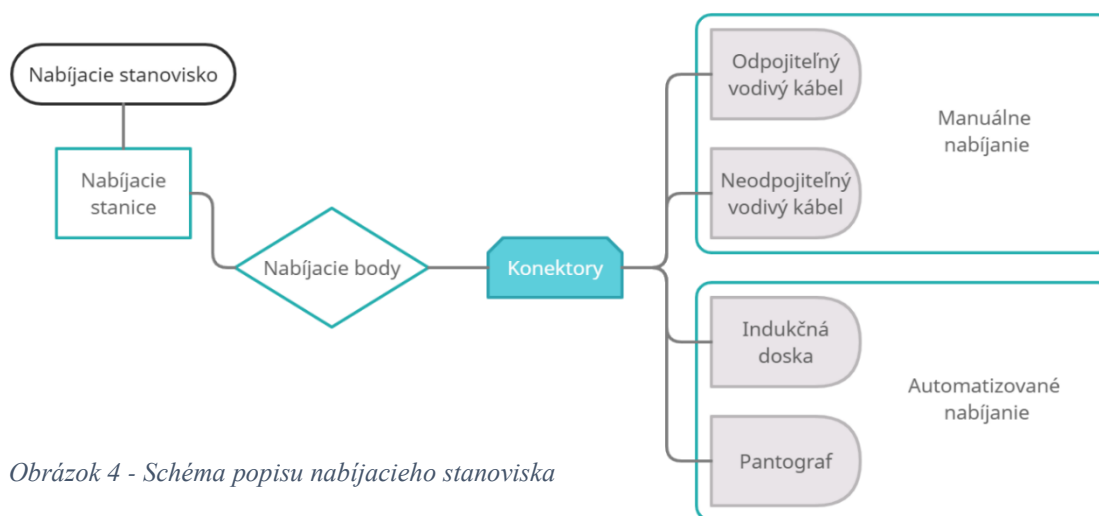
Hybridné elektrické vozidlá (HEV), neobsahujú zásuvku na externé dobíjanie z elektrickej siete. Často sa v nich nachádza akumulátor menšej kapacity, ktorý je dobíjaný pri brzdení alebo jazde na spaľovací motor.

„Fuel cell“ elektrické vozidlá (FCEV), teda na palivový článok používajú ako svoj zdroj, princíp výroby elektrickej energie v palivovom článku.

Elektrické vozidlá „extended range“ teda s predĺženým dojazdom, zastupujú špeciálnu kombináciu, kde sa malý spaľovací agregát používa iba na dobíjanie batérie, čo umožní čiastočné predĺženie dojazdu. Spaľovací motor pracuje na svojich optimálnych nastaveniach, pre zabezpečenie čo najekonomickejšej prevádzky. Dodávanie energie pre potreby výkyvov výkonových nárokov sa stará výlučne batériový akumulátor vozidla.

4. Princípy nabíjania EV a HEV

4.1. Nabíjacie stanoviisko [9]



Obrázok 4 - Schéma popisu nabíjacieho stanoviiska



Nabíjacie stanovisko

predstavuje jednu nabíjaciu lokáciu. Nabíjacie stanovisko sa môže skladať z jedného alebo viac nabíjacích staníc.

Nabíjacia stanica

je objekt s jedným alebo viacerými nabíjacími bodmi. Každá stanica je spravovaná v rámci jej užívateľského prostredia, ktoré predstavujú RFID (RFID - rádiový frekvenčný identifikácia) čítačky, tlačidlá a displej. Či viac autonómna možnosť vo forme pripojím a nabíjam, kde identifikácia vozidla prebehne automaticky po pripojení. Stanicu môžeme definovať jednou lokáciou a jej príslušným užívateľským prostredím.

Nabíjacím bodom

dodávame elektrickú energiu. Jeden nabíjací bod, môže obsahovať jeden alebo niekoľko konektorov, s ohľadom na kompatibilitu s konektormi používanými na lokálnych trhoch. Jeden nabíjací bod nabíja naraz práve jedno elektrické vozidlo za použitia príslušného konektoru.

Konektor

umožňuje fyzické spojenie medzi nabíjacou stanicou a nabíjaným elektrickým vozidlom. Základné rozdelenie by mohlo predstavovať technológie manuálneho nabíjania, ku ktorým spadá nabíjanie odpojiteľným alebo neodpojiteľným vodivým káblom, alebo nabíjanie automatizované, ktoré sa môže realizovať napríklad pomocou indukcie, bezkontaktné alebo kontaktom, ktorý zabezpečuje pantograf.

4.1.1. *Koncepty nabíjacieho stanoviska*

Nabíjací robot,

ktorý sám obsahuje akumulátor, ktorý sa nabíja sa na centrálnom nabíjacom stanovisku. Po doplnení je schopný pristaviť sa k pridelenému vozidlu a automaticky odštartovať proces nabíjania. Takéto riešenie by umožňovalo rozšíriť variabilitu ponuky parkovacích miest napríklad v garážových domoch, či podzemných parkoviskách. Vízie na takýto produkt môžeme sledovať u viacerých výrobcov, ako napríklad Volkswagen, ale aj Tesla a iný. Skupina VW, predstavila mobilného nabíjacieho robota, ktorý mobilné úložisko energie vo forme prívesu, dovedie k vozidlu. [13]

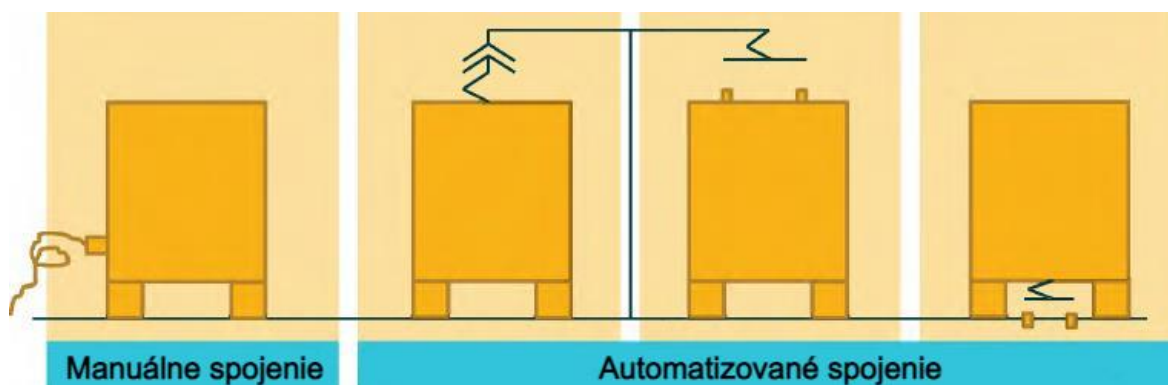


Obrázok 5 - Nabíjací robot VW [13]



4.2. Rozdelenie podľa spôsobu spojenia EV so sieťou

Podľa typu konektora a teda druhu zapojenia k napájacíemu zdroju zo siete, môžeme jednotlivé technológie konektorov zaradiť medzi predstaviteľov určených na manuálne spôsoby napojenia a tie automatizované, kde zapojenie prebehne na nabíjacom stanovisku pomocou vstavaného mechanizmu, bez potreby ďalšieho zásahu.



Obrázok 6 - Schéma možností pripojenia k elektrickej sieti [9]

4.2.1. Manuálne nabíjanie

Tento spôsob využíva pre nabíjanie vodivé spojenie za pomoci:

- zásuvky umiestnenej na vozidle,
- vodivého kábla s vhodným konektorom na oboch stranách alebo kábla na jednej strane permanentne pripojeného k nabíjacíemu bodu, ktorý musí užívateľ v oboch prípadoch manuálne pripojiť do zásuvky na vozidle.

4.2.2. Automatizované nabíjanie

Zastupiteľ automatizovaného nabíjania je nabíjanie pomocou pantografu (využívané primárne vo vysokých vozidlách ako napríklad v autobusoch alebo v nákladných vozidlách), prípadne indukčné nabíjanie.



4.2.2.1. *Pantograf*

Pantograf pre účely dobíjania akumulátorov vozidla, si našiel svoje uplatnenie hlavne pri aplikáciách, kde prebieha nabíjanie s vysokým výkonom, za relatívne krátky čas (rádovo sekundy až minúty). Môžeme ich vidieť napríklad v prípadoch s veľkým krátkodobými záťažami, ako sú elektobusy, nákladné alebo inak špecializované vozidlá a manipulátory na letiskách, alebo v prístavoch.

Podľa miesta uloženia mechanizmu pantografu a s tým spojenou orientáciou pohybu pri zahajovaní nabíjania, môžeme rozlíšiť dva základné typy a to:

Invertný pantograf (pohyb nadol)

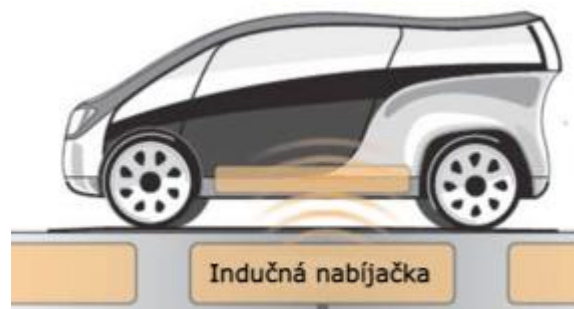
Mechanizmus pantografu je implementovaný do štruktúry nabíjacej stanice, ktorý je po zastavení vozidla na dedikovanom mieste, schopný vysunutím smerom nadol uskutočniť spojenie a následné nabíjanie.

Strešný pantograf (pohyb nahor)

Pantograf je umiestnený na strechu vozidla, pričom rovnako ako v predošlom prípade je potreba zastaviť na požadovanom mieste, ale spojenie sa nadobudne pohybom jeho mechanizmu nahor kde sa spojí s konektorom nabíjacieho stanoviska.

4.2.2.2. *Automatizované nabíjanie bezdrôtové (indukčné)*

Bezdrôtové nabíjanie funguje na princípe elektromagnetického prevodu elektrickej energie, bez použitia káblov. Nabíjacie stanovisko pozostáva s vodiča, ktorý vytvára pri napájaní striedavým prúdom elektromagnetické pole. Výkon prenášaný poľom, je zariadenie umiestnené na spodku vozidla schopné prijímať, a tým dobíjať palubnú batériu. [9] Podľa druhu spojenia so zdrojom energie ich môžeme rozdeliť na stacionárne a dynamické indukčné nabíjanie. Nevýhodou tejto technológie môže byť nižšia účinnosť spojená s nutnosťou presného zastavenia vozidla nad nabíjacou cievkou. Indukčné nabíjanie si našlo svoje využitie aj v komerčných automobiloch, napríklad u BMW 530e.



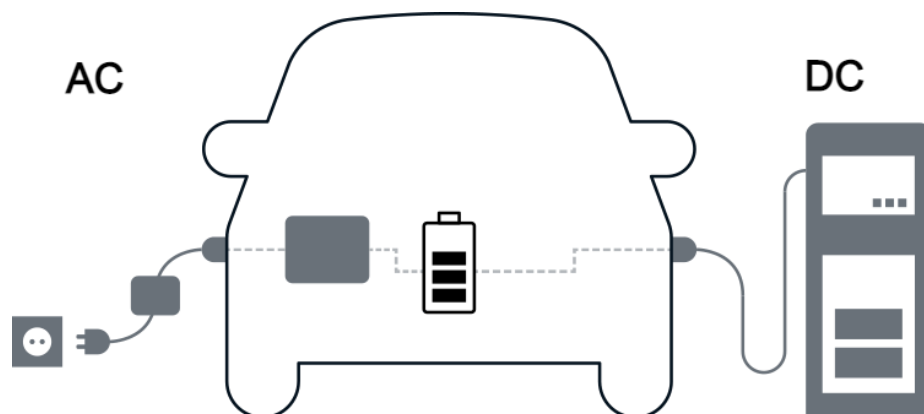
Obrázok 7 - Princíp indukčného nabíjania [9]

4.2.3. Výmena batérie

V prípade výmeny batérie, je na výmennej stanici vybitý akumulátor s paluby vozidla odobratý a nahradený dobitým akumulátorom s rovnakými špecifikáciami. Akumulátor je dobíjaný na centrálnom dobíjacom stanovisku v rámci výmennej stanice.

5. Nabíjačka EV

Nabíjačka EV, je v podstate nabíjací systém, alebo nabíjacie ústrojenstvo umožňujúce úpravu a prenos elektrickej energie zo siete, ktorá má konštantnú frekvenciu a konštantné napätie, na zbernicu batérie vnútri vozidla, ktorá pracuje s jednosmerným prúdom DC a s premenným napätím, slúžiacim na napájanie batérie a ostatných systémov počas zapojenia na nabíjačku. Z ohľadom na miesto prevodu striedavého prúdu (AC) dostupného v elektrickej sieti, na jednosmerný prúd (DC) spracovateľný batériou, môžeme nabíjať priamo zo siete. Počas nabíjania priamo zo siete prebieha prevod AC/DC v palubnej nabíjačke vozidla, ktorou sú určované aj možné výkony a s nimi spojené dĺžky



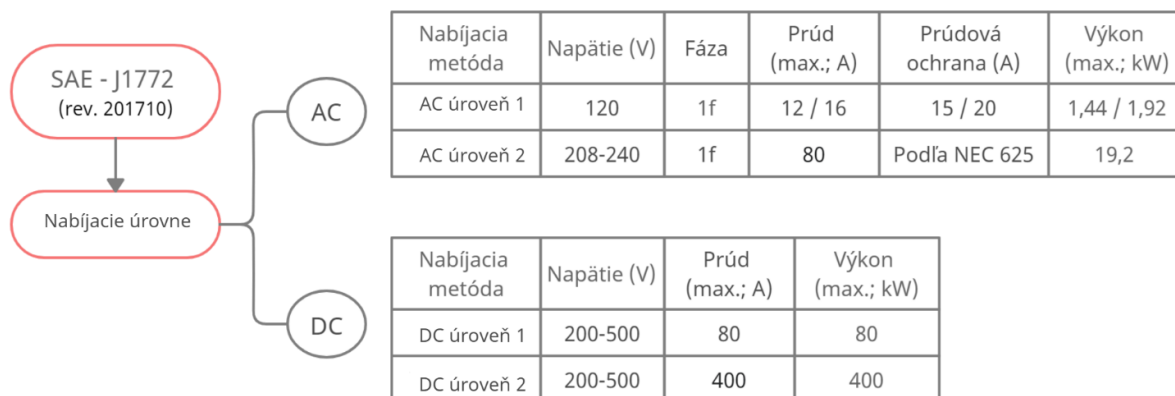
Obrázok 8 - Obrázok porovnávajúci základné princípy AC a DC nabíjania [21]



nabíjania. V prípade použitia nabíjacej stanice, prevod nastáva v externej nabíjačke, ktorú možno spojiť priamo s batériou, ako je uvedené v schéme na obrázku 11. [21]

5.1. Nabíjacie úrovne SAE

Norma slúžiaca k popisu výkonovej úrovne nabíjacej zásuvky nabíjačky. V podstate určuje konfigurácie nabíjania. [6], [7]. Spoločnosť automobilových inžinierov (SAE International) definuje v častiach normy SAE J1772 všeobecné fyzické, elektrické a komunikačné parametre používané v nabíjacom systéme elektromobilu. Definuje parametre ako „nabíjacie úrovne“, ktoré sa ďalej delia podľa toho či ide o napájanie striedavým (AC), alebo jednosmerným (DC) prúdom. Presné parametre vidíme na obrázku 9. [16] V oboch prípadoch máme úroveň 1 a úroveň 2. Tie sa líšia úrovňami napätia, prúdu a teda aj výkonu. S tým je spojený aj predpoklad rôzneho času potrebného pre plné nabitie vozidla. Vyšší výkon umožňuje dosiahnuť kratšie časy nabíjania.



Obrázok 9 - Tabuľka parametrov úrovní SAE

AC – nabíjanie striedavým prúdom

Pri nabíjaní striedavým prúdom, používame dostupnú elektrickú sieť so striedavým prúdom. Batéria však dokáže prijať iba jednosmerný prúd, na ktorého pretvorenie sa po pripojení využíva palubná nabíjačka vozidla. Výkon dodávaný do batérie je teda limitovaný kapacitou dostupného AC-DC prevodníka.



5.1.1. AC úroveň 1

Využitie nachádza vo veľkej miere pri domácom nabíjaní. Spôsobom zapojenia, ktorý využíva pre nabíjanie nabíjačku umiestnenú na palube vozidla a pre napájanie existujúcu sieť lokálneho zdroja AC - striedavého prúdu, umožňuje zapojenie do existujúcej siete domácnosti. Počas nabíjania je AC výkon zo zdroja, pomocou bežnej zástrčky napríklad podľa štandardu CEE 7 privedený vhodnou kabelážou do palubnej nabíjačky automobilu, ktorá nabíja batériu vozidla.

Rozpätie výkonov nabíjačiek:

- 0,7 – 1,92 kW (6 – 16 A)

5.1.2. AC úroveň 2

Konfigurácia nabíjania, ktorá je napájaná z okruhu, ktorý je rámci domácnosti, pracoviska alebo verejnej lokácie, určený pre nabíjanie elektromobilu. Na napájanie palubnej nabíjačky vozidla sa využíva príslušná výbava nabíjacej stanice. Nabíjačka umiestnená vo vozidle musí byť schopná prijímať energiu zo zdroja striedavého prúdu.

Rozpätie výkonov nabíjačiek:

- 1,4 – 22 kW (6 – 80 A)

DC – nabíjanie jednosmerným prúdom

Metóda využíva pre nabíjanie jednosmerný prúd, ktorý zabezpečuje externá nabíjačka umiestnená v nabíjacej stanici. Výkon zo striedavej siete prechádza AC-DC usmerňovačom, po čom pokračuje priamo do batérie, bez využitia palubnej nabíjačky vozidla.

5.1.3. DC úroveň 1

Rozpätie výkonov nabíjačiek:

- 80 kW (50 – 1000 V)



5.1.4. *DC úroveň 2*

Rozpätie výkonov nabíjačiek:

- 400 kW (50 – 1000 V)

5.1.5. *HPCCV*

Takzvané megawattové nabíjanie zaznamenáva vývoj hlavne pre veľké BEV. Konektor by mal zvládať nabíjanie DC až do výkonu 4,5MW. [22] Táto úroveň nabíjania zatiaľ nie je rozšírená na komerčné využitie.

Rozpätie výkonu nabíjania:

- 4500 kW (0 - 3000 A, 200 – 1500 V)



5.2. Nabíjacie režimy IEC

Vo veľkej miere v Európe je využívaná norma podľa medzinárodnej elektrotechnickej komisie (IEC - international electrotechnical commision). Táto norma definuje ‚nabíjacie režimy‘, ktoré sú na obrázku 10 zoradené do prehľadnej tabuľky. [15]

IEC - 62196

Nabíjacie režimy

Režim 1		pomalé nabíjanie				
Nabíjacia metóda	Napätie (V)	Fáza	Prúd (max.; A)	Zapojenie (piny)	Výkon (max.; kW)	
AC	230-240	1f	16	Prúdový chránič	3,8	
AC	480	3f	16	Režim 1	7,6	

Režim 2		častočne rýchle nabíjanie				
Nabíjacia metóda	Napätie (V)	Fáza	Prúd (max.; A)	Zapojenie (piny)	Výkon (max.; kW)	
AC	230-240	1f	32	Režim 1 + komunikačný (in-cable control box)	7,6	
AC	480	3f	32	Režim 2	15,3	

Režim 3		rýchle nabíjanie				
Nabíjacia metóda	Napätie (V)	Fáza	Prúd (max.; A)	Zapojenie (piny)	Výkon (max.; kW)	
AC	230-240	1f	32-250	Normalizované (Režim 1 + komunikačný + detekcia pripojenia)	60	
AC	480	3f	32-250	Normalizované (Režim 3)	120	

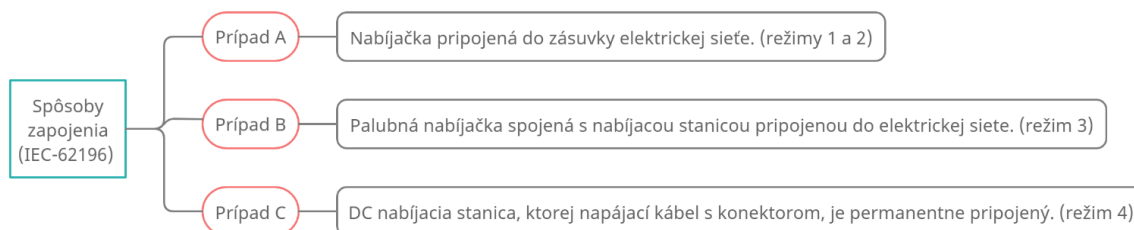
Režim 4		ultra rýchle nabíjanie				
Nabíjacia metóda	Napätie (max.;V)	Prúd (max.; A)	Zapojenie (piny)	Výkon (max.; kW)		
DC	600-1000V	250-400	Normalizované (podľa konektoru)	120		

Obrázok 10 - Tabuľka parametrov režimov IEC

Režim 1 až 3 sú určené pre nabíjanie striedavým prúdom. Zvyšujúcim sa režimom, pri vyšších výkonoch platia aj sprísňujú požiadavky na bezpečnostné prvky jednotlivých režimov. Režim 4, nakoniec definuje parametre pre rýchle nabíjanie jednosmerným prúdom.

5.3. Prípady zapojenia podľa IEC

Okrem režimov, sú v závere normy IEC [15] definované rôzne prípady nabíjania podľa spôsobu zapojenia. Ako je z obrázku 11 zrejmé, prípady A-C sa rozlišujú podľa spôsobu prepojenia nabíjacieho bodu a zásuvky na vozidle. Už spomenuté režimy nabíjania, možno zaradiť podľa príslušného prípadu zapojenia, ktoré využívajú.



Obrázok 11 - Schéma prípadov zapojenia IEC

5.4. Typy konektorov

5.4.1. Typ 1

Predstaviteľ je spojenie podľa normy SAE1772, ktorá využíva konektor SAE J1772-2009, známy aj ako ‚J‘ alebo ‚Yazaki‘ konektor. Tento typ páru konektor/zásuvka, je používaný značne na japonskom a americkom trhu. Vzhľadom na fakt, že sa v týchto krajinách nenachádza rozšírená 3-fázová elektrická sieť, je táto technológia limitovaná na 1-fázovú sieť.

Medzinárodná elektrotechnická komisia (EIC), v prípade typu 1, prevzali konštrukciu z SAE. V Európe, boli špecifikácie tohoto riešenia zahrnuté v norme IEC 62196-2 ako realizácia konektoru Typu 1. Rozdelenie je zhrnuté v diagrame na obrázku 13.

Konektor má celkovo 5 výstupov:

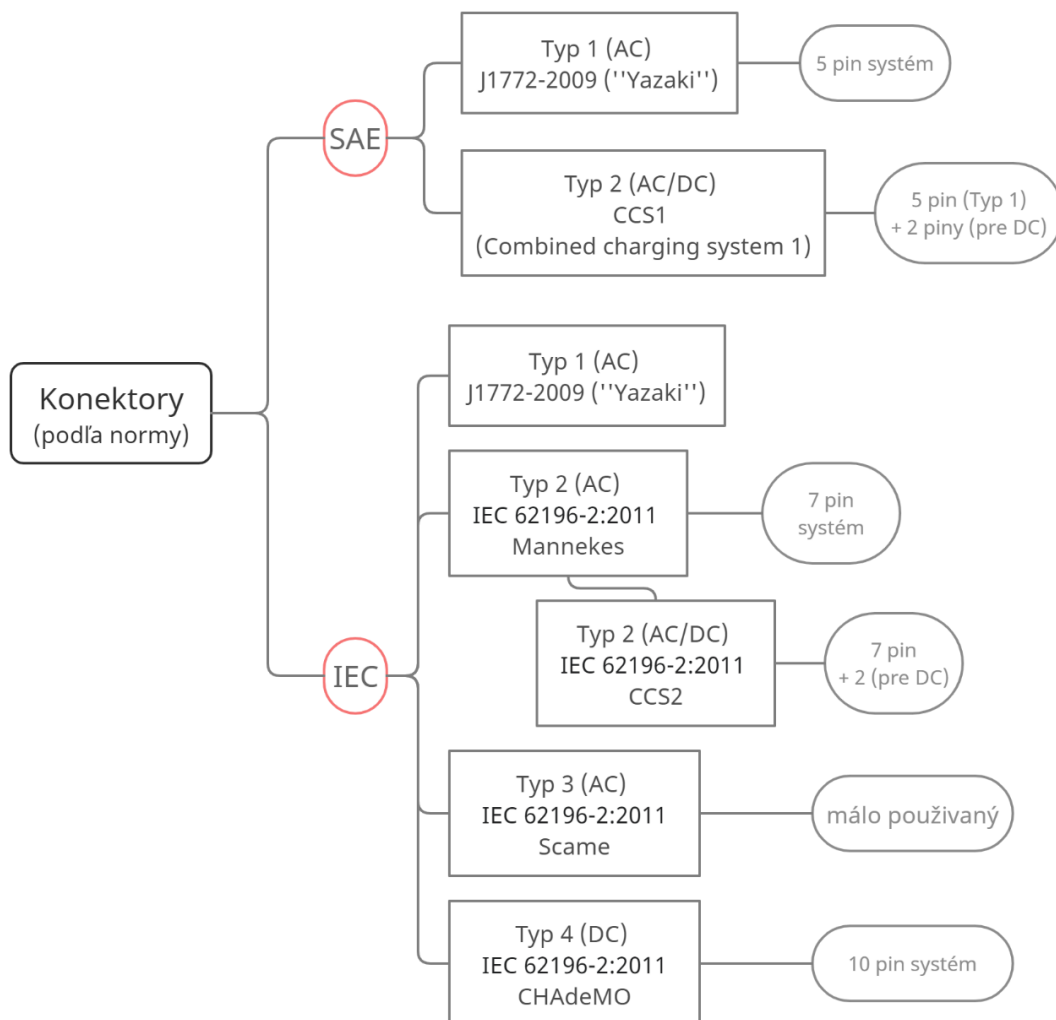
- 2 – určené pre AC vodiče
- 1 – uzemňovací vodič



- 2 – výstupy určené pre signalizáciu prítomnosti umiestnenia do zásuvky a spojenie s kontrolným ovládačom, kompatibilné s IEC 61851-2001 / SAE J1772-2001. [6]



Obrázok 12 - Konektor SAE J1772-2009 [9]



Obrázok 13 - Schéma rozdelenia konektorov podľa SAE a IEC

5.4.2. Typ 2 (SAE)

Typ 2, označovaný ako CCS1 (teda kombinovaný nabíjací systém) je v podstate Typ 1 doplnený dvoma kontaktmi pre napájanie jednosmerným prúdom.

5.4.3. Typ 2 (EIC)

Kombinácia konektor/vstup a vidlica/zásuvka typu 2, definovali v Európe, ako 7 pinový, pôvodne industriálny konektor ‚Mennekes‘, podľa spoločnosti, ktorá prvá navrhovala tento štandard. Na prevádzku využije rovnako ako 1-fázovú, aj 3-fázovú elektrickú sieť a zároveň umožňuje pracovať s vyššími výkonovými hodnotami. Do tejto kategórie spadá aj konektor Combo 2 (CCS2), ktorý je na území EU využívaný v značnej miere.

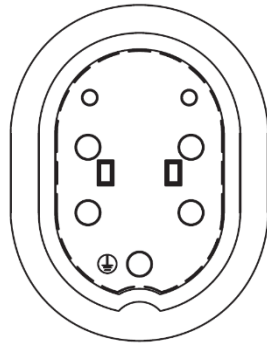
V porovnaní s typom 1, je nabíjací kábel odpojiteľný aj na strane nabíjacej stanice, čo umožňuje nabíjacej stanici nabíjať rovnako ako vozidlá s typom 2, tak aj vozidlá s typom 1 s použitím správneho kábla.



Obrázok 14 - Konektor typu 2 [9]

5.4.4. Typ 3 (EIC)

Technológia presadzovaná Francúzskom a Talianskom, Typ 3 označovaný ‚Scame‘ s vylepšenými bezpečnostnými prvkami, sa zatiaľ moc nerozšíril. Prináša na existujúce konektory a zásuvky uzavretie vodivých kontaktov, pomocou nevodivej krytky. Toto riešenie by v prípade využitia opačného smeru prenosu elektrickej energie, vozidlo do siete kedy vozidlo plní funkciu generátora, prinášalo rovnakú úroveň ochrany človeka pred živými vodičmi ako z klasických zásuviek.



Obrázok 15 - Konektor typu 3 'Scame' [14]

5.4.5. Typ 4 (EIC)

CHAdeMO

Elektrické vozidlo je pripojené do hlavnej siete pomocou externej nabíjačky, ktorá obsahuje ovládacie a ochranné funkcie permanentne nainštalované do objektu nabíjacej stanice. Nabíjací režim rozširuje ovládaciu funkciu až do externej nabíjačky, ktorá je permanentne pripojená priamo do siete AC. Je to jeden z prvých rýchlo nabíjajúcich štandardov na jednosmerný prúd na svete. Zároveň je najviac využívaný štandard na svete, z ohľadom na počet spoplatnených nabíjajúcich miest. (skoro 28 tisíc, k roku 2020)



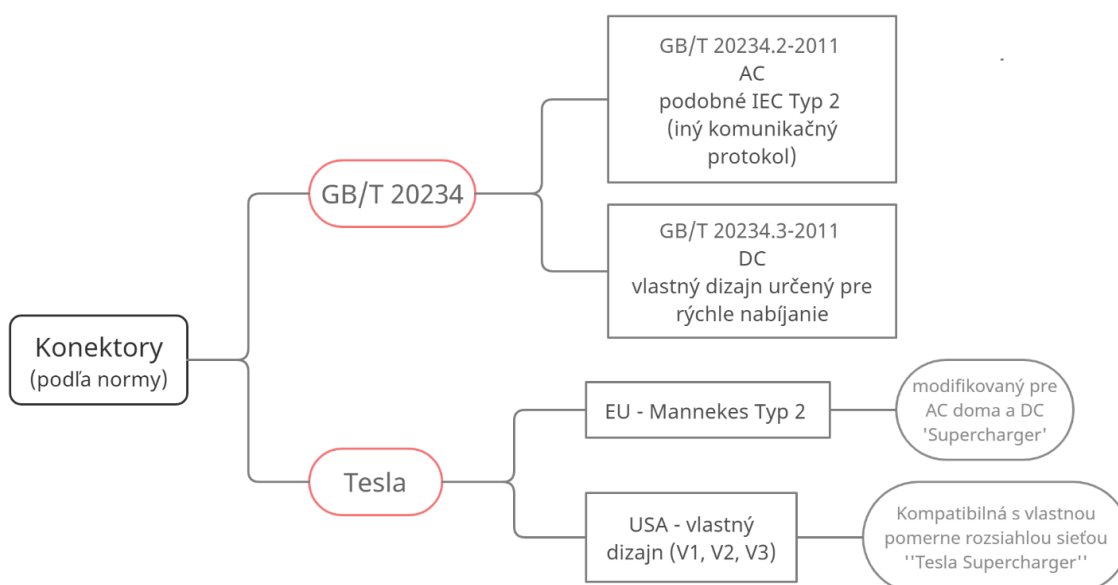
Obrázok 16 - Konektor typu 4 'CHAdeMO' [9]



5.4.6. Ďalšie konektory

Existujú ďalšie normy ako na príklad čínska GB/T 20234. Jeden konektor pre nabíjanie striedavým a jeden pre nabíjanie jednosmerným prúdom.

Podobne aj výrobca automobilov Tesla, má vlastné spôsoby riešenia nabíjania. V Európe doplnili svoje vozidlá o zásuvku podobnú z IEC typom 2. V severnej Amerike je hlavne využívaný ich vlastný konektor, ktorý už existuje aj vo verzií 3. Konektor ‚Tesla‘ v severnej Amerike je kompatibilný s vlastnou, v celku rozsiahlou sieťou rýchlo nabíjačiek ‚Tesla Supercharger‘



Obrázok 17 - Schéma rozdelenia konektorov GB/T a Tesla



Obrázok 18 - Prehľadná tabuľka existujúcich konektorov [33]

5.5. Porovnanie noriem

Podľa spomenutých prehľadov sekcií 5.1 až 5.4 môžeme konštatovať, že 120V nabíjanie sa vyskytuje iba v americkej norme SAE-J1772. Ostatné normy pracujú dokonca aj v režimoch s nižším výkonom, vždy s vyšším napätím, minimálne 230V. Podobne aj hodnoty najvyšších napätí sú v prípade SAE najnižšie (a to 500V), v porovnaní s IEC alebo GB/T, ktoré obe ponúkajú napätie až do 1000V. Čo sa týka prúdu, minimálnu intenzitu používa norma GB/T (10 A). Ako aj SAE aj IEC pracujú s najnižšou hodnotou 16 A. Najvýkonnejšie režimy pripúšťajú v prípade SAE iba 200 A, v prípade GB/T 250 A a najvyššiu hodnotu umožňuje IEC, až 400 A. Pokiaľ ide o jednotlivé výkony, v prípade AC nabíjania je najnižší výkon pri SAE (1,9 kW). GB/T je v závese s hodnotou 2,5 kW, a najvyšší minimálny výkon poskytuje norma IEC s hodnotou 3,8 kW. Najvyššie výkony dosiahnuteľné pri AC nabíjaní sú IEC 120 kW, GB/T 27,7 kW a v prípade SAE najnižších 19,2 kW. Podobné rozdiely môžeme pozorovať aj pri DC nabíjaní. Norma IEC zahrňuje najvyšší výkon v rámci spomenutých režimov na úrovni 400 kW. Norma GB/T a SAE pracujú s nižšími maximálnymi výkonmi, 250 kW v prípade GB/T a 100 kW v prípade SAE. Zaujímavé je spomenúť aj riešenia spoločnosti Tesla, ktorej nabíjacie stanice nabíjajú s jednosmerným prúdom až do hodnoty 120 kW.



6. Nabíjacie metódy

Existuje niekoľko rôznych ciest ako dobíjať batériu EV. V podstate nás zaujímajú dve zásadné otázky. Kde sa rozhodneme nabíjať? Ako rýchlo chceme nabíjať? Tieto dva faktory sú navzájom prepojené a závisia na aspektoch, ako typ EV, kapacita jeho akumulátora ako aj na druhu použitého nabíjacieho systému. V rámci druhov používaného systému existujú tri základné, a to nabíjanie zo štandardnej zástrčky, a potom nabíjanie AC nabíjačkou či DC nabíjacou stanicou.

6.1. Doma zo zástrčky

Najpomalšia metóda nabíjania EV používa pre napájanie štandardnú 230 V zástrčku dostupnú v rámci elektrickej siete domácnosti. Je odporúčané použiť túto metódu v krajných prípadoch s ohľadom na bezpečnosť a súlad s pravidlami lokálneho poskytovateľa elektrickej energie. Metóda nevyžaduje inštaláciu ďalšieho elektrického zariadenia. Je schopný dodávať 13-16 km/h, čo dáva v konečnom dôsledku rýchlosť nabíjania okolo 65 km dojazdu za noc (5 hodín), alebo 200 km za 14 hodín. Kábel s integrovaným ovládacím modulom rieši možné komplikácie spojené s náporom na domácu sieť. Jeho použitie je z tohto dôvodu odporúčané.

6.2. Wallbox

Druhou možnosťou je inštalácia takzvaného ‚wallboxu‘ do garáže alebo na príjazdovú cestu pomocou certifikovaného odborníka. Táto možnosť je najčastejšia a najodporúčanejšia. Poskytuje nabíjanie pripojené priamo do 230 V existujúcej elektrickej siete, ktorý umožňuje nabíjanie s 3 až 4-krát väčšou rýchlosťou ako pomocou domácej štandardnej zástrčky. To by v prípade 40 kWh batérie EV znamenalo plné nabitie za približne 6 hodín. Vzhľadom na skutočnosť, že je týmto spôsobom napájaná palubná nabíjačka schopná prevodu AC/DC, ktorej rozmery sú podľa typu vozidla obmedzené, je teda obmedzený aj výkon nabíjania.

6.3. Verejné

Tretou možnosťou sú verejne dostupné nabíjacie stojany či stanice lokalizované zväčša v mestských centrách či v blízkom okolí. Hlavný cieľ je možnosť dobiť batériu na počkanie pri potrebe vyššieho dojazdu. Verejné stanice väčšinou poskytujú AC nabíjanie



z wallboxu alebo DC rýchle nabíjanie. Oba spôsoby sú rýchlejšie ako domáci wallbox, pričom AC verejná nabíjačka môže byť až 3-10-krát rýchlejšia ako domáci wallbox.

6.4.Rýchlo nabíjačky

Momentálne najrýchlejší spôsob nabíjania EV s nabíjacím výkonom 50 kW a viac pri napätí 450 V a prúde až do 125 A, je schopný nabiť batériu z 20 na 80% asi za 40 minút. Keďže prevod AC/DC sa deje v telese externej nabíjačky, po pripojení do vozidla je možno napájať priamo palubnú batériu. To umožňuje oveľa rýchlejšie nabíjanie.

Konektory typu 1 a 2 sú používané pre domáce nabíjanie či nabíjanie z wallboxov. Pre rýchle nabíjanie sa používa konektor CHAdeMo alebo CCS2. [21]

7. Riadenie priebehu nabíjania

Vzhľadom na skutočnosť, že akumulátor sa skladá z veľkého počtu paralelne a sériovo zapojených článkov, pre dosiahnutie požadovaných parametrov akumulátora, je časté nerovnomerné vybíjanie/nabíjanie jednotlivých článkov. Za týmto účelom má batériový balík svoj systém správy batérie, známy ako BMS.

7.1.Systém spravovania batérie (BMS-battery management system)

BMS je kľúčový systém zodpovedný za spravovanie energie, ktorá je dostupná v batérii za cieľom garantovať bezpečnosť a spoľahlivosť akumulátorovej jednotky. Okrem toho, že ovláda distribúciu energie pre zníženie opotrebenia nabíjaním a vybíjaním, zastupuje funkciu hlavného ovládača pre ochranu pred náhlým prerušením prúdu, a teda vysokou mierou vybíjania. [3]

Tento systém kontroluje nabíjanie a vybíjanie, pričom sleduje, optimalizuje a vyvažuje výkony jednotlivých článkov. Okrem iného aj zaznamenáva, kontroluje teploty celého systému. Zabezpečuje komunikáciu s dozorným kontrolným modulom (Supervisory Control Module – SCM). Stará sa o ochranu a z nameraných hodnôt vyhodnocuje stav nabitia, úroveň vybitia a predpokladá očakávaný dojazd. Veľmi dôležitá je schopnosť vyrovnávania jednotlivých článkov, lebo veľká séria jednotlivých článkov je vždy taká spoľahlivá ako jej najslabší článok. Preto BMS pre zachovanie rovnováhy článkov kompenzuje zaťaženie slabších článkov.



7.2. Spravovanie teploty a výkonu

Teplota batérií hlavne počas vybíjania a nabíjania je jeden z kľúčových faktorov ovplyvňujúcich životnosť a výkon lítiových batérií. Prehrievanie batérie môže v krajnom prípade viesť ku drastickému vzostupu tepla až k teplotám vyše 70°C, pričom teploty cez 100°C majú na článok batérie devastačné následky. Tepelné poškodenie jedného článku môže viesť k reťazovej reakcii s ostatnými článkami, čo môže mať za výsledok požiar prípadne ohrozenie života. Ako súčasť konštrukcie BMS je blok pre riadenie teploty, zodpovedný v prípade chladného prostredia o vyhrievanie článkov pre udržanie pracovnej teploty.

Ďalší komponent ovplyvňovaný teplom je aj výkonová elektronika batérie. Tento systém je zodpovedný za dodávanie kontinuálneho výkonu pri zachovaní jeho hustoty. Vysoké výkony dodávané touto súčasťou majú za účinok zvýšenú tepelnú stratu. [3]

8. Faktory ovplyvňujúce rýchlosť nabíjania

Hlavné faktory ovplyvňujúce čas potrebný na nabitie EV: [25]

Veľkosť batérie: Čím väčšia kapacita (v kWh), tým dlhšie trvá nabíjanie.

Úroveň nabitia batérie: Pokiaľ nabíjame z úplného vybitia, je nabíjanie dlhšie ako keď dobíjame z počiatočnej hodnoty napríklad 50% úrovne nabitia batérie.

Maximálny výkon nabíjania vozidla: Batériu je možné nabíjať maximálne výkonom zodpovedajúcim maximálnemu výkonu vozidla. Pokiaľ má vozidlo napríklad možnosť nabíjania 7kW, nabíjacia stanica s výkonom 22kW nabíjanie neurýchli.

Maximálny výkon nabíjacej stanice: Rovnako je úroveň nabíjania limitovaná aj výkonom nabíjacej stanice, ktorý zodpovedá maximálnemu dostupnému nabíjacíemu výkonu. Ak by malo vozidlo možnosť nabíjania vyšším výkonom, vždy by najvyššia hodnota výkonu zodpovedala len dostupnému výkonu na nabíjacej stanici.

Prírodné podmienky: Chladnejšia okolitá teplota môže negatívne ovplyvniť proces nabíjania a predĺžiť jeho čas, hlavne v prípade rýchleho nabíjania.



9. Efektivita nabíjania

9.1. Porovnanie nabíjania úrovne 1 a úrovne 2 [10]

Meranie uskutočnené v štáte Vermont, v Spojených štátoch amerických, ktoré prebiehalo v roku 2013, malo za cieľ porovnať efektivitu dvoch spomenutých úrovní nabíjania s nimi spojeného nabíjacieho ústrojenstva.

9.1.1. Metóda

Dáta boli zaznamenávané v období medzi júnom a novembrom roku 2013, pre získanie dát pre širší rozsah teplotných podmienok. Dáta pochádzali z vozidiel štyroch majiteľov EV, ktorý sa dobrovoľne prihlásili do štúdie. Dve vozidlá Chevrolet Volt (plug-in hybridné elektrické vozidlá) a dve vozidlá Nissan Leaf (plne elektrické vozidlá).

Základným parametrom pri tomto zrovnávaní je:

- množstvo energie odobrané zo siete
- množstvo energie prijaté batériou.

Z pomeru prijatej/odobranej energie určili efektivitu nabíjania v jednotlivých prípadoch.

9.1.2. Hlavné ciele:

- porovnanie celkovej efektivity pri nabíjaní z nabíjacej stanice úrovne 1 a úrovne 2
- určiť vplyv dĺžky nabíjania na efektivitu pri nabíjaní z nabíjacej stanice úrovne 1 a úrovne 2
- zistiť ako vplýva vonkajšia teplota na nabíjanie z nabíjacej stanice úrovne 1 a úrovne 2



9.1.3. Výsledky

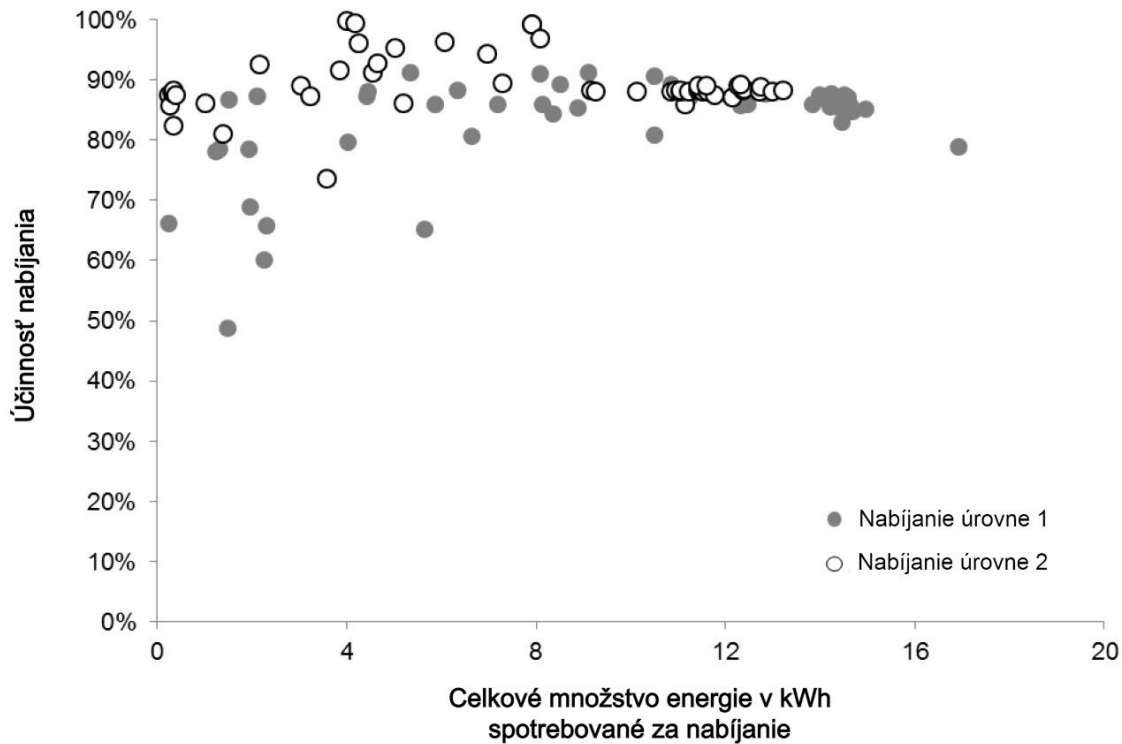
V tabuľke na obrázku 19 máme roztriedené všetky merania podľa úrovne a vybraných krajných podmienok.

	počet	Priemerná efektivita nabíjania (%) \pm smerodatná odchylka
Všetky nabíjania	114	85,7 \pm 0,09
Všetky nabíjania úrovne 1	63	83,8 \pm 0,08
Všetky nabíjania úrovne 2	51	89,4 \pm 0,05
Nabíjania úrovne 1 < 4kWh	11	74,2 \pm 0,12
Nabíjania úrovne 2 < 4kWh	13	87,2 \pm 0,06
Nabíjania úrovne 1 < 10°C	32	83,0 \pm 0,09
Nabíjania úrovne 2 < 10°C	9	90,6 \pm 0,04
Nabíjania úrovne 1 > 21°C	23	81,4 \pm 0,09
Nabíjania úrovne 2 > 21°C	10	89,9 \pm 0,04

Obrázok 19 - Tabuľka nameraných hodnôt štúdie [10]

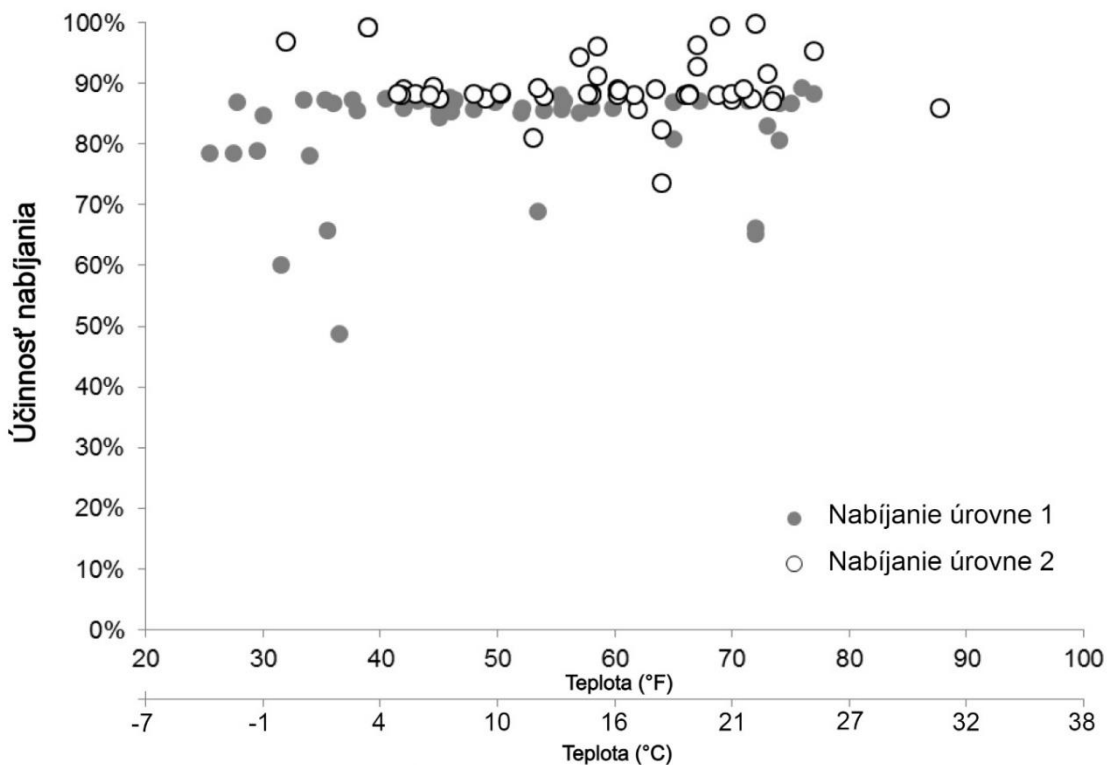
- Použiteľné dáta zo 114 nabíjaní ukázali, že priemerná efektivita nabíjania bola 85,7%.
- V priemere bola úroveň 2 o 5,6% efektívnejšia ako úroveň 1. Tento rozdiel bol ešte markantnejší v prípadoch krátkeho nabíjania, do 4kWh, ako aj pri nižších teplotách (menej ako 10°C) alebo vyšších teplotách (viac ako 21°C).

Graficky znázornené namerané dáta jednotlivých nabíjaní, vytvárajú lepšiu predstavu o tom ako kolísanie dvoch skúmaných parametrov, dĺžky nabíjania a okolitej teploty ovplyvnilo efektivitu nabíjania. V grafe na obrázku 20 sú zobrazené vypočítané účinnosti v závislosti na celkovej prijatej energii v kWh, čo priamo súvisí s dĺžkou jednotlivých nabíjaní. Výsledky nasvedčujú tomu, že dlhšie nabíjanie má pozitívny účinok na jeho efektivitu. Krátke nabíjanie hlavne v prípade úrovne 1 vykazovalo pokles účinnosti. Pri dlhších nabíjaniach pozorujeme aj zvýšenie ustálenosti účinností jednotlivých nabíjaní pri oboch porovnávaných úrovniach.



Obrázok 20 - Grafické znázornenie nameraných dát závislých na celkovej energii spotrebovanej pri nabíjaní (v kWh) [10]

Graf na obrázku 21 ukazuje vypočítané účinnosti zoradené podľa teplôt okolia pri ktorých prebiehali. V prípade úrovne 1 vidíme, že krajné hodnoty sú ovplyvnené teplotou okolia, ale úroveň 2 túto vlastnosť v oblasti skúmaných teplôt nevykazovala.



Obrázok 21 - Grafické znázornenie nameraných dát závislých na teplote (v °F a °C) [10]



9.1.4. Záver

Môžeme teda usúdiť, že faktory ako dĺžka nabíjania a vonkajšia teplota má vplyv na veľkosť strát pri nabíjaní. Ako vidíme v tabuľke na obrázku 22, v priemere je úroveň 2 efektívnejšia, lepšie zvláda výkyvy teplôt a menšie straty sú aj pri krátkom nabíjaní. Hodnoty prírastku úrovne 2 oproti úrovni 1, bolo možné zhodnotiť celkovo, ako aj pre jednotlivé krajné prípady.

	počet	Prírastok efektivity úrovne 2 oproti úrovni 1
Všetky nabíjania	114	5,60%
Nabíjania < 4kWh	24	13%
Nabíjania < 10°C	41	7,60%
Nabíjania > 21°C	32	8,50%

Obrázok 22 - Tabuľka porovnania výsledných efektívít nabíjania úrovňou 1 a 2 [10]

9.2. Efektivita rýchleho DC nabíjania

Experiment sa uskutočnil v Taliansku prostredníctvom „národnej agentúry pre nové technológie, energiu a udržateľný ekonomický rozvoj“ (ENEA). Jeho cieľom bolo porovnať rýchle nabíjanie jednosmerným prúdom technológiou CHAdeMO zodpovedajúcej 50 kW existujúcej infraštruktúre nabíjačiek s týmto typom konektoru, s ďalšími spôsobmi nabíjania striedavým prúdom, pri rôznych výkonových úrovniach.



9.2.1. Metóda

Tak ako nabíjačka tak aj použité vozidlo, boli plne monitorované pre získanie detailných informácií o ich správaní pri rôznych výkonoch. Vozidlu boli simulované podmienky mestskej, ako aj mimo mestskej premávky na skúšobnom stave.

Zariadenia:

- Vozidlo : Nissan Leaf
 - Batéria : Li-Ion (laminované články)
 - Nominálna kapacita : 24 kWh
 - Nabíjacia kapacita : 66 Ah
 - Nominálna napätie : 364 V (maximálne 403 V)
- Nabíjačka : Circuitor SA EQC-50
 - Napájanie : 400 V, 3f

9.2.2. Hlavné ciele:

Na úvod zadefinovali 2 sety skúmaných parametrov a to na základe maximálneho výkonu nabíjania a počiatočného stavu nabitia batérie pred nabíjaním.

Výkon nabíjania [kW]	16	22	43	50	3
Úroveň nabitia batérie [%]	20	40	60		

Obrázok 23 - Tabuľka rozpätia skúmaných parametrov [11]

V kategórií výkonu sú z praktických dôvodov použité práve tieto výkony, ktoré zodpovedajú:

50 kW – maximálny výkon rýchlo-nabíjačiek



43 kW – výkon rýchleho nabíjania striedavým prúdom, ako definuje norma EU (len v prípade Renault Zoe (Q210, Q90 1.generácia), od ktorej v roku 2018 vzhľadom na neakceptovanie ostatnými výrobcami upustili)

22 kW – výkon pre palubnú nabíjačku na striedavý prúd

16 kW – zmluvná hodnota hlavného dodávateľa v Taliansku

3 kW – pomalé nabíjanie doma zo siete.

Úroveň nabitia v momente spustenia je dôležitý faktor ovplyvňujúci jeho efektivitu. Vzhľadom na skutočnosť, že pri použití 2-fázového nabíjacieho profilu ,konštantný prúd – konštantné napätie‘, keď pri nižšej úrovni počiatočného nabitia, fáza ,konštantného prúdu‘ s vysokým prúdom, predstavuje väčšiu časť nabíjacieho procesu.

9.2.3. Výsledky

V prvom rade sa zamerali na efektivitu batérie ako takej, ktorú testovali simuláciou reálnej prevádzky a následným dobíjaním jednotlivými spôsobmi podľa výkonu.

V tabuľke na obrázku 24 sú hodnoty efektivity batérie pre jednotlivé výkony nabíjania.

Výkon nabíjania [kW]	3	16	22	43	50
Efektivita batérie [%]	97,2	97,1	97	91,8	94,2

Obrázok 24 - Tabuľka efektív batérie závislých na výkonoch nabíjania [11]

Ďalej pokračovali skúmaním efektivity príslušnej nabíjacej technológie, čo ukázalo, že efektivita klesá pri použití malého nabíjacieho výkonu, čo môžeme vidieť v tabuľke na obrázku 25.



Výkon nabíjania [kW]	3	16	22	43	50
Efektivita nabíjačky [%]	86	91,6	92,2	92,6	92,6

Obrázok 25 - Tabuľka efektív nabíjačky závislých na výkonoch nabíjania [11]

Hodnoty výslednej efektivity, dostali jednoducho vynásobením hodnôt efektív batérie a nabíjačiek, a sú uvedené v tabuľke na obrázku 26.

Výkon nabíjania [kW]	3	16	22	43	50
Celková efektivita [%]	83,6	88,5	89,5	85	87,2

Obrázok 26 - Tabuľka súhrnných efektív batérie a nabíjačky pri rôznych výkonoch [11]

V závere sa zaoberali účinkom počiatočnej úrovne nabitia batérie, na efektivitu nabíjačky ako aj celého nabíjania. V tabuľke na obrázku 27 sú hodnoty efektivity nabíjačky v závislosti na nabíjacom výkone, ako aj na počiatočnej úrovni nabitia batérie pred nabíjaním.

Výkon [kW]		3	16	22	43	50	
Úroveň nabitia batérie [%]	23	85	84,6	91,1	91,7	91,4	Efektivita nabíjačky [%]
	43	85	88,1	90,5	90,6	89,7	
	60	85	83,2	83,7	87,5	83,18	

Obrázok 27 - Tabuľka výsledných efektív nabíjačky závislých ako aj na výkone a tak aj na počiatočnej úrovni nabitia batérie [11]

Tabuľka na obrázku 28 zodpovedá efektivity celého nabíjania, z ohľadom na spomenuté parametre.

Výkon [kW]		3	16	22	43	50	
Úroveň nabitia batérie [%]	23	83	82	88	84	86	Celková efektivita [%]
	43	83	86	88	83	84	
	60	83	81	81	80	78	

Obrázok 28- Tabuľka výsledných celkových efektív závislých ako aj na výkone a tak aj na počiatočnej úrovni nabitia batérie [11]



9.2.4. Záver

Rýchle nabíjanie môže znižovať celkovú efektivitu nabíjanie, ako následok vyšších strát v podobe chemických strát alebo Joulovho tepla. Ďalej môžu mať svoj vplyv aj veľké prevodníky a transformátory používané pri rýchlo-nabíjaní.

Z uvedených nameraných hodnôt možno konštatovať, že výkon aj počiatočná úroveň nabitia majú na efektivitu nabíjania značný vplyv. Zatiaľ čo nižšie prúdy sú výhodnejšie pre efektivitu batérie, sa nabíjanie vyšším prúdom javí výhodnejšie pre efektivitu nabíjačky. Paradoxne najvyššia celková efektivita vyšla v strednom prípade nabíjania výkonom 22 kW (AC).

V závere je možno vidieť mieru ovplyvnenia efektivita nabíjacieho procesu práve počiatočnou úrovňou nabitia batérie. Poznatky potvrdzujú, že nabíjanie z nižšej úrovne nabitia sú celkovo viac efektívne, čo je následok už spomenutého faktu, že fáza ‚konštantného prúdu‘ prebieha dlhšiu časť z celkového času nabíjania. Efektivita v konečnom dôsledku vychádzala opäť najvyššia v prípade nabíjania 22 kW (AC).

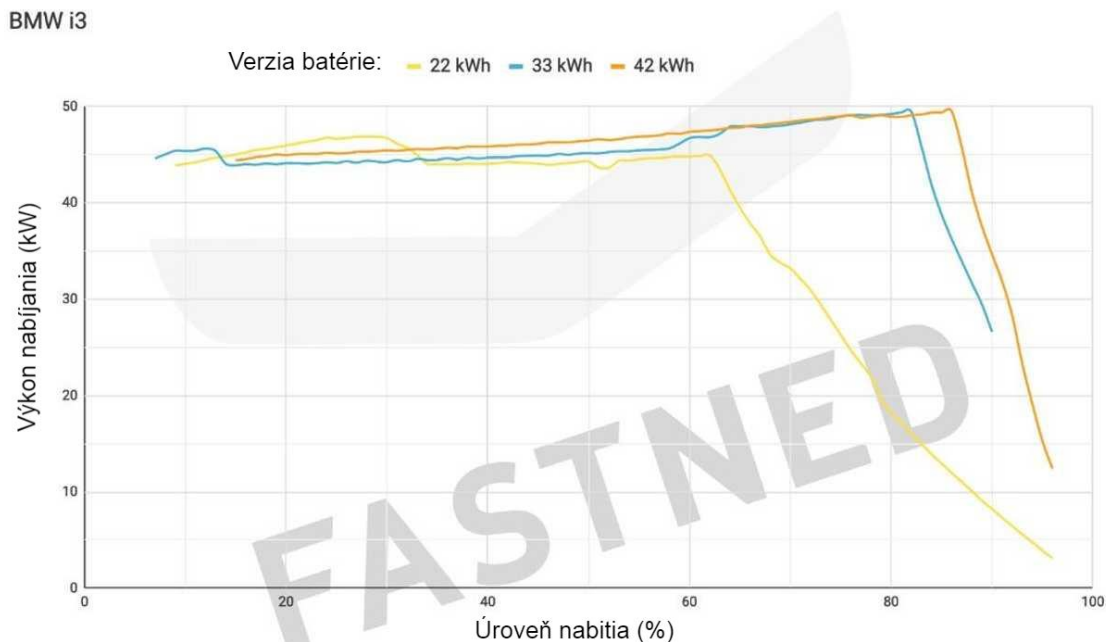


9.3. Dobíjanie konkrétnych vozidiel (InsideEVs)

Americká skupina ,InsideEVs‘ uskutočnila zaujímavé merania dobíjania konkrétnych vozidiel na 150kW DC rýchlonabíjačke ,Electrify America Station‘. Postupne si rozoberieme niekoľko modelov EV, a ako rýchlo sa nabíjali.

9.3.1. BMW i3s REx 2020

Výrobca udáva, že BMW i3s REx je schopné akceptovať výkon 50kW, kapacitu batérie má 42,2 kWh a čas dobitia udávaných 40minút. V tomto teste bola použitá 150kW DC rýchlonabíjačka pri vonkajšej teplote 10-12°C. Počiatočná úroveň nabitia bola 6%. Hneď po pripojení na nabíjačku EV nabíjalo hodnotou 42kW. Počas nabíjania hodnota stúpala na 48kW, no výrobcom udávanú hodnotu 50kW nedosiahla, pravdepodobne kvôli nižšej teplote batérie. Aj napriek tomu sa batérie dobila na 80% za 38 minút a 58 sekúnd, čo tesne splnilo kritérium udávané výrobcom. V grafe na obrázku 29 vidíme okrem krivky nabíjania verzie s 42 kWh batériou aj krivky pre verzie BMW i3 s 32 kWh a 22 kWh batériami. [26]



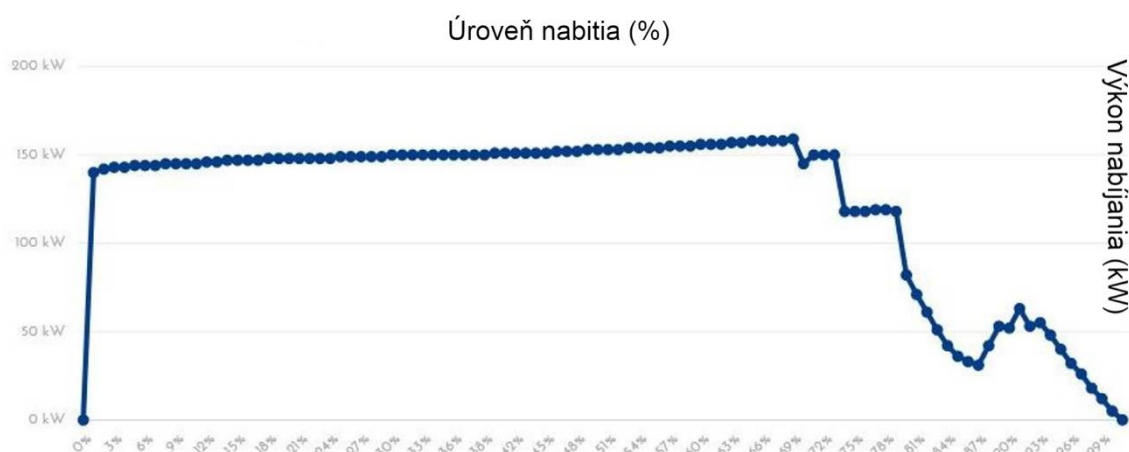
Obrázok 29 – Krivka nabíjania vozidla BMW i3 pre 3 verzie batérie. [26]



9.3.2. Porsche Taycan Cross Turismo

Ďalším testovaným EV bolo Porsche Taycan Cross Turismo s kapacitou batérie 93,4kWh (využitelných 83,7 kWh). Bola taktiež použitá 150kW DC rýchlonabíjačka, no teplota pri nabíjaní nie je udávaná. Počiatočný úroveň nabitia bola 0% a dobitie na 80% trvalo 28 minút. Dobitie z 0% na plných 100% trvalo 62 minút, čo znamená, že posledných 20% nabitia trvalo až 34 minút. Hneď po napojení na nabíjačku bol výkon nabíjania 141kW, a vrchol 159kW výkonu nabíjania dosiahol pri úrovni nabitia 71%. Samozrejme pri použití 350kW nabíjačky by bolo nabitie ešte rýchlejšie, no taký test sa skupine ‚InsideEVs‘ ešte nepodarilo uskutočniť. Dôležitým faktom v prípade tohto vozidla je, že jeho batéria funguje na 800V technológií, čo umožňuje vyššie výkony nabíjania. [27]

Porsche Taycan Cross Turismo



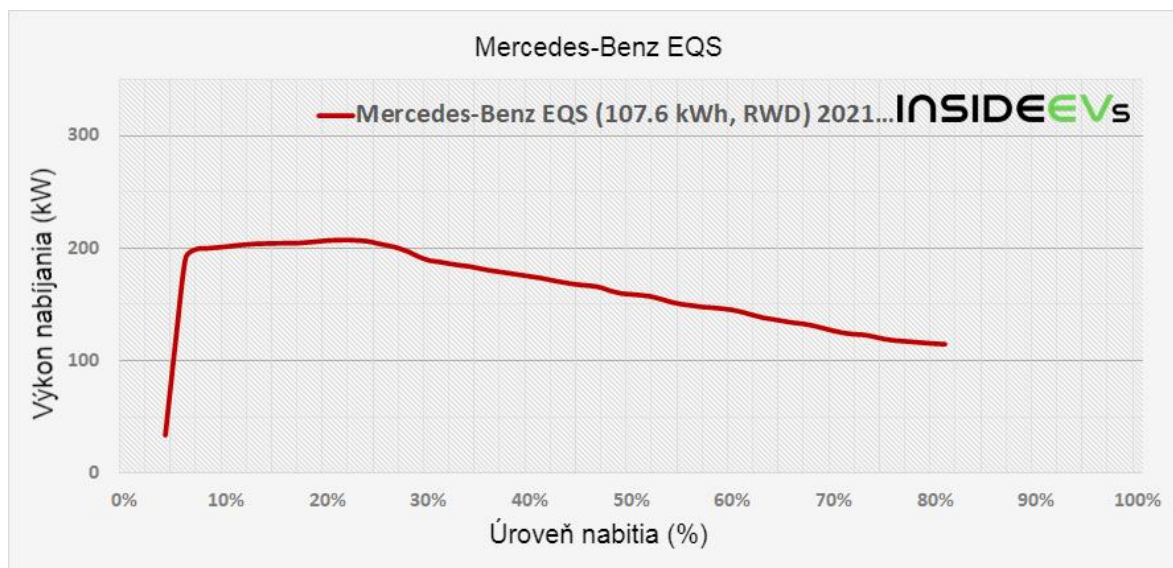
Obrázok 30 – Krivka nabíjania vozidla Porsche Taycan Cross Turismo [27]

9.3.3. Mercedes-Benz EQS

Zaujímavým modelom na ktorý sa zamerala skupina ‚InsideEVs‘ bol Mercedes-Benz EQS. Hodnoty nabíjania síce neskúšali oni, no použili hodnoty odhalené priamo výrobcom v jednej recenzii skupiny Autogefühl. Uvedené hodnoty sú pre batériu 115 kWh s využitelnou kapacitou 107,8 kWh. Podľa hodnôt predpokladáme, že na nabíjanie bola použitá 200 kW rýchlonabíjačka, no informácia nie je presne dohľadateľná. Výrobca uvádza nabitie z 10% na 80% za 31 minút, no v odhalenej tabuľke hodnoty odpovedajú



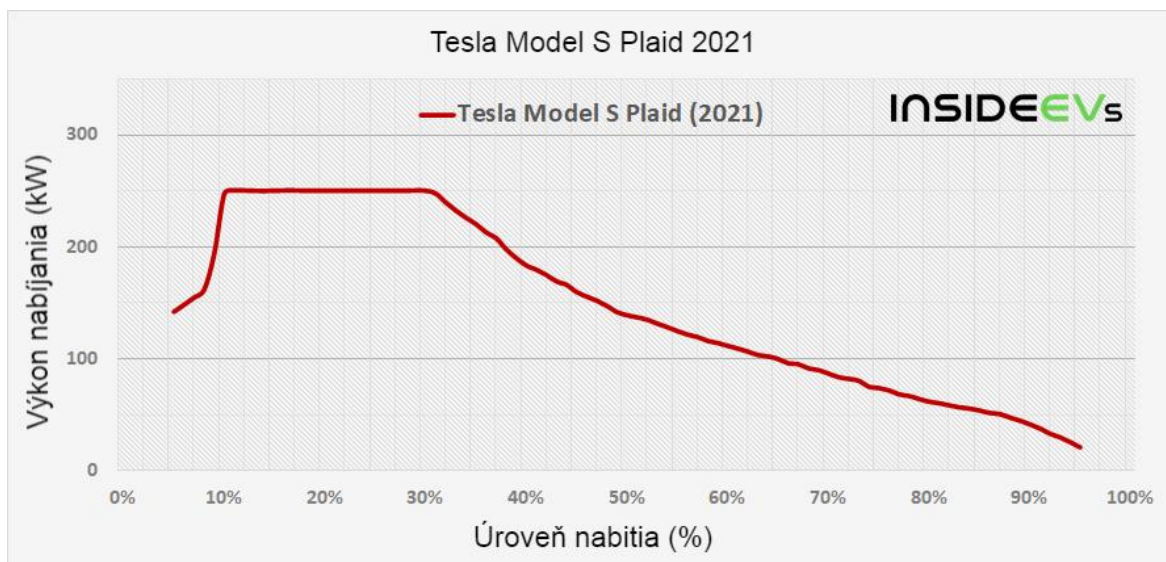
ešte lepšiemu výsledku – 28 minút, a celkové nabitie z 4% na 80% za 31 minút. Výkon nabíjania dosiahol svojho vrcholu krátko po začatí nabíjania, približne pri úrovni nabitia 8%, a zostal nad hodnotou 200 kW až po hodnotu približne 28%. Krivka postupne klesá, a posledné dostupné dáta o výkone nabíjania sú na úrovni nabitia 80%, približne 115 kW. Zaujímavý je aj priemerný výkon nabíjania závislý na počiatocnej úrovni nabitia a finálnej úrovni nabitia, ktorý je napríklad v dôležitom rozpätí nabíjania 20 – 80% úrovne nabitia na priemernej hodnote 155 kW. [28]



Obrázok 31 – Nabíjacia krivka Mercedes-Benz EQS [28]

9.3.4. Tesla Model S Plaid

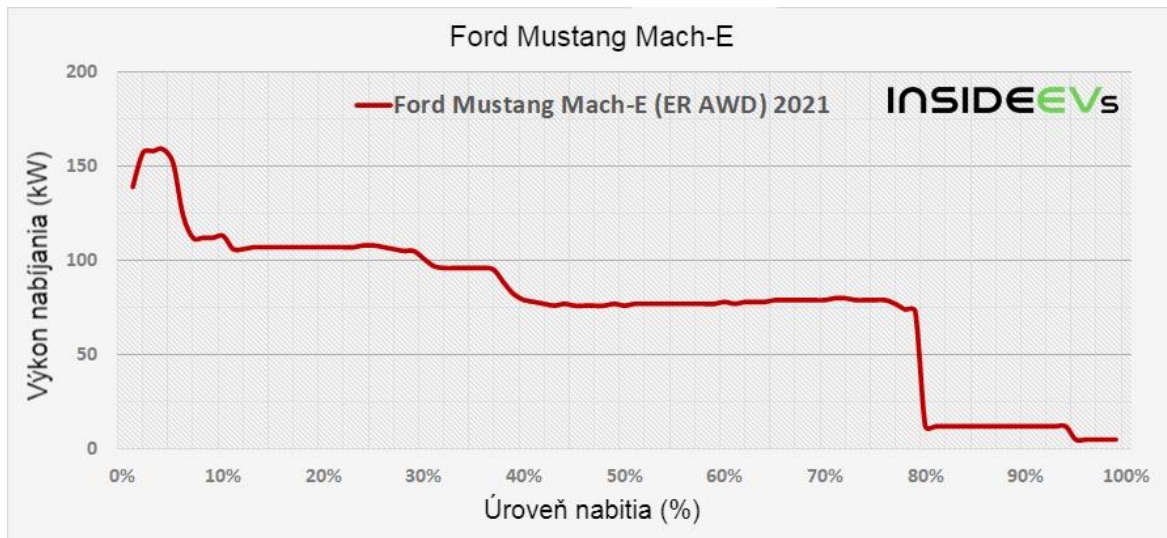
V prípade Tesla Model S Plaid nie sú hodnoty priamo od skupiny „InsideEVs“, ale od skupiny „MotorTrend“, ktorá EV s kapacitou batérie 100 kWh testovala na „V3 Supercharging“ stanici (250 kW). Bola uvedená teplota, pri ktorej bol test zhotovený, a to 21°C. Test uvádza nabitie z 5% na 95% za 52 minút. Z tohto grafu na obrázku 32 bol odvodený približný čas nabitia z hodnoty 20% na 80% za 27 minút, prípadne z 10% na 80% za 29 minút. Pri úrovni nabitia 10% dosiahneme maximálny výkon nabíjania, a to 250kW, ktorý sa drží až po hodnotu 30%. Potom začína výkon nabíjania klesať až na hodnotu 50kW pri úrovni nabitia približne 87%. Priemerný výkon nabíjania závislý na počiatocnej úrovni nabitia a finálnej úrovni nabitia, je v dôležitom rozpätí nabíjania 20 – 80% na priemernej hodnote 130 kW, čo je o 25 kW menej ako Mercedes EQS. [29]



Obrázok 32 – Krivka nabíjania vozidla Tesla Model S Plaid 2021 [29]

9.3.5. Mustang Mach-E

Ďalším testovaným EV bol Mustang Mach-E s kapacitou batérie 99kWh (využitelných 88 kWh). Nabitie batérie na 150 kW DC rýchlonabíjačke z 0 na 100% trvalo 2 hodiny a 29 minút. Tento čas však nebol rozložený rovnomerne, pretože nabitie z 0 na 80% trvalo len 47 minút. Ďalších 102 minút trvalo dobitie posledných 20%. Zaujímavé je, že Mustang Mach-E dokáže akceptovať maximálny výkon nabíjania len na veľmi krátku dobu. V tomto prípade akceptoval výkon nabíjania 145 kW len úvodné 2 minúty a potom začal výkon rapídne klesať. Pri úrovni nabitia 90% bol výkon nabíjania už len 12 kW, čo je skoro porovnateľné s levelom 2 (11 kW AC). To spôsobuje výrazné predĺženie času nabíjania nad úroveň 80-90%. Výrobca teda odporúča odpojiť nabíjačku pri nabití na 80% pri použití DC rýchlonabíjačky, čo je rozumné z časových dôvodov s ohľadom na efektívnosť. Skupina ‚InsideEVs‘ uvádza, že taktiež teplota môže mať účinky na namerané hodnoty, no jej hodnoty bohužiaľ neboli zaznamenávané. [30]



Obrázok 33 – Krivka nabíjania vozidla Ford Mustang Mach-E 2021 [30]

9.3.6. VW ID.4 First Edition

Ďalším testovaným EV na 150 kW DC rýchlonabíjačke bol VW ID.4 s kapacitou batérie 82kWh (využitelných 77kWh), s maximálnym výkonom nabíjania DC 125 kW. Výrobca udáva nabitie z 5% na 80% za 38 minút. Teplota pri nabíjaní dosahovala približne 5°C, čo overilo nabíjanie pri nižších teplotách. Počiatočná úroveň nabitia bola 2% a nabitie na 80% dosiahol presne za 38 minút, čo je ešte rýchlejšie ako uvádza výrobca, pretože počiatočná úroveň nabitia bola ešte o 3% nižšia. Už minútu po napojení na nabíjačku sa výkon nabíjania pohyboval okolo 120kW. Následne dosiahol 128kW a neskôr skákal medzi 127 a 128kW, čo je viac ako udávaný maximálny výkon nabíjania výrobcom. [31]



9.4. Účinnosť nabíjania EV (ADAC Ecotest)

Nemecký autoklub ADAC uskutočnil svoj takzvaný Ecotest, v ktorom meria reálne hodnoty parametrov áut v skutočnom živote. Taktiež nedávno hodnotil účinnosť nabíjania batérií 27 konkrétnych EV, a to porovnaním spotrebovanej energie na 100% nabitie batérie (v kWh) a reálnej kapacity batérie (v kWh). Mnou dopočítané hodnoty v poslednom stĺpci tabuľky na obrázku 34 v prílohe 2 zodpovedajú pomeru kapacity batérie ku spotrebovanej energii na plné dobitie. Výsledky nám ukazujú, že nabíjanie batérie nemá ani zďaleka 100% účinnosť, a straty ktoré vznikajú pri nabíjaní sa odzrkadľujú na cene každého dobíjania. Všetky testované vozidlá boli nabíjané striedavým prúdom (AC) nabíjacím káblom vozidla v rovnakom 22kW wallboxe za rovnakých okolitých podmienok (23°C). Vzhľadom na prevod AC/DC konajúci sa v palubnej nabíjačke, obmedzuje maximálny výkon nabíjania batérie práve výkon palubnej nabíjačky každého z vozidiel. A teda výkon 22 kW tam nešiel, a merané účinnosti zodpovedajú miernemu pomalému nabíjaniu palubnou nabíjačkou každého z vozidiel. Vždy bolo dosiahnuté plnej kapacity batérie. V prehľadnej tabuľke v prílohe 2 vidíme model EV, kapacitu batérie udávanú výrobcom (v kWh) a skutočnú spotrebovanú energiu na nabitie 100% hodnoty kapacity batérie. Napríklad u Tesly Model 3 LR má kapacita batérie 75 kWh, no na jej úplné nabitie bolo podľa ADAC Ecotestu spotrebovaných 89,5 kWh, čo znamená účinnosť nabíjania necelých 84%. Tesla Model X 100D je na tom o poznanie lepšie, pretože na svoju kapacitu batérie 100kWh spotrebuje reálne 108,3kWh, čo predstavuje účinnosť nabíjania 92,3%. Najnižšie hodnoty účinnosti nabíjania podľa Ecotestu dosiahol Renault Zoe (52kWh) s hodnotou 80,9%. Ak by sme brali do úvahy účinnosť pri výpočte len z využiteľnej kapacity batérie, ktorá bola uvedená u niektorých vozidiel, tak by najnižšiu účinnosť dosiahol Mini Cooper SE s hodnotou 76,9%. [32]



10. Záver

V prípade všetkých elektrických vozidiel musíme uvažovať o veľmi dôležitom parametri, a tým je spôsob chladenia batérie. Taktiež v najnovších vozidlách nemáme úplné informácie o použitej technológii článku batérie, ako aj o jeho usporiadaní a tvaru. S týmito parametrami je úzko spojené aj spomínané chladenie. Obecný trend ukazuje, že po iniciácii nabíjania je potrebná krátka fáza na dosiahnutie optimálnej teploty batérie, po ktorej výkon nabíjania dosahuje svoju maximálnu hodnotu. Na maximálnom výkone nabíjania sa môže optimálne nejaký čas udržať. Dĺžku tejto fázy ovplyvňuje spôsob chladenia batérie ako aj typ a tvar článku. Následne hodnota výkonu nabíjania začne klesať, pričom hodnoty výkonu pri úrovni nabitia 80% sú už poväčšine nízke. Nízka hodnota výkonu pri nabíjaní cez 80% zdôvodňuje dlhý čas dobitia batérie do 100%. Niektoré rýchlonabíjačky z tohto dôvodu automaticky ukončia nabíjanie už pri úrovni nabitia 80%. Z ohľadu na účinnosť nabíjania možno konštatovať, že všetky spomenuté parametre ovplyvňujú jeho výslednú efektívnosť. Najväčší vplyv má v každom prípade teplota a jej regulácia, čo sa prejavuje hlavne pri rýchlom nabíjaní vysokým výkonom, kedy sa môže batéria vzhľadom na tieto vysoké výkony prudko zahrievať.



Zdroje

- [1] FRIVALDSKÝ, Michal, Michal PRAŽENICA, Roman KOŇARIK, Pavol ŠPÁNIK, Peter ČUBOŇ, Roman RADVAN a Vladimír RÁČEK. *Elektromobilita*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2019. ISBN 978-80-554-1598-7.
- [2] Ralston, M. & Nigro, N., 2011, *Plug-In Electric Vehicles: Literature Review*, ARLINGTON,.
- [3] Miao, Y. *et al.* (2019) *Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements*, *Energies*. MDPI AG. doi: 10.3390/en12061074.
- [4] František Šťastný (2021) *Úvod do Školy baterií, Nano power - Škola batérií*. Available at: <https://nanopower.eu/cs/uvod-do-skoly-baterii/> (Accessed: May 3, 2021).
- [5] František Šťastný (2021a) *Baterie pro parciální trolejbusy, Nano power - Škola batérií*. Available at: <https://nanopower.eu/cs/baterie-pro-parcialni-trolejbusy-skola-baterii-2-5/> (Accessed: May 3, 2021).
- [6] DERİCİOĞLU, Ç., YİRİK, E., ÜNAL, E., CUMA, M.U., ONUR, B. & TÜMAY, M., 2018, “A REVIEW OF CHARGING TECHNOLOGIES FOR COMMERCIAL ELECTRIC VEHICLES,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCES ON AUTOMOTIVE AND TECHNOLOGY*.
- [7] Brenna, M., Foadelli, F., Leone, C. & Longo, M., 2020, “Electric Vehicles Charging Technology Review and Optimal Size Estimation,” *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 15(6), 2539–2552.
- [8] Sanguesa, J.A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F.J. & Marquez-Barja, J.M., 2021, “A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges,” *Smart Cities*, 4(1), 372–404.
- [9] William Visser (2019) *Electric vehicle charging Definitions and explanation*. Utrecht, Netherlands. Dostupné na: www.nklnederland.nl.
- [10] Sears, J., Roberts, D. and Glitman, K. (2014) “A comparison of electric vehicle Level 1 and Level 2 charging efficiency,” in *2014 IEEE Conference on Technologies for Sustainability, SusTech 2014*.



- [11] Genovese, A., Ortenzi, F. and Villante, C. (2015) *On the energy efficiency of quick DC vehicle battery charging*.
- [12] Walzel, B. *et al.* (2016) “Automated robot-based charging system for electric vehicles,” in, pp. 937–949. doi: 10.1007/978-3-658-13255-2_70.
- [13] Volkswagen Group Components (2020) *Initial contact: The mobile charging robot – Presenting a vision*. Available at: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/initial-contact-the-mobile-charging-robot-presenting-a-vision-6736> (Accessed: August 13, 2021).
- [14] Sanguesa, J. A. *et al.* (2021) “A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges,” *Smart Cities*, 4(1), pp. 372–404. doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [15] IEC 62196-1:2003(E): Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles. 1. GENEVA, SWITZERLAND: IEC Central Office, 2003.
- [16] SAE J1772. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
- [17] Lead based battery technologies. *EUROBAT* [online]. [cit. 2021-8-15]. Dostupné z: <https://www.eurobat.org/batteries-contribution/battery-technologies/lead-based>
- [18] Nickel Based Battery Technologies. *EUROBAT* [online]. [cit. 2021-8-15]. Dostupné z: <https://www.eurobat.org/batteries-contribution/battery-technologies/nickel-based>
- [19] Sodium Based Battery Technologies. *EUROBAT* [online]. [cit. 2021-8-15]. Dostupné z: <https://www.eurobat.org/batteries-contribution/battery-technologies/sodium-based>
- [20] Lithium polymer battery. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-8-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery



- [21] What are the different methods of charging an electric vehicle? KIA: goelectric [online]. [cit. 2021-8-15]. Dostupné z: <https://www.kia.com/eu/about-kia/experience-kia/technology/electrification/charging-methods-for-electric-cars/>
- [22] Megawatt Charging System. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-8-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Megawatt_Charging_System
- [23] Charging station. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-8-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station
- [24] Iclodean, C. *et al.* (2017) “Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing. doi: 10.1088/1757-899X/252/1/012058.
- [25] How long does it take to charge an electric car? *PodPoint* [online]. [cit. 2021-8-16]. Dostupné z: <https://pod-point.com/guides/driver/how-long-to-charge-an-electric-car>
- [26] 2020 BMW i3s: How Fast Does It Charge? *InsideEVs* [online]. Tom Moloughney, 2020, 8.10.2020 [cit. 2021-9-6]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/447999/bmw-13-dc-fast-charge-test/>
- [27] How Long Does It Take To Charge A Porsche Taycan Cross Turismo? *InsideEVs* [online]. Tom Moloughney, 2021, 2.1.2021 [cit. 2021-9-6]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/511376/porsche-taycan-cross-turismo-charging/>
- [28] Mercedes-Benz EQS Charging Analysis Reveals It's Faster Than Plaid. *InsideEVs* [online]. Mark Kane, 2021, 27.7.2021 [cit. 2021-9-6]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/522577/mercedes-eqs-fast-charging-analysis/>
- [29] Tesla Model S Plaid Fast Charging Results Amaze: Analysis. *InsideEVs* [online]. Mark Kane, 2021, 28.7.2021 [cit. 2021-9-6]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/515641/tesla-models-plaid-charging-analysis/>
- [30] Ford Mustang Mach-E First Edition In-Depth DC Fast Charging Analysis. *InsideEVs* [online]. Mark Kane, 2021, 8.3.2021 [cit. 2021-9-6]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/492727/ford-mustang-mache-fast-charging-analysis/>



- [31] How Fast Does The Volkswagen ID.4 Charge? Our DC Fast Charge Test Finds Out. InsideEVs [online]. Tom Moloughney, 2021, 5.3.2021 [cit. 2021-9-6]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/492306/volkswagen-id4-dc-fast-charge-test/>
- [32] Stromverbrauch Elektroautos: Aktuelle Modelle im ADAC Test. ADAC [online]. ADAC/Test und Technik, 2021, 18.5.2021 [cit. 2021-9-6]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>
- [33] The Different EV Charging Connector Types. Enel X [online]. JuiceBlog, 2019, 20.4.2019 [cit. 2021-9-7]. Dostupné z: <https://evcharging.enelx.com/resources/blog/552-ev-charging-connector-types>



Zoznam obrázkov

Obrázok 1- Tabuľkové porovnanie parametrov batériových technológií.....	11
Obrázok 2 - Schéma rozdelenia zdrojov pre napájanie EV	13
Obrázok 3 - Schéma rozdelenia elektrických vozidiel	14
Obrázok 4 - Schéma popisu nabíjacieho stanovišťa.....	15
Obrázok 5 - Nabíjací robot VW	17
Obrázok 6 - Schéma možností pripojenia k elektrickej sieti	18
Obrázok 7 - Princíp indukčného nabíjania	20
Obrázok 8 - Obrázok porovnávajúci základné princípy AC a DC nabíjania.....	20
Obrázok 9 - Tabuľka parametrov úrovni SAE	21
Obrázok 10 - Tabuľka parametrov režimov IEC	24
Obrázok 11 - Schéma prípadov zapojenia IEC.....	25
Obrázok 12 - Schéma rozdelenia konektorov podľa SAE a IEC.....	26
Obrázok 13 - Konektor SAE J1772-2009.....	26
Obrázok 14 - Konektor typu 2	27
Obrázok 15 - Konektor typu 3 'Scame'	28
Obrázok 16 - Konektor typu 4 'CHAdeMO'	28
Obrázok 17 - Schéma rozdelenia konektorov GB/T a Tesla	29
Obrázok 18 - Prehľadná tabuľka existujúcich konektorov	30
Obrázok 19 - Tabuľka nameraných hodnôt štúdie	35
Obrázok 20 - Grafické znázornenie nameraných dát závislých na celkovej energii spotrebovanej pri nabíjaní (v kW/h)	36
Obrázok 21 - Grafické znázornenie nameraných dát závislých na teplote (v °F a °C) ..	36
Obrázok 22 - Tabuľka porovnania výsledných efektívít nabíjania úrovňou 1 a 2	37
Obrázok 23 - Tabuľka rozpätia skúmaných parametrov	38
Obrázok 24 - Tabuľka efektívít batérie závislých na výkonoch nabíjania	39
Obrázok 25 - Tabuľka efektívít nabíjačky závislých na výkonoch nabíjania.....	40
Obrázok 26 - Tabuľka súhrnných efektívít batérie a nabíjačky pri rôznych výkonoch .	40
Obrázok 27 - Tabuľka výsledných efektívít nabíjačky závislých ako aj na výkone a tak aj na počiatočnej úrovni nabitia batérie	40
Obrázok 28- Tabuľka výsledných celkových efektívít závislých ako aj na výkone a tak aj na počiatočnej úrovni nabitia batérie	40
Obrázok 29 – Krivka nabíjania vozidla BMW i3 pre 3 verzie batérie.	42
Obrázok 30 – Krivka nabíjania vozidla Porsche Taycan Cross Turismo	43
Obrázok 31 – Nabíjacia krivka Mercedes-Benz EQS	44
Obrázok 32 – Krivka nabíjania vozidla Tesla Model S Plaid 2021.....	45
Obrázok 33 – Krivka nabíjania vozidla Ford Mustang Mach-E 2021	46



11. Zoznam príloh

Príloha 1: Kompaktný disk formátu CD s digitálnou podobou tejto práce vo formáte PDF.

Príloha 2: Obrázok 34 – Tabuľka Ecotestu ADAC podľa modelu EV, kapacity batérie udávanú výrobcom (v kWh) a skutočnú spotrebovanú energiu na nabitie 100% hodnoty kapacity batérie. Doplnené dopočítanou hodnotou účinnosti (pomer spotrebovanej energie/maximálnej kapacity batérie).



12. Prílohy

Príloha 2: Obrázok 34 - Tabuľka Ecotestu ADAC podľa modelu EV, kapacity batérie udávanú výrobcom (v kWh) a skutočnú spotrebovanú energiu na nabitie 100% hodnoty kapacity batérie. Doplnené dopočítanou hodnotou účinnosti (pomer spotrebovanej energie/maximálnej kapacity batérie).[32]

Model	Kapacita batérie (kWh)	Spotrebovaná energia na 100 % nabitie (kWh)	Dojazd (km)	Dopočítaná účinnosť (%)
Tesla Model X 100D	100	108,3	451	92,3
Tesla Model 3 Longe Range AWD	75	89,5	429	83,8
Porsche Taycan 4S Performance Plus	93,4 (83,7 využiteľných)	95,2	400	98 (87,9*)
Kia e-Niro (64 kWh) Spirit	64	72,3	398	88,5
Audi e-tron Sportback 55 quattro	95,0 (86,5 využiteľných)	96	390	99 (90,1*)
Kia e-Soul (64 kWh) Spirit	64	73,9	390	86,6
Hyundai Kona Elektro (64 kWh) Trend	64	73,9	379	86,6
Jaguar i-Pace EV400 S AWD	90	100,8	366	89,3
Audi e-tron 55 quattro	95,0 (83,6 využiteľných)	94,3	365	100,7** (88,7*)
Opel Ampera-e First Edition**	60	67,4	342	89
Mercedes EQC 400 AMG Line	80	93	335	86
Renault Zoe R135 Z.E. 50 (52 kWh) Intens	52	64,3	335	80,9
VW ID.3 Pro Performance 1st Max	62,0 (58,0 využiteľných)	64,8	335	95,7 (89,5*)
Tesla Model 3 Standard Range Plus	53	60	305	88,3
Nissan Leaf e+ Tekna (62 kWh)	62	68,4	300	90,6
Peugeot e-208 GT	50,0 (47,5 využiteľných)	53,1	280	94,1 (89,5*)
BMW i3 (120 Ah)	42,2 (37,9 využiteľných)	48,8	272	86,5 (77,7*)
DS 3 Crossback E-Tense So Chic	50,0 (47,5 využiteľných)	55,4	270	90,3 (85,7*)
Hyundai Ioniq Elektro Style	38,3	44,1	270	86,8
Peugeot e-2008 GT	50,0 (47,5 využiteľných)	53,1	260	94,2 (89,5*)
Renault Zoe Intens (41 kWh)	41	49,5	243	82,8
VW e-up! Style	32,3	36,7	220	88
Seat Mii electric Plus	32,3	37,8	215	85,4
Mini Cooper SE	32,6 (28,9 využiteľných)	37,6	210	86,7 (76,9*)
Nissan Leaf Acenta (40 kWh)	40	44,5	201	89,9
Nissan e-NV 200 Evalia	40	46,9	167	85,3
Smart Forfour EQ passion	17,6	18,9	100	93,1

* - Účinnosť pri výpočte z využiteľnej kapacity batérie.

** - Účinnosť presiahla 100%, z tohto pohľadu sa zdá, že sa nedá batéria nabiť na 100% hodnotu kapacity.