



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

RYCHLÉ NABÍJENÍ ELEKTROMOBILŮ – PŘEHLED TECHNOLOGIÍ

FAST CHARGING OF EV VEHICLES - OVERVIEW OF TECHNOLOGIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Boršoš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Adam Boršoš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rychlé nabíjení elektromobilů – přehled technologií

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vozidla s EV pohonem jsou v roce 2020 již běžnou součástí trhu s osobními vozidly v EU. Otázkou k řešení je však stále oblast rychlého dobíjení akumulátorů a s ním spojené problematiky tepelného managementu dobíjecí infrastruktura a samotného akupacku ve vozidle. Dle aktuálních poznatků z provozu EV vozidel vede totiž přílišné tepelné namáhání akumulátoru k jeho předčasné degradaci a ztrátě kapacity.

Cíle bakalářské práce:

Proveďte rešerši současných technologií umožňujících rychlé dobíjení EV vozidel, porovnejte jejich výhody, nevýhody a zhodnoťte, jaké strategie chlazení využívají jednotliví výrobci EV vozidla (bez chlazení, vzduch, kapalinové chlazení atd.) a jaký to může/má dopad na životnost akumulátoru.

Seznam doporučené literatury:

Vehicle thermal management systems conference and exhibition (vtms11): 15-16 may 2013, coventry technocentre, uk. Philadelphia, PA: Woodhead Pub., 2013. ISBN 9780857094728.

Vehicle thermal management: heat exchangers & climate control. Editor Gursaran D. MATHUR. Warrendale: Society of Automotive Engineers, c2004. PT (SAE). ISBN 0-7680-1445-X.

DALY, Steven. Automotive air-conditioning and climate control systems. Boston: Elsevier Butterworh-Heinemann, 2006. ISBN 9780750669559.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Rychlost nabíjení je jedním z klíčových parametrů, jenž ovlivňuje atraktivitu elektromobilů pro řidiče. Proto je důležité určit metody, jež dokážou nabít elektromobil co nejrychleji. Byl vypracován přehled technologií dobíjení elektromobilů a identifikace těch, jenž jsou považovány za rychlé nabíjení. Bylo zjištěno, že nejrychlejší technologie je nabíjení pomocí stejnosměrného proudu. Následovalo vypracování seznamu šesti konektorů, které toto nabíjení umožňují. Ty byli následně porovnány. V další kapitole byl vypracován přehled dobíjecích sítí, jenž rychlé nabíjení umožňují. Byli uvedeny tři největší poskytovatelé dobíjecích stanic v České republice a také dva, jenž se specializují právě na rychlé dobíjení. Téma chlazení baterií také souvisí s dobíjením. Proto byl v následující kapitole vypracován přehled technologií, jež jsou využívány k chlazení akumulátorů. Poslední část je zaměřena na faktory, které způsobují degradaci akumulátorů. Vypracovali jsme přehled čtyř hlavních příčin degradace a jejich vliv na baterii.

Klíčová slova

Elektromobil, dobíjení elektromobilů, chlazení baterií, degradace baterie, akumulátor

ABSTRACT

Charging speed is one of the key parameters that affects the attractiveness of electric cars for drivers. Therefore, it is important to determine the methods that can charge the electric car as quickly as possible. An overview of electric vehicle charging technologies and the identification of those that are considered fast charging has been made. It has been found that the fastest technology is DC charging. A list of six connectors that allow this charging has also been created. These were then compared. An overview of charging networks, that enable fast charging, was made in the next chapter. The three largest providers of charging stations in the Czech Republic and also the two that specialize in fast charging were listed. The topic of battery cooling is also related to charging. Therefore, the following chapter provides an overview of technologies that are used to cool batteries. The last part focuses on the factors that cause the degradation of batteries. An overview of the four main causes of degradation and their effect on the battery was demonstrated.

Key words

Electric car, electric car charging, battery cooling, battery degradation, accumulator

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BORŠOŠ, Adam. *Rychlé nabíjení elektromobilů – přehled technologií* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136905>. Baka-lářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jan Fišer.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Rychlé nabíjení elektromobilů – přehled technologií** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Bc. Ing. Janovi Fišerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce a taktěž mé rodině za podporu.

OBSAH

ÚVOD	10
1 Dobíjecí standardy	11
1.1 AC dobíjení.....	14
1.2 DC dobíjení.....	16
1.3 Rozdíly mezi AC a DC.....	16
1.4 Indukční nabíjení.....	17
2 Technologie DC dobíjení.....	20
2.1 CCS	20
2.2 CHAdeMO protokol.....	22
2.3 GB/T.....	24
2.4 ChaoJi.....	25
2.5 Tesla Supercharger.....	26
2.6 Tesla Megacharger	27
3 Dobíjecí sítě	29
3.1 ČEZ	29
3.2 PRE.....	30
3.3 E.ON.....	31
3.4 Ionity	32
3.5 Tesla Supercharger.....	32
4 Způsoby chlazení akumulátoru u EV	34
4.1 Chlazení vzduchem	34
4.2 Chlazení kapalinou.....	35
4.3 Materiály s fázovou přeměnou.....	35
4.4 Tepelná trubice.....	36
5 Degradace akumulátorů u EV	38
5.1 Tepelná degradace.....	38
5.2 Časová degradace.....	39
5.3 Cyklická degradace	40
5.4 Degradace způsobená nabíjením.....	41
DISKUZE.....	42
ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
SEZNAM TABULEK.....	60

ÚVOD

Evropská zelená dohoda (Green Deal) uvádí že do roku 2030 je potřebné snížit emise skleníkových plynů alespoň o 55 % v porovnání s úrovněmi z roku 1990. Protože automobily s vnitřním spalováním jsou zodpovědné za 12 % skleníkových plynů v Evropě, je zapotřebí najít vhodnou alternativu. [1] Jedním z řešení mohou být automobily na elektrický pohon. Aby se lidé rozhodli pro koupi elektromobilu (EV) oproti autu se spalovacím motorem, je nutné, aby EV dosahovali určitých parametrů. Podle průzkumu [2], existuje 5 faktorů jenž musí EV mít, aby se dostali přes „tipping point“ a byli pro spotřebitele atraktivnější než auta se spalovacím motorem. Jedná se o cenu, dojezd, rozmanitost modelů, rozvinutost nabíjecí infrastruktury a také rychlost nabíjení. Tato skutečnost byla jedním z důvodů k zpracování tématu rychlého nabíjení. Za rychlé způsoby nabíjení jsou považovány ty, jenž dokážou nabít baterii automobilu na 80 % kapacity za maximálně 30 minut. [3]

Cílem této práce je vytvořit přehled současných standardů nabíjení elektromobilů a identifikovat ty jenž patří do kategorie rychlého nabíjení. A taktéž provést přehled a porovnání dostupných konektorů pro rychlé nabíjení. Dalším cílem je uvést přehled dobíjecích sítí, jenž toto dobíjení umožňují a nacházejí se v ČR. V následující kapitole budou představeny způsoby chlazení akumulátorů. Jelikož chlazení je klíčové pro optimální provoz EV a přímo souvisí s nabíjením. A v poslední kapitole je uveden přehled degradací, jenž snižují životnost akumulátoru.

1 Dobíjecí standardy

V této kapitole jsou představeny standardy dobíjení elektromobilů. Také budou vysvětleny pojmy, jež jsou klíčové k správnému pochopení jednotlivých standardů. Kapitola obsahuje porovnání výkonu a relevantnosti jednotlivých metod dobíjení. Cílem je stanovit způsob, jenž nám umožní dobít baterie na 80 % kapacity do 20 minut. Hodnota 80 % byla vybrána z důvodu, že dobíjení posledních 20 % baterie se proces značně zpomalí. [4,5] Čas dobítí, jež by přesvědčil uživatele zvolit si elektromobil oproti automobilu se spalovacím motorem byl podle studie [6] stanoven na 30 minut. Proto byla zvolena doba 30 minut. Hlavním parametrem, jenž ovlivňuje rychlost dobítí je dobíjecí výkon. Pomocí jednoduchého vzorce, viz rovnice (1), tento výkon můžeme s jistou přesností stanovit. Jedná se o součin dobíjecího proudu a napětí. Čas získáme podílem kapacity baterie a zjištěného výkonu, viz rovnice (2). [4,7]

$$P_{ch} = V_{ev} \cdot I_{ev} \quad (1) \quad t_{ch} = \frac{E_{batt}}{P_{ch}} \quad (2)$$

I_{ev} (A) – nabíjecí proud, V_{ev} (V) – napětí, P_{ch} (kW) – nabíjecí výkon,
 t_{ch} (h) – čas nabíjení, E_{batt} (kWh) – kapacita baterie

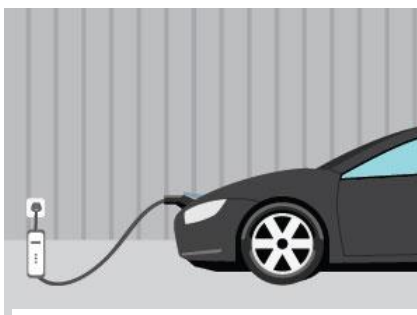
Tyto rovnice představují odhad délky nabíjení. Skutečná doba dobíjení bude delší, protože rychlost dobíjení baterie není lineární. Během dobíjení není vždy využíván maximální výkon. Dobítí prvních 20 % proběhne nejrychleji, poté rychlost klesne. Jak bylo zmíněno v úvodu, posledních 10 až 20 % kapacity baterie je dobíjeno výrazně pomaleji. Tento jev nastává hlavně u stejnosměrného dobíjení. [4,5] Dalším faktorem ovlivňující rychlost je teplota baterie. Optimální rozmezí je 15 až 35 °C. [8] Teploty mimo tento interval celý proces zpomalují. Dobíjecí strategie, resp. algoritmus dobíjecí stanice a také model elektrického vozidla jsou parametry, jež také ovlivňují rychlost nabíjení. [4]

Úrovně nabíjení EV (Levels of EV charging)

Existují 3 způsoby, jak lze EV nabít pomocí kabelu. Hlavní rozdíl je v ceně, pohodlnosti pro řidiče a dobíjecím výkonu, jež má vliv na rychlost dobíjení.

Úroveň 1 (Level 1)

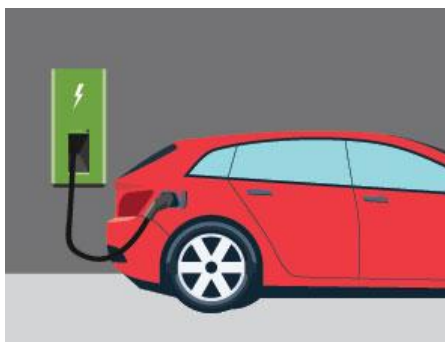
Nabíjení pomocí nabíječky, jež je v ceně vozidla. K přenosu energie je využíván střídavý proud (AC). Je připojována do běžné domácí zástrčky nebo jakékoliv jiné zástrčky. Vozidlo je vybaveno palubní nabíječkou (on-board charger), jež dokáže přijmout energii z rozvodné sítě pomocí střídavého proudu. Jedná se o nejpomalejší metodu nabíjení. Za výhodu lze považovat schopnost dobíjení z jakékoliv běžné zástrčky. V tomhle smyslu je nabíjení na této úrovni velmi flexibilní. Tato metoda nevyžaduje počáteční investici, jelikož nabíječka je přiložena k EV při nákupu. [9,10]



Obr. 1 Dobíjení na úrovni 1 [11]

Úroveň 2 (Level 2)

Jedná se o dobíjení využívající střídavý proud, jenž probíhá pomocí domácí nabíjecí stanice (wallbox). Tato stanice je napojena na rozvodnou síť. Úroveň 2 vyžaduje zakoupení dané stanice a její následnou instalaci. Tímto způsobem zvýšíme rychlost nabíjení, což je hlavní výhoda této úrovně oproti úrovni 1. Pořád je tu možnost dobíjet pomocí obyčejné nabíječky (úroveň 1) kdekoli je to možné, ale když je požadována vyšší rychlost dobíjení je nutné použít místo kde byl wallbox nainstalován. Jelikož je většinou instalován v místě bydliště máme větší flexibilitu při dobíjení v porovnání s úrovní 3, resp. není nutné hledat volné dobíjecí místo. Do úrovně 2 jsou také zařazovány veřejné dobíjecí stanice jenž využívají AC proud, což eliminuje nutnost koupi a instalace wallboxu. Tato metoda je někdy nazývána „rychlé AC dobíjení“. [9,10]



Obr. 2 Dobíjení na úrovni 2 [11]

Úroveň 3 (Level 3)

Jedná se o dobíjení pomocí veřejné dobíjecí stanice, jenž využívá externí nabíječku (off-board charger) na dodání energie pomocí jednosměrného proudu (DC). Disponuje mnohem větším dobíjecím výkonem než úrovně 1 a 2, co ovlivňuje délku dobíjení. Touto metodou lze automobil nabít na 80 % za 30 minut. To znamená, že splňuje podmínku pro rychlé nabíjení, jenž byla uvedena v úvodu. Tato metoda nevyžaduje žádné počáteční investice, ale používání této metody je dražší oproti AC dobíjení, viz kapitola 3. Tato metoda se nazývá „rychlé DC nabíjení“. [9,10]



Obr. 3 Dobíjení na úrovni 3 [11]

Dobíjecí režimy (Charging modes) byli definovány, aby se zajistilo bezpečné dobíjení elektrických vozidel. Tyto čtyři režimy se odlišují maximálním nabíjecím výkonem, zdrojem energie a způsobech komunikace mezi dobíjecí stanicí a elektrickým vozidlem. Podrobný popis lze nalézt v normě IEC 61851-1 resp. IEC 61851-24. [4,12]

Tab.1 Dobíjecí režimy – základní parametry [13]

Režimy	Fáze	Proud (A)	Napětí (V)	Přívod energie
1	1	16	250	AC
	3	16	480	
2	1	32	250	AC
	3	32	480	
3	1	32	250	AC
	3	32	480	
4	-	200	400	DC

Režim 1 (Mode 1)

Jedná se o dobíjení z klasické zásuvky, jenž probíhá pomocí palubní nabíječky. Je uskutečňováno pomocí standardního (off-the-shelf) kabelu a zásuvky bez komunikace mezi zdrojem napájení a vozidlem. V některých krajinách je zakázán, protože tu vznikají určitá bezpečnostní rizika. [4,12,14] Tento režim připojení je používán pro nabíjení malých elektrických vozidel, případně kol, skútrů nebo koloběžek. [14]

Režim 2 (Mode 2)

Dobíjení probíhá pomocí přenosné nabíječky, jenž se zapojí do klasické zásuvky. Je mnohem bezpečnější než Režim 1, díky tomu že při dobíjení dochází ke komunikaci mezi vozidlem a přenosnou nabíječkou pomocí funkce Control Pilot, jenž podává informace o maximálním proudu a také o stavu nabití. Kabel obsahuje řídicí elektroniku (EVSE kit), spínací a případně jistící prvky, přičemž dobíjecí zařízení se nachází ve vozidle. [4,12,14]

Režim 3 (Mode 3)

Tento režim je využíván pro dobíjení pomocí veřejné nebo domácí dobíjecí stanice (wallbox), jenž jsou permanentně připojené k rozvodné síti. Zařízení, jenž umožňuje dobíjení, je součástí elektromobilu. Použitím těchto stanic je dosahováno vyšších dobíjecích výkonů než při dobíjení Režimem 1 nebo 2. Tím se samozřejmě zkrátí dobíjecí doba. V některých případech je možné nabít baterii na 100% kapacity za méně než 1 hodinu. Tato skutečnost je ovšem závislá na stavu nabití¹ a kapacitě akumulátoru. V režimu 3 také dochází ke komunikaci mezi vozidlem a nabíječkou pomocí funkce Control Pilot. Jsou používány ovládací funkce, jenž ověřují, zda je elektrické vozidlo správně připojeno k napájecímu zařízení. Také probíhá průběžné ověřování neporušenosti ochranného vodiče. Probíhá přenos informací o maximálním povoleném proudu k odběru. [4,11,12,13]

Režim 4 (Mode 4)

Tento režim slouží k nabíjení stejnosměrným proudem (DC) na dobíjecích stanicích. Dobíjení je uskutečňováno pomocí zařízení (usměrňovač) umístěného v těchto stanicích, jenž také obsahuje jistící a ovládací prvky. Komunikace mezi vozidlem a dobíjecím zařízením, je pro tento režim povinná a probíhá dle normy IEC 61851-24. Nabíjecí výkony jsou mnohem vyšší než při nabíjení v Režimech 1, 2, 3, což nám umožňuje dobíjet mnohem rychleji. Jsme schopni

¹ Viz kapitola 5.1.

dosáhnout požadovaného dobití baterie na 80 % za 30 minut, jenž představuje jeden z cílů této práce. [4,12]

1.1 AC dobíjení

Dobíjení pomocí střídavého proudu probíhá za pomoci palubní nabíječky elektromobilu, jenž přijímá střídavý proud ze sítě a mění ho na proud stejnosměrný. Využívá jednofázové nebo třífázové připojení. [7] V nabíjecích Režimech 1 a 2 je možné dobíjet pomocí běžné zástrčky, resp. pomocí CEE zástrčky. Dobíjení pomocí stanice je možné v Režimu 3. Tímto krokem se zvýší dobíjecí výkon až na 43,5 kW [27] co nám umožňuje kratší dobu dobíjení. Norma IEC 62196-2 definuje požadované vlastnosti jenž mají zástrčky, zásuvky, konektory pro vozidla a zásuvky pro vozidla mít, pro AC dobíjení.[4][15] V Současnosti jsou pro AC dobíjení používány tyto typy konektorů:

Type 1 konektor

(SAE J1772) Jedná se o jednofázovou nabíječku. Dobíjení na Úrovni 1 při napětí 120 V pracuje s dobíjecím proudem o hodnotě 12-16 A. Z těchto hodnot vyplývá, že touto metodou dosáhneme nabíjecí výkon 1,44-1,92 kW. Dobíjení na Úrovni 2 při napětí až do 240 V při proudu o hodnotě 80 A. To znamená, že dosáhneme výkon 5,0-19,2 kW. Nabití 61,5 kWh baterie² trvá 3,2 až 12,3 hodin podle toho, jakým výkonem konkrétní model disponuje. Tento konektor je používán převážně v USA a Japonsku. [16]



Obr. 4 SAE J1772 konektor a zástrčka [17]

Type 2 konektor

Nazývaný také Mennekes, dle firmy, jež vytvořila původní návrh. Dosahuje výkony 3 až 50 kW, z toho vyplývá že nabití 61,5 kWh baterie trvá 1,2 až 20,5 hodin. [18] Existují tři typy toho konektoru, jenž jsou využívány v různých částech světa.

V Evropě (Type 2) se používá jednofázová a také třífázová verze. Při napětí 480 V je hodnota proudu pro jednofázovou verzi 70 A, pro třífázovou verzi je hodnota proudu 63 A.

V USA (SAE J3068 AC₆) je tento konektor dostupný jenom v třífázové konfiguraci. Možným hodnotám napětí, 208 V, 480 V nebo 600 V, odpovídají proudy 100 A, 120 A a 160 A.

V Číně (GB/T 20234.2) je tento konektor pouze v jednofázové konfiguraci. Hodnoty napětí jsou 250 V, 400 V. Daným hodnotám napětí odpovídají hodnoty proudů 16 A, 32 A. [18]

² Průměrná kapacita EV baterie je 61,5 kWh. [19]

Type 3 konektor

Taktéž nazývaný Scame konektor, dle firmy, která vytvořila původní návrh. Byly vytvořeny dva modely, model 3A a model 3C. Konektor byl navržen se speciálním krytem, jenž překrývá vstupy pro dosažení optimální míry bezpečnosti. [20] Je vyráběn ve jednofázové a také třífázové verzi. Jednofázová konfigurace pracuje s proudem o hodnotě 16 A nebo 32 A, obě při napětí 230 V. Třífázová konfigurace pracuje s proudem o hodnotě až 63 A, taktéž při napětí 230 V. [15] Dosahuje výkon 22kW. [21] Nabítí 61,5 kWh baterie bude tedy trvat 2,8 hodin. Tento konektor je používán jenom ve Francii a Itálii, a i v těchto zemích je postupně nahrazován konektorem Mennekes. [20]

Duální nabíječka Tesla

Konektor umožňuje jednofázové nabíjení pomocí střídavého proudu a také pomocí jednosměrného proudu. Je používán převážně v USA a Japonsku. V Evropě Tesla využívá Type 2 konektor pro nabíjení střídavým proudem. Maximální nabíjecí výkon tohoto konektoru při napětí 240 V je 17,2 kW. Nabíjecí doba 61,5 kWh baterie bude zhruba 3,6 hodin. Společnost Tesla vyvinula tento konektor v roce 2008. V té době nebyla stanovena žádná mezinárodně uznaná norma pro vlastnosti EV konektorů, proto byla tato nabíječka kompatibilní jenom s vozidly od dané společnosti vyrobenými pro trh v USA a Japonsku. [7,22]



Obr. 5 Type 2 konektor [23]



Obr. 6 Type 2 zástrčka [24]



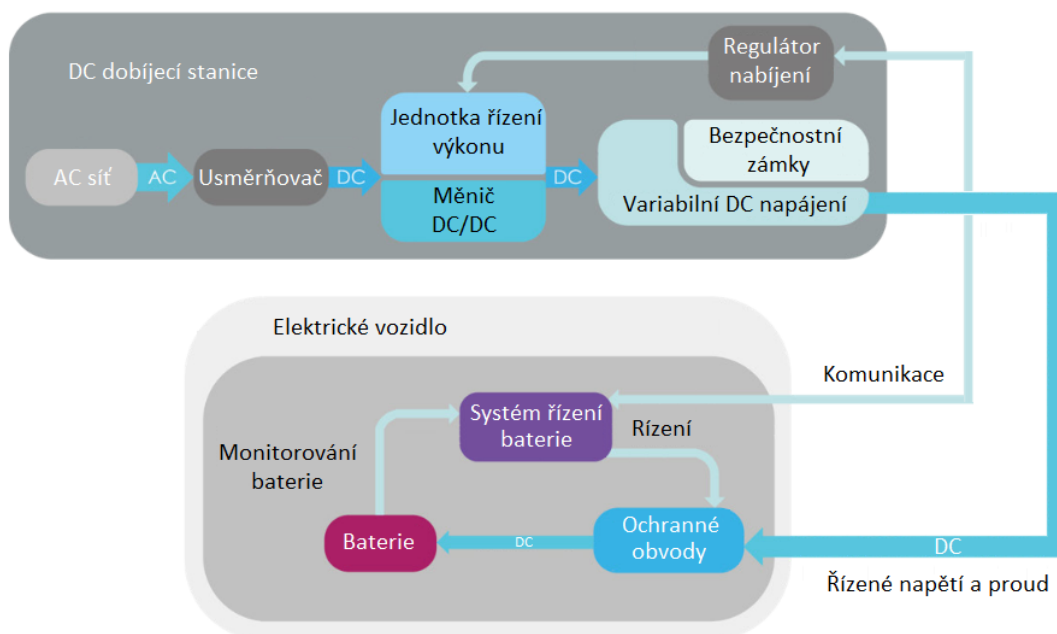
Obr. 7 Type 3C konektor [25]



Obr. 8 Tesla U.S. konektor [22]

1.2 DC dobíjení

Pro dosažení vyšších dobíjecích výkonů, tedy výkonů nad 50 kWh, jsem nuceni použít dobíjení pomocí stejnosměrného proudu. Tato metoda dobíjení je možná v Režimu 4 a na Úrovni 3. Na této úrovni je možné dobíjet s výkonem převyšujícím 350 kW. To ve výsledku několikanásobně zkrátí dobu dobíjení. Energie je dodávána přímo do baterie pomocí externího AC/DC usměrňovače, jenž je umístěn v dobíjecí stanici. Pro nabíjení pomocí stejnosměrného proudu se používají konektory CHAdeMO, CCS 1, CCS 2 aj. jenž jsou podrobně popsány v kapitole 2. Dobíjecí proces má několik částí. Nejdřív, usměrňovač přemění střídavý proud ze sítě na stejnosměrný proud. Pak jednotka řízení výkonu upraví napětí a proud DC/DC měniče, což nám umožní upravovat výkon dodávaný do baterie. V případě poruchy nebo chyby jsou bezpečnostní zámky a ochranné obvody schopny odpojit konektor od proudu a zastavit nabíjení. Komunikaci s dobíjecí stanicí zajišťuje systém řízení baterie. Reguluje velikost napětí a proudu dodávaného do baterie a řídí ochranné obvody v případě výskytu nebezpečné situace. Celý proces je zjednodušeně prezentován na obrázku 9. [26]



Obr. 9 Zjednodušená schéma DC dobíjení [26] (upravené)

1.3 Rozdíly mezi AC a DC

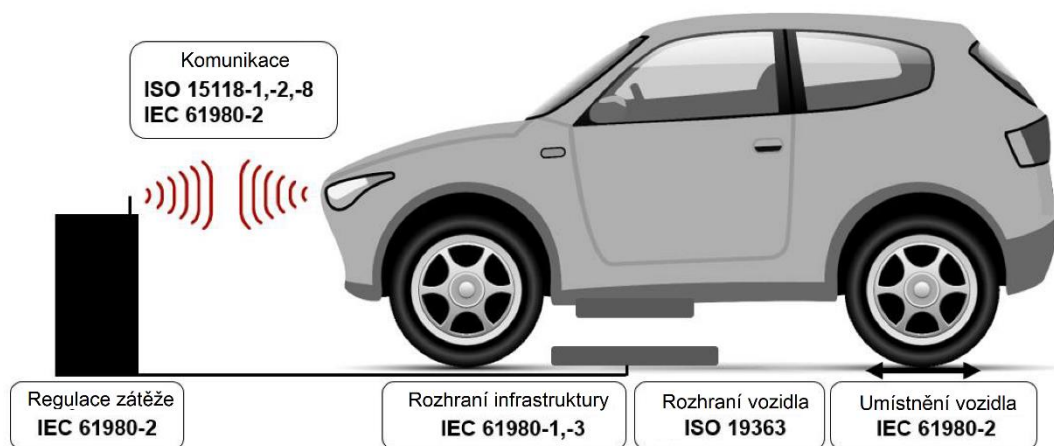
Byli představeny základní parametry dvou hlavních způsobů dobíjení, tudíž jsme schopni je porovnat a vyvodit závěry. Zřízení stanice umožňující dobíjení pomocí střídavého proudu vyžaduje poměrně nízké počáteční náklady pro společnost instalující stanici tohoto typu. AC dobíjecí stanice jsou také menší a jejich zřízení je jednodušší a rychlejší. Díky tomu, že vozidla schopná dobíjení střídavým proudem mají palubní nabíječku není nutné instalovat do stanice externí nabíječku, což je při nabíjení jednosměrným proudem nezbytné. Vozidla schopná dobíjení pomocí střídavého proudu mohou být také dobíjena pomocí běžné zástrčky, resp. pomocí CEE zástrčky, nebo pomocí domácí stanice tzv. wallbox-u. Díky tomu, že tato metoda umožňuje nabíjení EV v domácnosti, se stává velmi dostupnou. Není nutné cestovat na dobíjecí místo, tím pádem máme větší kontrolu nad dobíjecím procesem, resp. můžeme dobíjet kdykoliv chceme a máme jistotu, že pořád budeme mít volné místo k dobíjení. Jenomže, i v té nejlepší

konfiguraci, dobíjení pomocí střídavého proudu nedosahuje požadovaných parametrů, teda dobití 80 % baterie za maximálně půl hodiny. Nemůžeme ho tedy považovat za rychlou metodu nabíjení. To znamená, že pokud je naším primárním cílem rychlost dobíjení, musíme použít dobíjení stejnosměrným proudem, jenž tuto podmínku dokáže splnit. Jelikož jsou stanice disponující nabíjením pomocí stejnosměrného proudu mnohem komplexnější na instalaci, jsou tedy i několikanásobně dražší než stanice využívající nabíjení střídavým proudem. Jedním z důvodů je implementace externí nabíječky.

1.4 Indukční nabíjení

Předchozí metody využívají k přenosu energie vodivé nabíjení (conductive charging). Metoda indukčního přenosu energie využívá magnetickou rezonanční indukci k dobíjení EV, tedy nevyžaduje fyzické připojení kabely. Odstranění kabelů ještě víc zatraktivní elektromobily pro uživatele, jelikož se tím celý nabíjecí proces pro zákazníky usnadní. Můžeme ho rozdělit podle pohybu vozidla během nabíjení na tři typy. Stacionární bezdrátový přenos energie – vozidlo není v pohybu a vodič se nenachází ve vozidle. Kvazi-dynamický bezdrátový přenos energie – vozidlo není v pohybu, ale vodič je ve vozidle, například nabíjení elektrických autobusů na zastávkách. [6,27] Dynamický bezdrátový přenos energie – vodič je ve vozidle, jenž je v pohybu.[27]

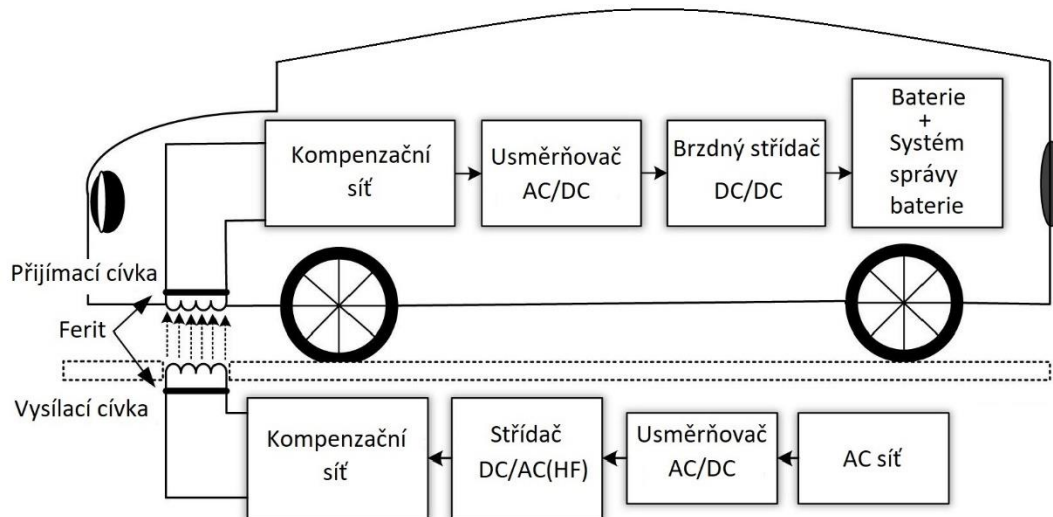
Společnosti měli za cíl vyvarovat se vzniku velkého množství standardů, jenž je problémem při vodivém dobíjení, proto byli stanoveny normy, jež eliminují tento problém. Pro toto dobíjení je stanovena norma SAE J2954, jenž vyžaduje použití frekvence 85 kHz resp. 81,39 až 90 kHz. Jsou v ní definovány 4 energetické úrovně, přičemž v budoucnu mohou přibýt další. Jedná se o 3,7 kW a 7,7kW a 11 kW a 22 kW. [28] Tato norma také definuje bezpečnost, interoperabilitu, světlou výšku aj. [29] Další normy pro bezdrátové dobíjení EV jsou IEC 61980, ISO 19363 a ISO 15118, jež definují určité aspekty indukčního dobíjení, viz obrázek 10. [30]



Obr. 10 Normy pro indukční dobíjení [30] (upravené)

Proces dobíjení pomocí indukce je odlišný od dobíjení vodivými metodami. Může být vysvětlen takto: Spojení mezi elektrickou sítí a magnetickou vazbou zajišťuje zdroje energie, jenž je tvořen usměrňovačem a střídačem. Usměrňovač přeměňuje střídavý proud na stejnosměrný. Střídač mění stejnosměrný proud na střídavý proud o vysoké frekvenci. Pomocí těchto komponentů jsme schopni měnit frekvenci, co umožňuje ovládat tok energie. Spojení mezi zdrojem energie a nabíječkou baterií je zajištěno pomocí magnetické vazby, jenž také slouží k přenosu energie.

Tato vazba je vytvářena dvěma cívkami, jež mohou mít železné jádro nebo žádné jádro. [31] Kompenzační síť minimalizuje jalový výkon, jež cirkuluje v nabíjecím systému. Umožní tedy přenést požadovaný nabíjecí výkon a dosáhnout vysoké energetické účinnosti. [32] Nabíječku baterií tvoří usměrňovač a brzdný střídač. Řízení dobíjecího procesu a řízení dobíjecího napětí zprostředkovává systém správy baterie. [31]



Obr. 11 Zjednodušený diagram pro statické indukční dobíjení [33] (upravené)

V roce 2018 společnost Momentum Dynamics v spolupráci se společností Link Transit vytvořila v americkém městě Wenatchee infrastrukturu, která je využívána k indukčnímu dobíjení elektrických autobusů. Ty jsou dobíjeny při každém zastavení na zastávce. Jejich kapacita baterie je 266 kWh. Samotné nabíječky jsou schopné pracovat s výkonem 50 až 450 kW, jelikož se jedná o modulární systém. V této konkrétní infrastruktuře je dobíjecí výkon 200 kW. [34]



Obr. 12 Autobusová zastávka ve Wenatchee [35]

Díky jednoduchosti instalace a používání stanice, dostatečnému dobíjecímu výkonu, přiměřené ceně za stanici a rozměrům přijímacího zařízení elektromobilu lze předpokládat že dobíjení pomocí magnetické indukce se stane nejrozšířenějším typem dobíjení. Za výhodu můžeme považovat to že, přijímací elektronika má jednoduchou konstrukci, a nižší hmotnost než palubní nabíječka. Jelikož je zdroj energie integrovaný do vozovky, nezabírá místo, eliminuje potřebu použití kabelů a je odolný vůči počasí a vandalismu. [31,36] Není ovlivněn sněhem, deštěm

nebo spadnutím listím. [30] Lidé mají tendenci si myslet, že v prostoru mezi dobíjecí podložkou a vozidlem dochází k velkým ztrátám energie. Tuto myšlenku ale vyvrací zdroje, jenž uvádí, že dobíjení touto metodou pracuje s účinností 88-93 % [37,38] Pro porovnání, dobíjení pomocí kabelů pracuje s účinností 96 ± 2 %. [38] Tato metoda je také využitelná pro autonomní elektrická vozidla, jelikož dobíjení nevyžaduje obsluhu pro připojení kabelu. [31,36]

Za nevýhody můžeme považovat komplikované nastavení rezonančního obvodu a nižší účinnost v porovnání s vodivými metodami nabíjení. V prostoru mezi elektromobilem a dobíjecí podložkou se nesmí nacházet žádný kovový předmět, protože v té situaci dochází k navýšení strat.[31] Jednou z hlavních výzev je správné umístění vozidla nad nabíječku. Řidič musí navést elektromobil s určitými odchylkami nad dobíjecí místo. [36]

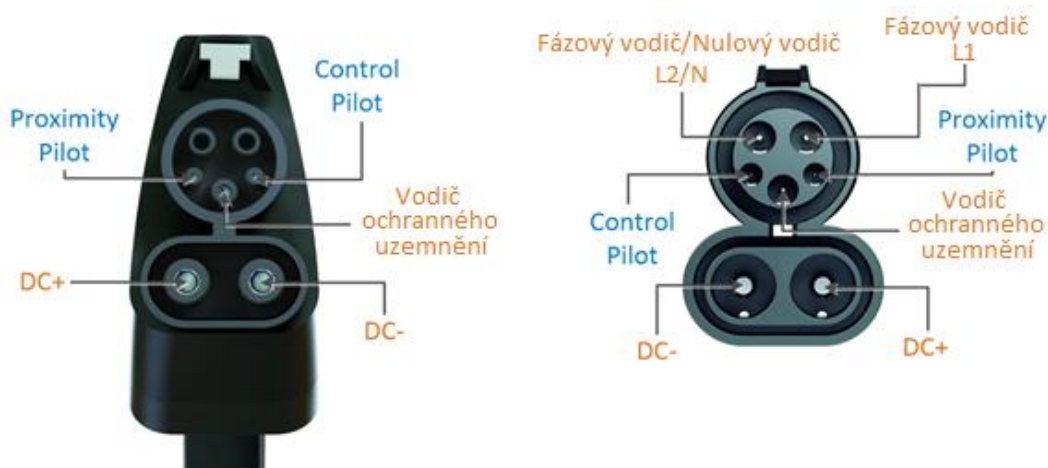
Tato metoda není zatím tak rozšířená, aby mohla konkurovat vodivému dobíjení. V současnosti je využíváno hlavně u elektrických autobusů, taxíků a vysokozdvížných vozíků. Tedy u společností, jenž vlastní flotily vozidel, které jsou v pohybu většinu dne.

2 Technologie DC dobíjení

V této kapitole jsou více popsány technologie, jež využívají stejnosměrný proud pro dobíjení elektromobilů. Byla jim věnovaná samostatná kapitola, jelikož právě tyto technologie mohou být kategorizovány jako rychlé dobíjení, co vyplývá z první kapitoly. I když všechny technologie, jež budou v této kapitole uvedeny, splňují všeobecné požadavky pro zařazení mezi DC metody dobíjení, všechny se odlišují dobíjecím výkonem, bezpečnostními postupy, komunikací mezi vozidlem a stanicí, konektorem, rozšířením aj.

2.1 CCS

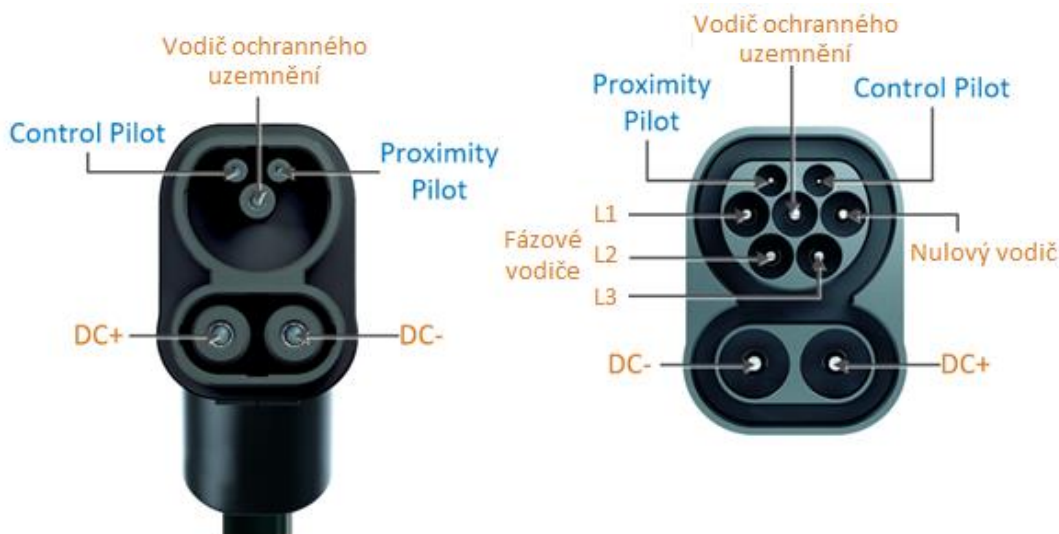
Prvním konektorem jež, bude uveden je CCS konektor, jež má dvě varianty, CCS1 a CCS2. **CCS 1** také nazýván „Combo 1“ vznikl připojením dvou DC pinů na AC konektor Type 1 (SAE J1772). [4] Během dobíjení stejnosměrným proudem jsou v provozu právě tyto DC piny a také Proximity Pilot a Control Pilot, jež zajišťují komunikaci. Během tohoto nabíjení také pracuje vodič ochranného uzemnění. Dobíjení střídavým proudem je uskutečněno přes dva AC piny, jež jsou určeny pro tento typ dobíjení. [39] Kontakty konektoru jsou zobrazeny na obrázku 13. Co se týče rozšíření, vyskytuje se hlavně v USA. [26]



Obr. 13 CCS 1 konektor a zásuvka [26] (upravené)

CCS 2 také nazýván „Combo 2“ vznikl připojením dvou DC pinů na AC konektor Type 2 (Mennekes). [4] Je užíván převážně v Evropě, a to z toho důvodu, že je od roku 2014 evropským standardem pro vysoce výkonné nabíjení pomocí stejnosměrného proudu. EU vyžaduje, aby každá dobíjecí stanice umožňující vysoce výkonné nabíjení byla vybavena alespoň jednou CCS 2 zásuvkovou přípojkou, dle normy EN 62196-3. [40] Jelikož jsou nabíječky s CCS 2 evropským standardem, jsou velmi rozšířené a dostupné.

Podobně jako u CCS1, tak u CCS2 jsou během dobíjení stejnosměrným proudem v provozu dva DC piny, Proximity Pilot, Control Pilot a vodič ochranného uzemnění. Dobíjení střídavým proudem je uskutečněno přes čtyři AC piny, jež jsou určeny pro tento typ nabíjení. Konektor CCS 2 určený jen na DC dobíjení tyto AC piny nemá. [39] Kontakty konektoru jsou zobrazeny na obrázku 14. Dobíjecí výkony, které jsou CCS konektory schopné vyvinout, jsou klasifikovány do výkonových tříd, viz tabulka 2. Z níž vyplývá, že při použití 350 kW můžeme teoreticky nabít 61,5 kWh baterii za 10 minut.

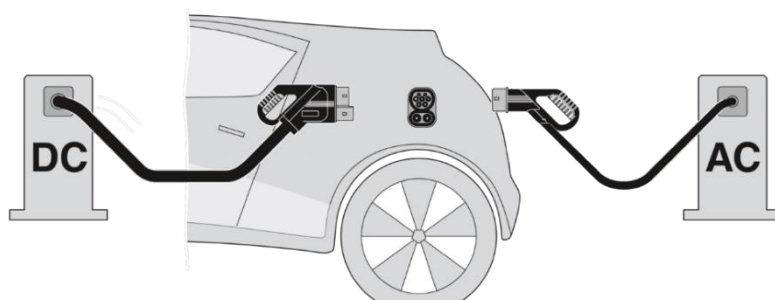


Obr. 14 CCS 2 konektor a zásuvka [26] (upravené)

Tab. 2 Klasifikace úrovně výkonu pro DC nabíječky podle standardů CCS [41]

Výkonová třída	Výkonový rozsah (kW)
DC5	≥5 (500 V × 10 A)
DC10	≥10 (500 V × 20 A)
DC20	≥20 (500 V × 40 A)
FC50	≥50 (500 V × 100 A)
HPC150	≥150 (500 V × 300 A, 920 V × 163 A)
HPC250	≥250 (500 V × 500 A, 920 V × 271 A)
HPC350	≥350 (500 V × 500 A, 920 V × 381 A)

The Charging Interface Initiative e. V. (CharIN e. V.) je nezisková organizace, jenž propaguje používání CCS konektoru. Tato organizace má více než 250 členů, například Audi, BMW, Mennekes, Phoenix Contact aj. Hlavním důvodem k propagaci této technologie je schopnost připojit do jednoho vstupu na elektromobilu AC nebo DC konektor a možnost komunikovat koordinovaným způsobem, bez námahy ze strany koncového uživatele. [26,42] V době psaní (březen 2022) je celosvětově v provozu více než 47000 nabíjecích stanic, využívající tuto technologii, z čehož 29000 stanic se nachází v Evropě. [43]



Obr. 15 Schopnost CCS zástrčky přijmout AC a také DC konektor [44]

Mnoho firem se podílí na vývoji a inovaci kabelu tohoto typu. Nabíjecí kabely CCS 1 a CCS 2 od společnosti Phoenix Contact jsou schopné nabíjet jednosměrným proudem s maximálním výkonem 500 kW. Patří tedy do výkonové třídy HPC350. Disponují chlazeným nabíjecím konektorem a chlazeným vedením. Jako chladicí kapalina se používá směs vody a glykolu s průtokem $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. komunikaci zajišťují funkce Control Pilot a Proximity Pilot. Jsou schopné provozu při teplotách prostředí $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ až $40 \text{ }^\circ\text{C}$. [45]



Obr. 16 CCS1 a CCS2 od Phoenix Contact [45]

Výrobci Elektromobilů

CCS konektory jsou používány výrobci elektromobilů na celém světě, jelikož jsou založeny na AC konektorech, jenž jsou také celosvětově rozšířené. [46]



Obr. 17 Škoda ENYAQ iV vybavena CCS 2 konektorem [47]



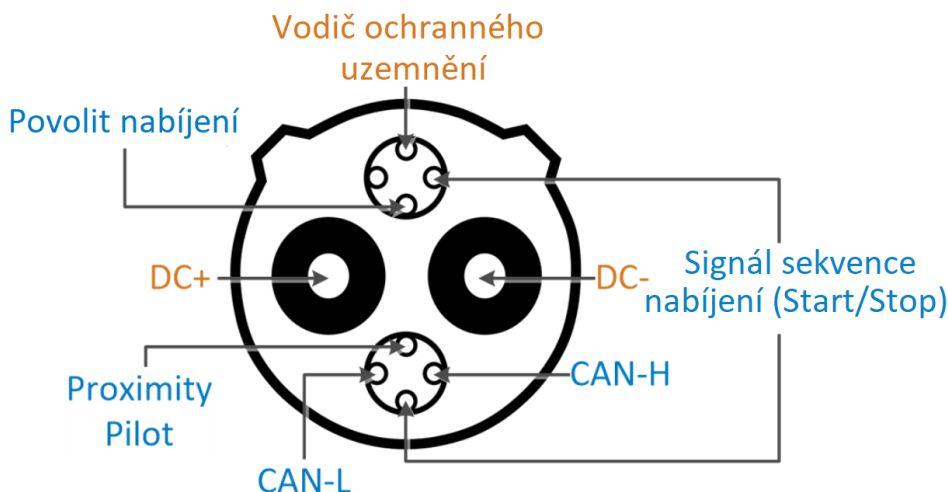
Obr. 18 BMW i3 vybaven CCS 1 konektorem [48]

2.2 CHAdeMO protokol

Další technologií, které se tato kapitola věnuje je CHAdeMO. Název je zkratka francouzské fráze „charge de move“, tedy „nabij a jdi“. Je také odvozen z japonské fráze, jenž ve volném překladu znamená „Dáte si šálek čaje?“ Protože během dobíjení si člověk stihne dát čaj. [5] Výzkum a vývoj protokolu CHAdeMO začal v roce 2005. První infrastruktura využívající tento systém byla uvedena do provozu v Japonsku v roce 2009 a v roce 2014 byl zveřejněný jako

IEC a EN norma. V době psaní (březen 2022) je celosvětově v provozu více než 44900 nabíjecích stanic, využívající tuto technologii, z čehož 22500 stanic se nachází v Evropě. [49] Data-báze certifikovaných nabíječek teď obsahuje 260 položek. [50] Nabíjecí výkon dosahuje hodnoty až 400 kW, což nám umožní nabít 61,5 kWh baterii za 9 minut.

Co se týče kontaktů konektoru, dva DC piny umožňují přenos energie. Komunikaci zajišťují konektory Proximity Pilot a sběrnice CAN. Signál sekvence nabíjení spouští a ukončuje nabíjení. Pin vedle, není připojený. Pomocí pinu Povolit nabíjení uděluje vozidlo stanici povolení k připojení napájení. [26]



Obr. 19 CHAdeMO kontakty [26] (upravené)

Vývoj CHAdeMO protokolu

CHAdeMO 0.9 – První verze, která byla standardizována. Nejrozšířenější na světě. [51] Má nabíjecí výkon 62.5 kW (125 A × 500 V) [52]

CHAdeMO 1.0 – Tato verze, jež byla zveřejněna v 2012 má zvýšenou spolehlivost, kompatibilitu a ochranu vozidla. [50,51] Nabíjecí výkon je nezměněn. [52]

CHAdeMO 1.1 – Tato verze, jež byla zveřejněna v roce 2015, umožňuje použití menších průměrů kabelů pro V2H³. Také je schopná dynamické změny proudu během nabíjení a má tlačítko nouzového zastavení dobíjení. [51] Nabíjecí výkon je nezměněn. [52]

CHAdeMO 1.2 – Umožňuje nabíjení s výkonem 200kW. Disponuje ochranou proti přehřátí, ochranou a koordinací přetížení/zkratového proudu. Byla zveřejněna v roce 2017. [51]

CHAdeMO 2.0 – Zveřejněna v roce 2018. Verze je schopná vysokovýkonového nabíjení, až do 400 kW. Je vhodná i pro nákladné elektromobily a autobusy. Je kompatibilní s funkcí Plug & Charge. [34] Plug & Charge je schopnost EV automaticky rozeznat připojení k stanici, začít dobíjet a vyřídít platbu po připojení kabelu. Řidič se o nic nestará. [53]

CHAdeMO 3.0 – Byla zveřejněna v dubnu 2021. V současné době představuje nejnovější verzi. Je schopná ultra-vysoko výkonového nabíjení, tedy nad 500 kW. Používá konektor ChaoJi, jež je podrobněji popsán v podkapitole 2.4. [50]

³ V2H (Vehicle to Home) systém, jež umožňuje přenos elektriny z elektromobilů do budov. V případě potřeby je možné napájet dům, pomocí elektriny z EV. [54]



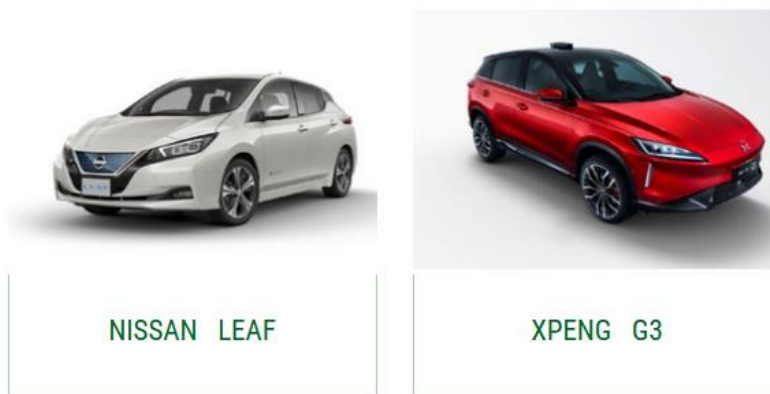
Obr. 20 Nabíjecí stanice Grasen, s výkonem 200 kW (CHAdemo + CCS) [55]



Obr. 21 Konektor CHAdemo 1.2 od společnosti Sumitomo Electric [56]

Výrobci Elektromobilů

U výrobců elektromobilů, jenž používají technologii CHAdemo, převládají hlavně ti z Japonska. Jelikož i sdružení CHAdemo tvoří převážně japonské firmy. Vyskytuje se ovšem i ve vozidlech od nejaponských výrobců. [57]

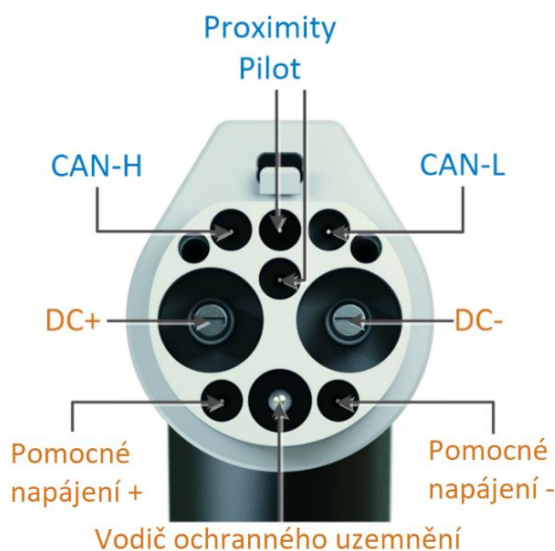


Obr. 22 Příklady elektromobilů, jenž využívají technologii CHAdemo [57]

2.3 GB/T

Čína má největší trh s elektromobily na světě, je tedy logické, že má i své vlastní konektory pro DC dobíjení. [58] Jeden z těchto konektorů je nazýván GB/T a je založen na požadavcích SAC normy GB/T 20234–2015. [59]. Ta stanovuje, že pro DC dobíjení nesmí být napětí větší než 1000 V a proud nesmí přesáhnout hodnotu 400 A. [60] Teoreticky jsme teda schopni nabíjet s výkonem až 400 kW, viz rovnice (1). Což nám umožní nabít 61,5 kWh baterii za 9 minut.

Konektor tvoří dva piny pro DC nabíjení. Pro pomocné nízkonapěťové napájení jsou také včleněny dva piny. Tato funkce je unikátní pro tento konektor. Komunikaci zajišťují Proximity Pilot a CAN sběrnice. [26]



Obr. 23 GB/T konektor [26] (upravené)



Obr. 25 Tesla model 3 s GB/T konektorem [61]

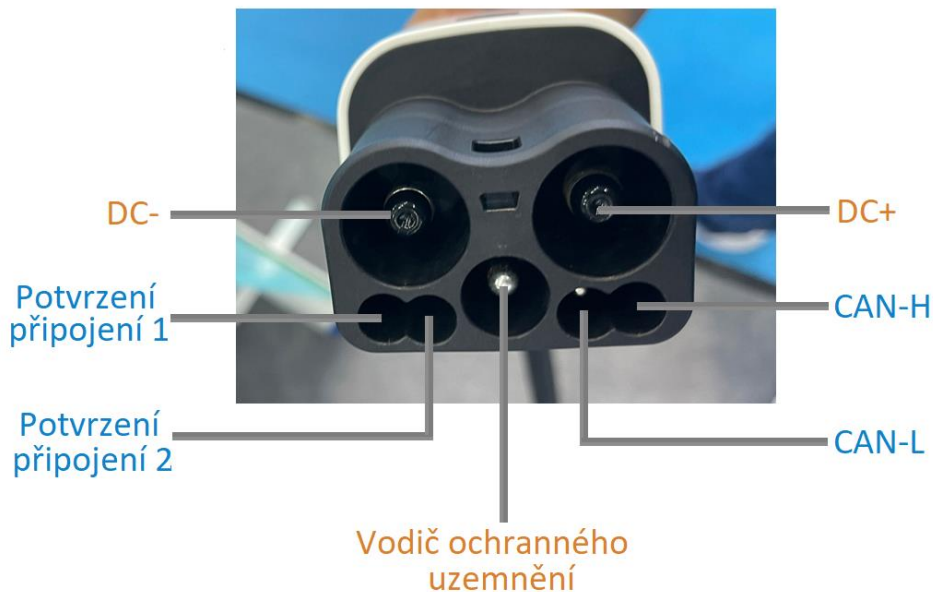


Obr. 24 Nabíjecí stanice Grasen, s výkonem 120 kW (GB/T + CCS) [62]

2.4 ChaoJi

Dalším ze standardů pro DC dobíjení je ChaoJi, někdy nazýván také rychlé GB/T dobíjení. [63] Čína na tomhle projektu spolupracuje s Japonskem. Vychází z protokolu CHAdeMO3.0 [50] a měl by sladit protokoly GB/T a CHAdeMO. Má výkon až 900 kW při napětí 1500 V a hodnotě proudu 600 A. [64] Což nám umožní nabít 61,5 kWh baterii za 4 minuty. Tato technologie je pořád ve vývoji. Některé parametry se budou s určitostí měnit, než dojde k velkému rozšíření. Elektromobily využívající tuto technologii budou zpětně kompatibilní s technologií GB/T, CHAdeMO a případně CCS. Další výhodou je to, že konektor má vysokou mechanickou odolnost v porovnání s jinými DC konektory. [65] Co se týče kontaktů, tak dobíjení probíhá pomocí dvou DC pinů. Komunikace je zajištěna CAN sběrnici. Pin Potvrzení připojení 1 a pin Potvrzení

připojení 2 kontrolují připojení mezi nabíječkou a vozidlem. Co se týče bezpečnosti, tak společně uvedli, že „Lidská bezpečnost je na prvním místě.“ [66]

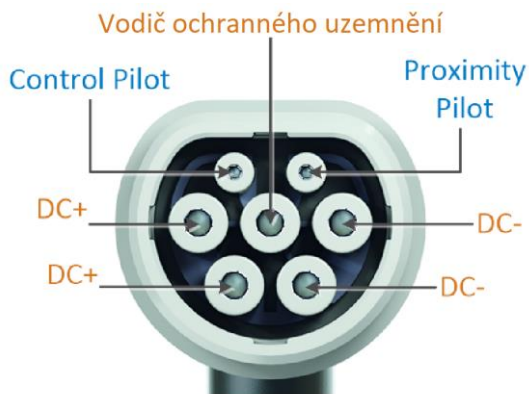


Obr. 26 ChaoJi konektor [67] (upravené)

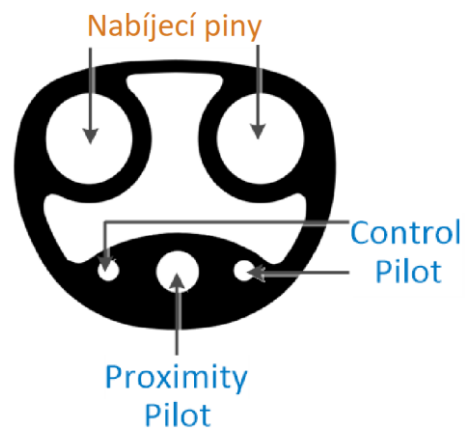
2.5 Tesla Supercharger

Společnost Tesla je největším výrobcem elektromobilů na světě, a také vlastní síť nabíjecích stanic. [68] Celosvětově se nachází více než 30000 Superchargerů. S takovým množstvím nabíjecích stanic je celkem logické, že má i vlastní konektory. Ty pracují s nabíjecím výkonem až 250kW. S tímto výkonem jsme schopni nabít 61,5 kWh baterii za 15 minut. Jsou využívány k dobíjení elektromobilů výhradně od značky Tesla. [69]

Evropský konektor pro DC nabíjení vychází z konektoru Type 2, jenomže jsou v něm zabudovány DC kontakty. Komunikaci zajišťují Proximity Pilot a Control Pilot. Americký konektor disponuje dvěma nabíjecími piny, jež mohou být použity pro AC a také DC dobíjení viz obr. 28. [44] Nové elektromobily značky Tesla, jenž jsou určeny pro Evropský trh, jsou vyráběny také s CCS 2 zástrčkou.[70]



Obr. 27 Tesla DC konektor pro Evropu [26] (upravené)



Obr. 28 Tesla DC konektor pro USA [26] (upravené)

2.6 Tesla Megacharger

Tato technologie je ve rané fázi umístování dobíjecích bodů. Bude trvat ještě několik let, než bude dostatečně rozšířená. Je určena výhradně pro vozidla Tesla Semi a Tesla Cybertruck. Výkon této technologie, podle informací poskytnutých pro kanadský časopis Drive Tesla, činí 1,5 MW. Vygenerování takého výkonu vyžaduje dobrý systém chlazení. O tenhle problém se má postarat technologie ponorného chlazení. [71] V listopadu 2021 byla vybudována první Megacharger stanice pro Tesla Motors Nevada, jež vyrábí součástky pro elektrická vozidla. [72] Co se týče konektoru, tak ten ještě nebyl oficiálně představen společností Tesla. [73]



Obr. 30 Stanice Megacharger
vybudovaná při Tesla Motors Nevada
[74]



Obr. 29 Stanice Tesla Megacharger [68]




















Obr. 31 Zásuvka pro Megacharger (neoficiální) [75]

Porovnání

Po vypracování přehledu jsme schopni objektivně zhodnotit technologie DC dobíjení a vyvést závěry. Začneme rozšířením stanic, resp. jejich počtem. Ze zmíněných technologií je nejrozšířenější GB/T, pak následují ostatní technologie. Co se týče ChaoJi a Megachargeru, tyto technologie jsou ještě ve fázi vývoje, nebo jsou rozmístěny jenom v malém počtu. Technologie CCS 2 je evropským standardem pro rychlé nabíjení, proto většina elektromobilů vyrobených pro evropský trh disponuje právě touto technologií. Tento fakt měl za následek její rozšíření. CHAdeMo funguje na evropském a taky asijském trhu. CCS 1 a Tesla Supercharger jsou zase nejrozšířenější v USA.

Co se týče výkonu, tak největší výkon dokáže přenést Megacharger, a to ho činí také nejrychlejší technologií. Jenže tato technologie je určena hlavně pro nákladní elektromobily. Pokud budeme brát v potaz jenom dobíjení osobních elektromobilů tak má největší výkon ChaoJi. Technologie CCS, CHAdeMO a GB/T disponují menším výkonem, ale i ten je dostatečný aby-chom mohli tyto technologie považovat za rychlé dobíjení. Můžeme předpokládat, že v budoucnu se výkony pro osobní elektromobily ještě zvýší, co bude mít za následek ještě větší zkrácení nabíjecí doby.

Ambice technologie ChaoJi sladit technologie CHAdeMO a GB/T je také velkou výhodou. ChaoJi bude taky zpětně kompatibilní s technologií CCS. Tímto způsobem dojde k harmonizaci.

Kompatibilita						ChaoJi
	CHAdeMO	GB/T	US-COMBO CCS1	EUR-COMBO CCS2	Tesla	
Konektor						
Zásuvka						
	✓	✓	✓	✓		V budoucnosti
	IEEE		SAE			?
	✓			✓		?
	✓	✓	✓	✓		✓
		✓				✓
Komunikace	CAN		PLC		CAN	CAN
Maximální výkon	400kW 1000x400	400kW 1000x400	≥200kW 600x400	≥350kW 900x400	250kW	900kW 1500x600
Používaný výkon	150kW	125kW	150kW	350kW	120kW	-
Počet konektorů	27,500	300,000	3,000	11,000	20,000	-
Spuštění	2009	2013	2014	2013	2012	2020

Obr. 32 Přehled DC technologií [60] (upravené)

3 Dobíjecí sítě

Jak bylo již zmíněno, jedním z cílů této práce je nalezení způsobu nabíjení, jenž je schopný nabýt 80 % baterie za pod 30 minut. V první kapitole bylo zjištěno že tuto podmínku splňuje dobíjení pomocí stejnosměrného proudu. V této kapitole je uveden přehled a zhodnocení několika dobíjecích sítí, jenž umožňují právě toto dobíjení. Byli vybrány tři společnosti s nejvyšším počtem stanic a také dvě společnosti jenž provozují vysokovýkonné DC stanice. Přehled je zaměřen na společnosti, jenž působí na území České republiky. V ČR je podle Ministerstva průmyslu a obchodu evidováno výše 900 dobíjecích stanic všech typů, resp. výše 1800 dobíjecích bodů k datu 31.12.2021. Jejich počet neustále roste. [76]

3.1 ČEZ

Veřejné nabíječky od společnosti ČEZ jsou nejrozšířenější v České republice. [77] Stanice umožňují dobíjení střídavým proudem, jenž pracuje s výkonem až 22 kW pomocí konektoru Type 2. Dobíjení stejnosměrným proudem, pracuje s maximálním výkonem 180 kW pomocí konektorů CCS 2 a CHAdeMO. V době psaní, se v ČR nachází 5 stanic s DC dobíjením od této společnosti. [78] Co se týče ceny, ta je pro neregistrovaného zákazníka vyšší a je zapotřebí si stáhnout příslušnou aplikaci k načtení elektromobilu. Registrovaný zákazník využívá k načtení čip, kartu nebo již zmíněnou aplikaci. [79] Za obsazení dobíjecí stanice po překročení určitého časového limitu, nebo za obsazení dobíjecí stanice po ukončení nabíjení se účtuje poplatek 2 Kč/min. [80] Ceny za kWh jsou uvedeny v tabulce 3. Výhody této sítě jsou velký počet dobíjecích míst, nabídka konektorů a poměrně nízká cena za kW. Mezi nevýhody můžeme zařadit malý počet ultrarychlých dobíjecích stanic.

Tab. 3 Ceník ČEZ [80]

	AC	DC (do 99 kW)	HPC (nad 99 kW)
Neregistrovaný zákazník	8 Kč/kWh	10 Kč/kWh	12 Kč/kWh
Registrovaný zá- kazník	6 Kč/kWh	8 Kč/kWh	10 Kč/kWh



Obr. 33 ČEZ Rychlodobíjecí stanice od ABB [81]



Obr. 34 ČEZ Ultrarychlá dobíjecí stanice od ABB [81]

3.2 PRE

Druhý největší počet veřejných nabíječek provozuje společnost Pražská energetika (PRE). Na těchto stanicích je dobíjení střídavým proudem možné použitím Type 2 konektoru o maximálním výkonu 22 kW. Co se týče dobíjení stejnosměrným proudem, to je na těchto stanicích v Česku možné jen pomocí konektoru CCS 2 s výkonem více než 150 kW. [82] Platba za jednorázové dobíjení probíhá naskenováním QR kódu na dobíjecí stanici, jež otevře platební bránu. [83] Pro pravidelné dobíjení se používá čip. Po překročení určitého časového limitu se účtují poplatky za další minuty strávené na dobíjecím místě. Zákazníci, jež mají uzavřenou alespoň jednu smlouvu s některou ze společností ze Skupiny PRE mají zvýhodněné dobíjení. Ceníky jsou uvedeny v tabulkách 4 a 5. [84] Celková infrastruktura a ceník jsou velmi podobné společnosti ČEZ. To znamená, že výhody této sítě, jež jsou velký počet dobíjecích míst, a poměrně nízká cena pro zákazníky Skupiny PRE jsou podobné jako v případě společnosti ČEZ. Za nevýhody můžeme považovat malý počet ultrarychlých dobíjecích stanic, kterých je v době psaní, v provozu jenom 7. A také vysoké ceny za jednorázové dobytí.



Obr. 35 Dobíjecí stanice značky Hypercharger, provozována PRE (Brno, ČR) [85]

Tab. 4 Ceník pro pravidelné dobíjení [84]

	Standard	Cena za kWh (Kč)	Cena za minutu (Kč)	Volné minuty při dobíjení (min)
Zákazníci, kteří nejsou zákazníky Skupiny PRE	AC	7	1	120
	DC (50/75 kW)	8	2	60
	DC (150+ kW)	10	2	30
Zákazníci Skupiny PRE	AC	6	0,5	120
	DC (50/75 kW)	7	1	60
	DC (150+ kW)	9	2	30

Tab. 5 Ceník pro jednorázové dobíjení [84]

Standard	Cena za čas (Kč)			
	30 minut	60 minut	120 minut	180 minut
AC	-	240	480	720
DC 50/75 kW	180	360	720	-
DC 150+ kW	240	480	960	-

3.3 E.ON

Společnost E.ON je třetím největším provozovatelem dobíjecích stanic v ČR. [77] Pro dobíjení střídavým proudem je používán Type 2 konektor o maximálním výkonu 44 kW. Dobíjení stejnosměrným proudem je možné pomocí konektorů CCS 2 a CHAdeMO s maximálním výkonem 175 kW. [86] Jak u výše zmíněných poskytovatelů, tak u společnosti E.ON je cena za kilowatt-hodinu pro neregistrovaného zákazníka vyšší a je zapotřebí si stáhnout příslušnou aplikaci k načtení elektromobilu. Registrovaný zákazník využívá k načtení čip, kartu nebo již zmíněnou aplikaci. Poplatek 2 Kč/min je účtován za překročení určité doby nabíjení, jenž závisí od typu nabíjení. [87] Celková infrastruktura a ceník jsou velmi podobné společnosti ČEZ nebo PRE. Výhody této sítě jsou velký počet dobíjecích míst, nabídka konektorů a poměrně nízká cena. Za nevýhodu můžeme považovat malý počet ultrarychlých dobíjecích stanic. V době psaní je těchto stanic v provozu jenom 5. [61] Do tří let má E.ON v plánu postavit v Česku dalších 12 ultrarychlých dobíjecích stanic s výkonem až 300 kW. [88]

Tab. 6 Ceník E.ON [87]

	AC	DC	HPC (150 kW a více)
Neregistrovaný zákazník	9 Kč/kWh	11 Kč/kWh	13 Kč/kWh
Registrovaný zá- kazník	6 Kč/kWh	7,5 Kč/kWh	10 Kč/kWh



Obr. 36 E.ON ultrarychlý dobíjecí hub od ABB (Sulejovice, ČR) [88]

3.4 Ionity

Síť veřejných dobíjecích stanic Ionity využívá CCS 2 konektor, jelikož poskytuje dobíjení jen pomocí stejnosměrného proudu s výkonem 150 kW až 350 kW. [89] Firma byla založena skupinou výrobců automobilů na čele s BMW. Spolupracuje také se Shell a OMV, jenž na svých čerpacích stanicích budují nabíječky Ionity. [90] Automobilové společnosti patřící do této skupiny poskytují služby, resp. aplikace, jenž po registraci umožňují levnější nabíjení. Různé ceny platí pro různé společnosti. Elektromobily značky Škoda, jenž také patří do skupiny Ionity, platí po registraci 0,30 €/kWh (7 Kč). [91] Bez registrace je cena za kilowatthodinu 0,79 € (21 Kč). Ionity také nabízí službu Ionity Passport. Jedná se o předplatné na 12 měsíců, jehož cena je 500 Kč na měsíc, přičemž cena za kilowatthodinu klesne na 9 Kč. [92]. V Evropě je momentálně v provozu výše 400 nabíjecích stanic. V České republice se nacházejí pouze 4. [93] Hlavní výhodou sítě Ionity je vysoký výkon nabíjení. Nevýhodou je nízký počet dobíjecích stanic v České republice a vysoká cena za kilowatthodinu v porovnání s jinými provozovateli.



Obr. 37 Ionity dobíjecí stanice (odpočívka Nupaky, ČR) [94]

3.5 Tesla Supercharger

Dobíjecí stanice od společnosti Tesla nejsou zatím velmi rozšířené v ČR. V době psaní je jich v provozu 7. Disponují jenom stejnosměrným dobíjením pomocí konektoru CCS 2 o výkonu 150 kW až 250 kW. [95] Na stanicích v ČR mohou být zatím dobíjeny pouze elektromobily značky Tesla. Postupně je umožňováno dobíjení i jiných značek elektromobilů. Momentálně je to možné ve Francii, Nizozemí a Norsku. Platba u EV, které není značky Tesla je uskutečněna pomocí aplikace Tesla. [96] Dobíjení EV, značky Tesla, pomocí této sítě probíhá tak, že vůz stačí připojit a začít dobíjet. Stav dobíjení je zobrazen v aplikaci Tesla nebo na přístrojovém panelu. Účet Tesla automaticky ukládá historii dobíjení a účtovanou částku. Cena za dobíjení závisí od mnoha faktorů jako je nabíjení v dopravní špičce a mimo dopravní špičku, a proto se může na některých stanicích lišit. [97] Je stanovena na 8,3 Kč/kWh. [98] Poplatek za parkování bez nabíjení je účtován v případě, že je obsazeno alespoň 50 % stanice a řidič neodejde do 5 minut z daného místa. Tento poplatek činí 10 Kč/min. Pokud je obsazeno 100 % míst na stanici, zvyšuje se tento poplatek na 20 Kč/min. [99] Při nákupu vozidla značky Tesla jsou poskytovány kredity na bezplatné nabíjení Supercharging. [100] Hlavní výhodou této sítě, stejně jako u společnosti Ionity, je vysoký výkon nabíjení. Nevýhodou je nízký počet dobíjecích stanic v České republice a také možnost nabíjet jenom elektromobily značky Tesla. Cena za kilowatthodinu při stejnosměrném dobíjení není příliš odlišná od již zmíněných společností.



Obr. 38 Dobíjecí stanice Tesla (Brno, ČR) [101]

4 Způsoby chlazení akumulátoru u EV

S nabíjením bezprostředně souvisí téma akumulátorů. Aby byla zajištěna minimalizace degradace a správná funkce je nezbytné udržovat baterie v určitém teplotním intervalu. Pro Li-ion baterie, jež jsou v elektromobilech nejpoužívanější, je to 15 až 35 °C. [8] Při rychlém dobíjení vzniká v akumulátoru velké množství tepla, jež je potřeba z baterie odvést. Tato kapitola představí způsoby, jež jsou využívány k udržování optimálních teplot. Teda ochlazováním akumulátorů na požadované teploty. Budou představeny způsoby, které jsou využívány k jejich dosažení. A také jejich výhody a nevýhody.

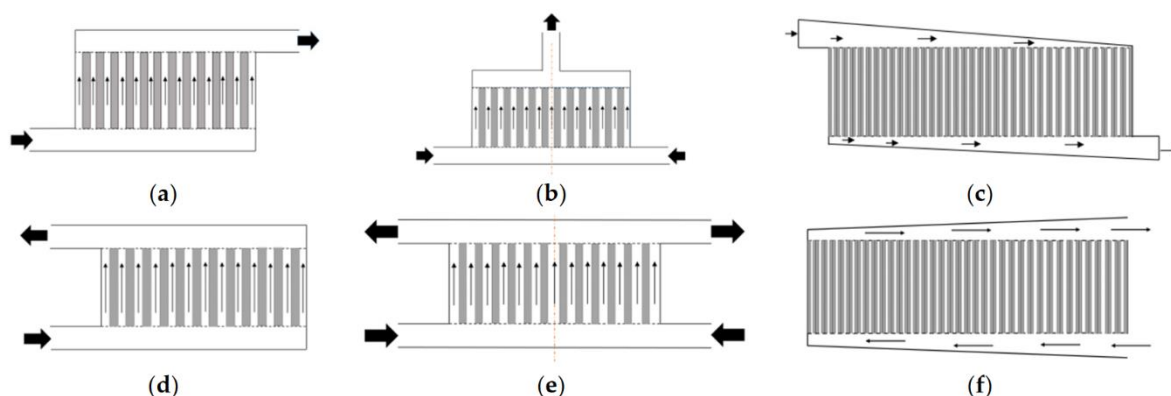
4.1 Chlazení vzduchem

Jako tepelné médium se používá vzduch, jež je přiváděn z okolní atmosféry nebo z kabiny nebo z klimatizace. [102] Existuje několik metod chlazení vzduchem, jež závisí na tom, jestli vzduch proudí přirozené nebo je něčím poháněn.

Jedna z metod chlazení vzduchem je pomocí přirozeného proudění vzduchu. Nejedná se o aktivní metodu chlazení. Jelikož baterie není pořádně chlazena snižuje se dobíjecí výkon. To má za následek snížení množství energie, jež je schopna přijmout. Tento problém nastává hlavně při rychlém DC dobíjení a cestování na dlouhé trasy. Jedním z elektromobilů, jež tuto metodu využívá je Nissan Leaf. [103,104] Vzduch má nízkou tepelnou kapacitu a nízkou tepelnou vodivost, proto je velmi obtížné použít jenom systém s přirozeným prouděním k řízení teploty akumulátoru.

Pro dosažení lepších výsledků jsou používány chladicími systémy s nuceným prouděním vzduchu. Při chlazení vzduchem vzniká v baterii velký tepelný spád. Je-li naším cílem dosáhnout stejného chladicího výkonu jako u chlazení kapalinou, je zapotřebí použít vyšší průtok. [103, 105]

Geometrie průtokových kanálů, konfigurace proudění vzduchu a uspořádání článků jsou aspekty které jsou zkoumány ve vědeckých pracích pro zlepšení chladicího výkonu. Většina se soustředí na vliv dvou a více těchto faktorů na výkon systému řízení teploty baterie. Tím že zkoumají dva a více faktorů naráz, dokážou lépe optimalizovat již fungující systémy. Jednou z hlavních oblastí, jež je také řešena je schéma vstupu a výstupu vzduchu, viz obr. 39. Tento problém je řešen pomocí symetrických systémů s nerovnoměrným rozložením článků a zúženým chladicím potrubím, viz obrázek 39 c), f). [106]



Obr. 39 Schémata chlazení vzduchem [106]

Elektromobily, jež jsou určeny na provoz ve městě mají většinou chlazení vzduchem, a to z důvodu ceny a nižších výkonových nároků. Výhodou této metody je malá hmotnost, jednoduchost a nízká cena systému v porovnání s chlazení kapalinou. Na druhou stranu, nedisponuje takým

chladičím výkonem jako řízení teploty kapalinou a v baterii vzniká velký tepelný spád. V případě pasivního řízení teploty, může dojít k poškození baterie v důsledku nedostatečné optimalizace teploty. [102,103,106,107]



Obr. 40 Nissan Leaf s technologií Rapidgate, jenž využívá přirozený proud vzduchu k chlazení [108]

4.2 Chlazení kapalinou

Další možnost, jak snížit teplotu je použít kapalinu jako médium. Jedná se o nejpoužívanější metodu chlazení. Při tomhle typu chlazení dochází k přímému nebo nepřímému kontaktu mezi kapalinou a moduly⁴ baterie. [107] Neustálá cirkulace kapaliny odvádí teplo vytvářené baterií. Při přímém kontaktu baterie s kapalinou je běžný postup ponořit baterie do kapaliny⁵. Tímto postupem dosáhneme dobré izolace baterie od okolního prostředí. Při vysokých teplotách může v tomhle případě dojít k fázové přeměně média. Tento jev se dá využít použitím materiálů jako hydrogel nebo alginát sodný, jenž pomohou vytvořit tenkou vrstvu vody na povrchu baterie. Pokud k fázové přeměně nedochází, tak je tenhle postup podobný nucenému proudění vzduchu. Pro dosažení optimální teploty je zapotřebí správně navrhnout průtokový kanál. [105,107]

Při nepřímém kontaktu, se používá směs etylenglykolu a vody. Tenhle způsob chlazení lze realizovat několika postupy. Konkrétně se jedná o oddělené trubky kolem každého modulu nebo pouzdro obklopující modul nebo uložení modulu na chladičí, resp. ohřívací desku [102]

Díky dobré stabilitě a bezpečnosti je tato metoda mnohem praktičtější a více používaná pro běžná elektrická vozidla. Chladičí efekt je mnohem větší než u chlazení vzduchem. Odvod tepla je rovnoměrný, bez velkých tepelných spádů. [105,107] Na druhou stranu se jedná o složitější systém, jenž vyžaduje větší množství součástí jako jsou výměníky tepla, čerpadla aj. Tyto komponenty vyžadují náročnější údržbu, jsou dražší na výrobu a odebírají energii z baterie. [122] Je tedy logické že je tenhle typ chlazení umístěn do elektromobilů, jenž mají vyšší nároky na výkon. To se odráží také na ceně vozidla. Také hrozí riziko úniku kapaliny. [102,103,106,107]

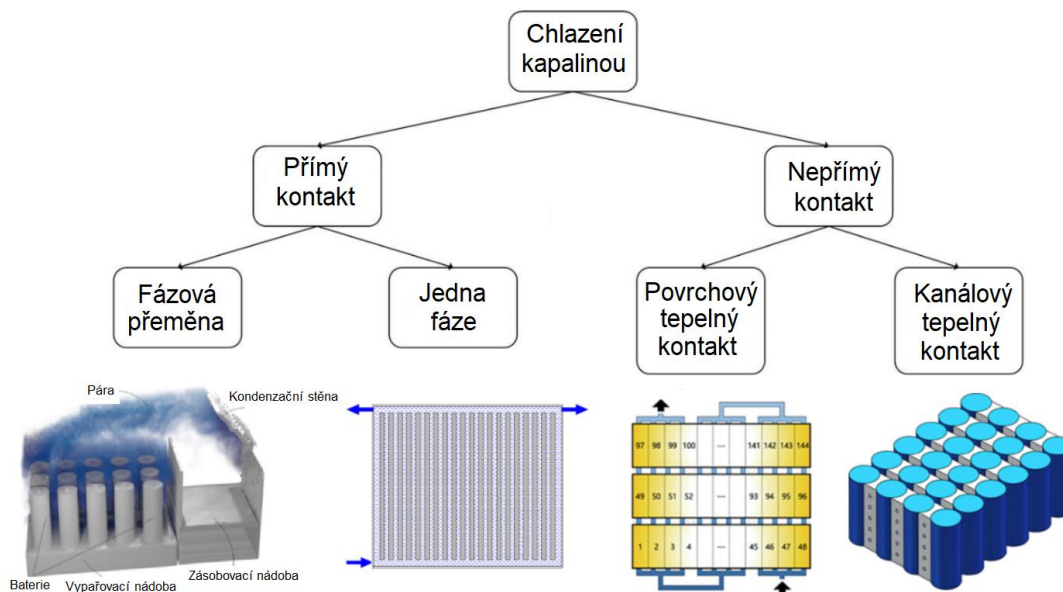
4.3 Materiály s fázovou přeměnou

Materiály s fázovou přeměnou neboli Phase Change Materials (PCM), dokážou absorbovat tepelnou energii a uchovat ji jako skupenské teplo. Přičemž jejich teplota je konstantní. Látky, jenž můžeme zařadit do této kategorie musí mít vysokou kapacitu pro ukládání tepelné energie. Většinou je kombinováno s jiným způsobem řízení teploty baterie – chlazení vzduchem nebo

⁴ Modul je tvořen články, více modulů tvoří baterii. [109]

⁵ Většinou je používán minerální olej, voda nebo směs vody a etylenglykolu [103]

kapalinou. Mezi výhody této metody patří dobrá stabilita, rychlý odvod tepla, vysoká hustota tepelného toku a jednoduchost. Mezi nevýhodu můžeme zařadit, že teplo přijaté při fázové přeměně není snadné rozptýlit do vnějšího prostředí. [102,103,106,107]



Obr. 41 Chlazení kapalinou – rozdělení [106] (upravené)

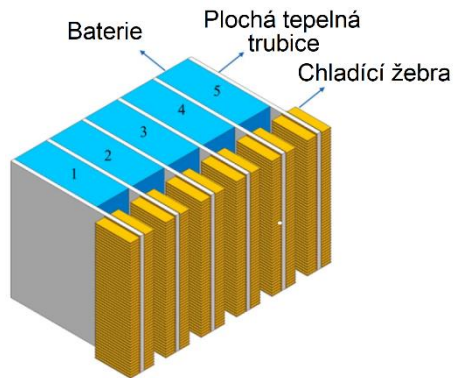


Obr. 42 Vliv PCM na teplotu článku [102] (upravené)

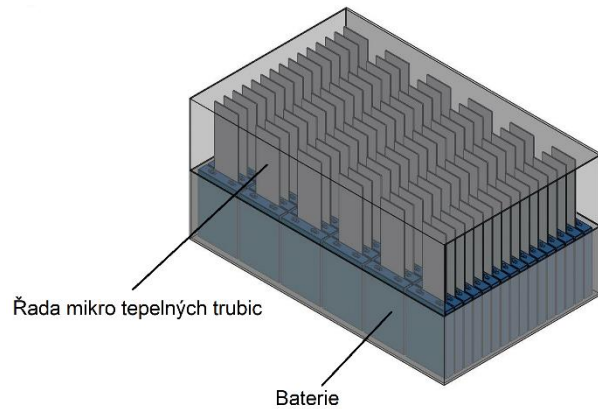
4.4 Tepelná trubice

Poslední metoda, jenž bude uvedena je využití tepelné trubice. Jedná se o pasivní metodu chlazení. V důsledku několika nedostatků je využití této metody pro řízení teploty EV baterií ve fázi výzkumu a nebyla ještě komerčně použita. [107] S její pomocí jsme schopni přenést teplo. Princip spočívá ve změně skupenství média a je poměrně jednoduchý. Jedná se o hermeticky uzavřenou trubici v jejíž nitru se nachází pracovní látka. Ohřevem jednoho konce a ochlazením druhého se začne médium odpařovat, čím se zvýší tlak. Páry začnou na chlazeném koci kondenzovat a odevzdávají teplo, jenž bylo spotřebováno k odpaření, do okolního prostředí. Zkondenzovaná kapalina se vzlíná nebo teče zpátky na ohřátý konec. Tenhle cyklus se pořád

opakuje. Podle studií [110,111] jsou preferovány dva typy tepelných trubice. Plochá tepelná trubice a mikro tepelná trubice. Tato metoda se dá vylepšit použitím pulzující tepelné trubice. To nám zajistí že trubice není skoro vůbec ovlivněna gravitací. Další vylepšení by spočívalo v použití nuceného chlazení vzduchem nebo chlazení kapalinou ke zlepšení odběru tepla na chladném konci trubice. Kombinací těchto metod dostaneme hybridní systém řízení teploty energie. Výhody této metody jsou spolehlivost, bezpečnost, vysoká tepelná vodivost, vysoká účinnost odvodu tepla. Nevýhody jsou nepraktická instalace, komplikovaná struktura, obtížné řízení množství média a vysoká cena. [102,103,106,107]



Obr. 43 Využití ploché tepelné trubice [110] (upravené)



Obr. 44 Využití mikro tepelné trubice [111] (upravené)

5 Degradace akumulátorů u EV

Jedním s nejčastěji řešených problémů spojeným s elektromobilitou je životnost baterií. Lidé jsou pořád k elektromobilům skeptičtí, a to i z důvodu degradace baterie a následné nutnosti koupit novou baterii. Pokud mají být elektromobily tak atraktivní pro řidiče jako vozidla s vnitřním spalováním, životnost baterie by měla být srovnatelná s životností vozidla. Za degradaci baterie považujeme míru ztráty kapacity energie akumulátoru.

V elektromobilech se používají převážně Lithium-ionové baterie (Li-ion baterie). Ty se rozdělují podle chemického složení. Konkrétně se jedná o Lithium titan oxid (LTO), Lithium kobalt (LCO), Lithium mangan (LMO), Lithium nikl mangan kobalt (NMC), Lithium železo fosfát (LFP), Lithium nikl kobalt aluminium (NCA). Jejich chemické složení také ovlivňuje životnost baterie. [112,113] Konec životnosti baterie je stanoven na 80 %. Respektive, když baterie už není schopna přijmout více než 80 % ze své původní kapacity, tedy ze 100 %. [114] Pokud tato situace nastane, je doporučováno vyměnit baterii.

5.1 Tepelná degradace

Jak již bylo řečeno v kapitole 4, baterie nejlépe pracují v teplotním intervalu 15-35 °C. Dokážou bezpečně pracovat v intervalu -10 až 50 °C. [115] Ovšem jak velmi nízké, tak velmi vysoké teploty na hranicích tohoto intervalu činí nabíjecí proces mnohem namáhavějším a v některých případech škodlivým pro baterii. Teplota má vliv hlavně na chemické reakce a materiály v bateriích.

Nízké teploty

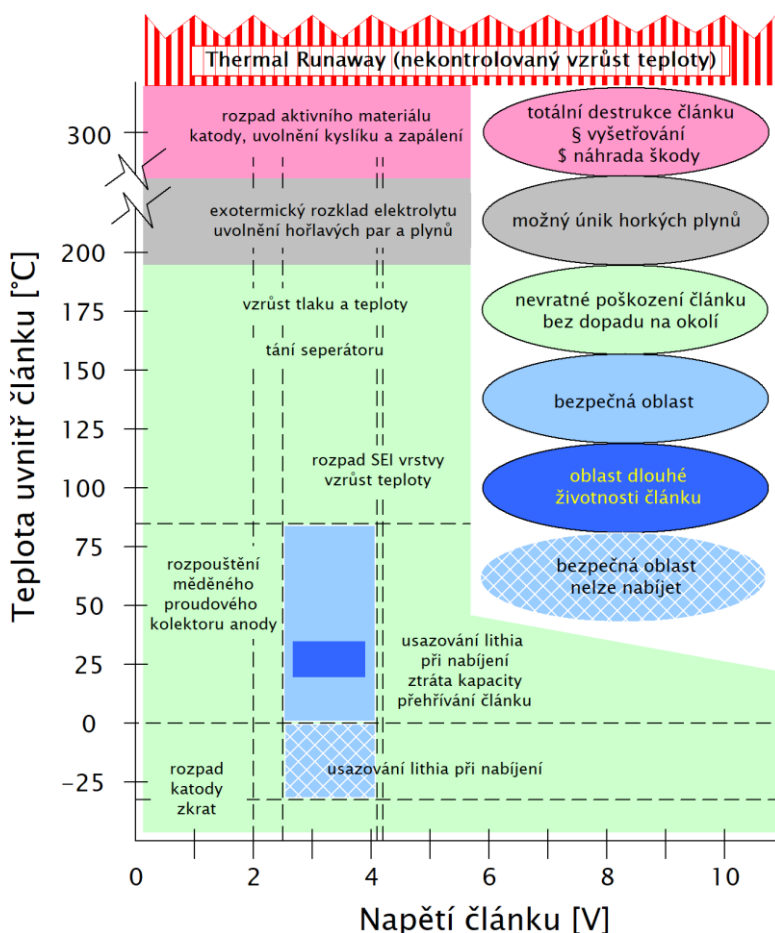
Pro rozšíření elektromobilů je podstatné, aby byla jejich správná funkce zajištěna i v zemích kde se teploty v zimě pohybují i pod bodem mrazu. Nízké teploty totiž představují problém pro spolehlivou funkci a životnost akumulátoru. Bylo zjištěno, že při teplotách pod 0 °C dochází k zvýšení vnitřního odporu článku což způsobuje snížení kapacity Li-ion baterie.[115] Nastává zpomalení chemických reakcí, co vede k snížení vodivosti v elektrolytu a snížení difuzivity uvnitř elektrod. [116] Při těchto teplotách dochází také k snížení stavu nabití⁶. Snížení představovalo přibližně 7 až 23 %. A také dochází k snížení měrného výkonu a energie baterie. [115] Studie [117] prokazuje, že v provozu při nízkých teplotách dochází k namáhání baterie což vede k pracovním omezením. Další studie [105] poukazuje na poškození Li-ion baterií, způsobené nabíjením při teplotách pod 0 °C, jenž může vést k degradaci. Při teplotě -10 °C může v některých případech dojít redukci hustoty energie až o 95 % a redukci měrného výkonu o 98,75 %, oproti 20 °C. [118] Takový pokles kapacity je pro elektromobily nepřijatelný. Proto jsou do vozidla instalovány systémy řízení teploty baterie, jenž mají zabránovat poklesu teploty baterie na zmíněnou teplotu.

Vysoké teploty

Nízké teploty jsou způsobeny prostředím, v kterém se baterie nacházejí. Na druhou stranu, vysoké teploty jsou způsobeny samotnou baterií. Konkrétně chemickými reakcemi při vybíjení, nabíjení a také při přenosu náboje. [106] Jejich řízení je proto komplikovanější než u nízkých teplot. Pro zajištění bezpečnosti a dlouhé životnosti je zapotřebí udržovat maximální teplotu baterie v rozmezí 45-50 °C. Tenhle požadavek je nutný k stabilizování vrstvy různých chemických sloučenin vytvořených mezi katodou a anodou tzv. SEI vrstvy (Solid Electrolyte Inter-

⁶ State of charge (SOC), což je momentální stav nabití akumulátoru. Určuje se v procentech a jedná se o úroveň nabití vztahenou ke kapacitě baterie.[115]

face). Vytváří se na povrchu anody a zvyšuje vnitřní impedanci. Musí být chemicky stabilizována, aby se zabránilo jejímu růstu. [119,120,121] Kvalita této vrstvy ovlivňuje jmenovitou kapacitu, počet cyklů, bezpečnost a nevratnou ztrátu kapacity Li-ion baterie. [122] Vysoké teploty způsobují stratu lithia a snižování množství aktivních složek co má za následek stratu kapacity baterie. Také způsobují nárůst vnitřního odporu, co má za následek stratu energie. Je nutné mít teplotu pod kontrolou jinak může dojít k tepelnému úniku (thermal runaway) co může vést k samovznícení či k explozi, viz obr. 45. [116] Pro zajištění optimálních teplot jsou využívány různé způsoby chlazení viz kapitola 4. Vysoké teploty také reguluje systém řízení teploty, který omezí tepelnou degradaci. Při rychlém nabíjení dochází k značnému zvýšení teploty ba-



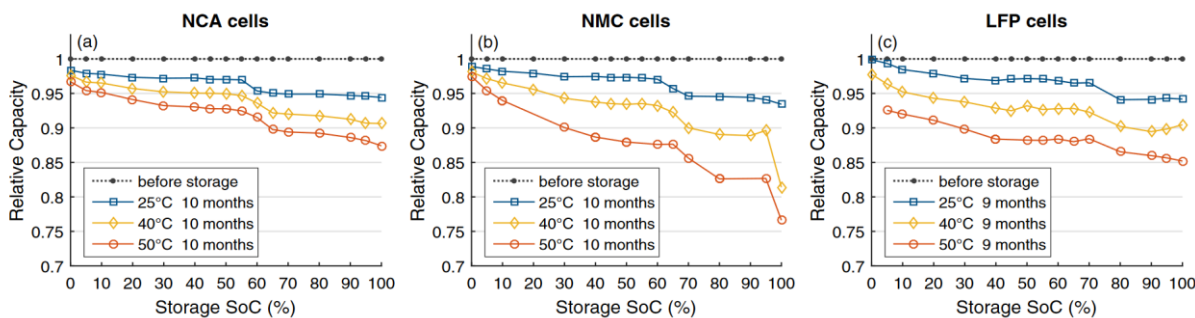
Obr. 45 Vliv teploty a napětí článku na stav baterie [114]

terie, co může vést k její degradaci. Pro udržení určité životnosti je potřebné vyhnout se mu, pokud je to možné. [123]

5.2 Časová degradace

Nazývaná také „Calendar aging“, zahrnuje všechny procesy, jenž degradují baterii kromě cyklické degradace. Nastává, když je baterie v klidovém stavu, tedy když jí neproudí žádný proud. Vývoj pasivačních vrstev na rozhraní elektroda-elektrolyt je základním mechanismem časové degradace. [124] V důsledku rozkladu elektrolytu se lithium, jenž je nutné pro cykly, spotřebuje na tvorbu, růst a rekonstrukci pasivačních vrstev. Dále také vzniká SEI vrstva na anodě. Tyto projevy závisí na teplotě a stavu nabití baterie. Jelikož zkoumání této degradace je poměrně časově a finančně nákladné, byli vytvořeny modely, jenž simulují podmínky v elektromobilu. Například studie [124], jenž zkoumala degradaci (stárnutí) bateriových článků při různých teplotách a v různých stavech nabití. Jednalo se o 16 baterií se stavem nabití 0-100 % při teplotách

25 °C, 40 °C a 50 °C po dobu 9-10 měsíců. Byly použity články typu NCA, NMC a LFP. Výzkum ukázal že při vyšších teplotách byla časová degradace výraznější. Co se týče stavu nabití tak, degradace výrazně vzrostla při 60 %. Avšak nebyla prokázána lineární, exponenciální nebo polynomičká závislost mezi stavem nabití a časovou degradací. Jelikož, v intervale 0-100 % stavu nabití bylo 20-30 % tvořeno ustálenou úrovní degradace. Další práce [125], jenž také zkoumala degradaci při různých teplotách a stavu nabití se dopracovala k podobným výsledkům. Pokud se tedy chceme časové degradaci vyhnout je potřebné nenechávat baterii ve vysokém stavu nabití a při vysokých teplotách, pokud elektromobil delší dobu nepoužíváme. [123]



Obr. 46 Vliv stavu nabití, času a teploty na kapacitu baterie [124]

5.3 Cyklická degradace

Další z řady degradací je ta způsobena nabíjecími, resp. vybíjecími cykly. Na rozdíl od časové degradace, cyklická degradace nastává, když baterii přechází proud. Cyklus lze charakterizovat jako změnu toku energie. Když baterii dobíjíme tak energii dodáváme a když ji vybíjíme tak energii odebíráme. Jeden plný cyklus baterie představuje její nabití na 100 % a následné vybití na 0 %. Lze ho dosáhnout bez úplného vybití baterie na 0 %. Pokud je baterie vybita na 50 % a poté je nabitá na 100 %, jedná se o polovinu cyklu. [114,126] Existují různé typy cyklů viz obr. 47.

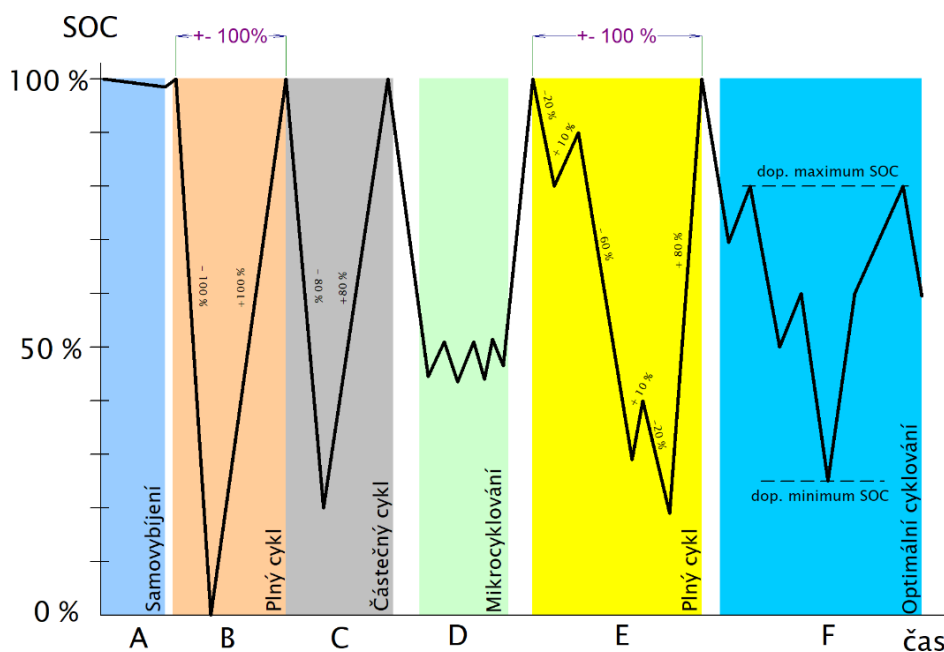
Jedním z hlavních faktorů, jenž ovlivňuje životnost je hloubka vybití baterie⁷. Stav nabití (SOC) je rovný rozdílu 100 % kapacity baterie a hloubky vybití baterie (DOD), viz rovnice (3). [139] Lithiové baterie jsou schopny pracovat do stavu nabití 15 % bez razantního snížení životnosti. Cykly, jež jsou ukončeny při hloubce vybití 85 % a víc, poškozují baterii. Také je důležité, jak dlouho se baterie v téhle hloubce vybití nachází. [123]

$$SOC(\%) = 100\% - DOD(\%) \quad (3)$$

Během nabíjení a vybíjení, materiál anody přijímá a odevzdává lithiový materiál. Množství lithiového materiálu se liší. Rozdíly v množství způsobují oslabení krystalicky strukturované anody. Tyto rozdíly budou mnohem větší při hlubokém vybití baterie, což bude mít za následek vznik mikro-prasklin na anodě. Tenhle jev umožní více částicím anody kontakt s elektrolytem což způsobí vytvoření SEI vrstvy. Která zvýší vnitřní odpor baterie a také spotřebuje určitou část lithia na svou formaci, čím vznikne nevratná ztráta kapacity. Velké množství cyklů v spojení s velkou hloubkou vybití způsobuje ztrátu aktivního materiálu. [123,127]

⁷ Deep of discharge (DOD). Představuje procentuální hodnotu vybití energie. [114]

Cyklickou degradaci se lze do určité míry omezit, a to tím že se vyhneme nabíjení baterie na 100 % a hlubokému vybíjení. Ideálně je udržovat stav nabití baterie v rozsahu 20-80 %.[123] Někteří prodejci uvádí kapacitu v kilometrech nebo právě v počtu cyklů. Tesla Model 3 je navržena tak, aby baterie vydržela 400000 mil (cca 640000 km) nebo 1500 nabíjecích cyklů, než kapacita klesne na 80 % . [128]



Obr. 47 Typy cyklů [114]

5.4 Degradace způsobená nabíjením

Tato práce se zabývá rychlým nabíjením a jeho výhodami. Jako například krátká doba nabití. Ale tento proces přináší i negativa. Jedním z nich je vliv vysokých proudů na akumulátor. Pro nabíjení platí, že životnost baterie bude delší, pokud je nabíjecí proud co nejmenší. Povolená velikost proudu je určovaná hlavně konstrukcí baterie.

Nadměrný proud způsobuje špatnou rovnoměrnost rozložení proudu a ta vede k nekonzistentní deformaci struktury a také k vzniku lokálního lithiového pokovování. Rychlá interkalace a deinterkalace lithia na povrchu částic je podporována nadměrných proudem, a to může způsobit únavu nebo poškození struktury aktivního materiálu. Další způsob, jak rychlé nabíjení ovlivňuje degradaci je to, že omezuje rychlost migrace lithiových ionů, což může způsobit usazování lithia. Svorkové napětí a vnitřní potenciál baterie jsou také ovlivňovány proudem. Vytvářejí související vedlejší reakce, jenž snižují životnost. Baterii může ovlivnit i výrazný nárůst teploty, způsobený velkou rychlostí nabíjení a vybíjení. Jelikož proud taktéž vytváří Joulovo teplo. Systém řízení baterie dokáže kontrolovat a upravovat velikost proudu a tím omezit degradaci. [129] Dalším z jevů, jenž se vyskytují při nabíjení a negativně působí na životnost baterie je přebíjení – opak hlubokého nabíjení. Jedná se o stav, kdy je baterie nabita na 100 % ale pořád do ní proudí proud. To způsobuje tvorbu dendritu na anodě a také náhlé zvýšení napětí, co má za následek nárůst vnitřního napětí baterie. Dochází také k zvýšení teploty, jenž může způsobit tepelný únik. [123].

DISKUZE

V první kapitole jsme zjistili že rychlé nabíjení je uskutečňováno pomocí stejnosměrného proudu. Současný stav poznání se s naším zjištěním shoduje. Nabíjení stejnosměrným proudem pracuje s dostatečnými nabíjecími výkony. Ztráty jsou porovnatelné s dobíjením střídavým proudem a jsou mnohem menší oproti indukčnímu nabíjení. Je těžké předpokládat, nakolik snížení času dobíjení ovlivní zájem o elektromobily, jelikož existuje řada dalších faktorů, jež mají větší vliv na spotřebitele, jako například celková cena vozidla.

Technologie DC dobíjení jsou komplexnější než technologie AC dobíjení, protože je zapotřebí implementovat více komponentů do nabíjecí stanice. Chlazení je také vyžadováno pro optimální průběh nabíjení a omezení důsledku generování tepla v komponentech systému dobíjení. Z dostupných zdrojů vyplývá že, nejrozšířenější technologií je GB/T, jenž je dostupná převážně v Číně. Nejvyšší dobíjecí výkon, který je reálně používán v dobíjecích stanicích, má technologie CCS 2. Pokud bereme v úvahu i technologie ve fázi vývoje, tak největší výkon dosahuje technologie Megacharger. Můžeme předpokládat, že v budoucnu se výkony pro osobní elektromobily ještě zvýší, co bude mít za následek další zkrácení nabíjecí doby. Ze zjištěných dat lze vidět snahu jednotlivých společností docílit jednoho standardu pro všechny, viz ChaoJi. Pokud by byl vytvořen jeden celosvětově používaný standard, zjednodušil by se celý proces nabíjení nejen pro řidiče ale také pro výrobce elektromobilů a také provozovatele dobíjecích stanic. Po vypracování přehledu technologií stejnosměrného nabíjení lze říct, že i když existuje jen pár metod rychlého nabíjení i to je moc oproti tankování paliva. Jelikož natankovat lze na každé benzínové stanici a čerpací pistole jsou zcela unifikovány.

Co se týče dobíjecí infrastruktury v ČR, ta oproti ostatním státům EU zaostává, avšak jednotlivý provozovatelé rapidně instalují nové nabíjecí stanice. Míst disponujících nabíjením pomocí stejnosměrného je relativně málo, avšak jsou umístěovány na strategická místa, kde řidiči využijí tento způsob nabíjení nejefektivněji. Jedná se například o odpočívadla na dálnici, kde si mohou řidiči odpočinout, zatím co se jejich elektromobil nabije. Byly představeny tři největší provozovatelé těchto stanic (ČEZ, PRE, E.ON). Ze zjištěných dat lze tvrdit že mají přibližně stejnou infrastrukturu, ceny a nabíjecí výkony. Také byla uvedena společnost Ionity jenž se specializuje na rychlé dobíjení. Určité značky elektromobilů, které patří do skupiny provozovatelů této sítě platí méně než externí uživatelé. Jelikož je Tesla největší výrobce EV na světě, byla také popsána síť nabíjecích stanic Tesla Supercharger. Majitel Tesly zaplatí na těchto stanicích přibližně stejnou sumu jako na stanicích provozovaných čtyřmi výše uvedenými provozovateli. V ČR je používání těchto stanic v současné době omezeno pro EV této značky, co je její hlavní nevýhoda. Ve Francii, Nizozemí a Norsku se testuje pilotní program otevření pro externí značky.

Typ chlazení baterií závisí hlavně od účelu vozidla. Pokud je jejím hlavním cílem provoz po městě nebo na kratší vzdálenosti postačí použít aktivní chlazení vzduchem případně pasivní chlazení. Tyto vozidla cílí na co nejnižší cenu a instalace lepšího způsobu chlazení by je zdražila. Metoda pasivního chlazení však není pro většinu elektromobilů postačující. Proto se využívá nuceného proudění vzduchu a tím se zlepší odvod tepla. Tato metoda je řešena více způsoby s odlišnou komplexností a účinností, viz kapitola 4.1. Vozidla určená na delší tratě nebo na namáhavější provoz ovšem vyžadují lepší systém chlazení, tj. chlazení kapalinou. Kapalina má několikanásobně větší tepelnou kapacitu a tepelnou vodivost než vzduch. Čím se razantně zvýší účinnost systému. Nevýhodou je složitost a nákladnost řešení a instalace takého systému. Celkově se ovšem jedná o velmi stabilní a bezpečnou metodu chlazení, co má za následek její rozšíření. Teoreticky by šlo zvýšit účinnost chladicího systému implementací tepelných trubnic nebo materiálů s fázovou přeměnou.

Poslední kapitola se zabývala degradací baterií. Degradace je urychlována několika činiteli. Co se týče teploty tak nízké teploty jsou závislé hlavně na okolním prostředí. Vliv těchto

teplot se dá poměrně snadno eliminovat. Na druhou stranu vysoké teploty jsou způsobeny převážně procesy, jež probíhají v baterii. Proto je mnohem obtížnější minimalizovat jejich dopad na baterii. Teploty, jež nejsou optimální, negativně ovlivňují materiály a procesy v bateriích. Při vysokých teplotách mimo doporučený interval může dojít k trvalému poškození baterie. Pokud baterií momentálně neprochází žádný proud, podléhá časové degradaci. Ta je závislá na stavu nabití, teplotě a časové délce ve které je baterie ve stavu nečinnosti. Z dat vyplývá že vysoké teploty v kombinaci s vysokým stavem nabití a velkým časovým úsekem mají negativní vliv na relativní kapacitu baterie. Také jsme zjistili, že pro omezení degradace je důležité pracovat s baterií se stavem nabití mezi 20 až 80 %. V tomto intervalu pracují baterie nejlépe. Přebíjení a hluboké vybíjení a také podporují degradaci. Jedním z aspektů rychlého DC nabíjení je použití velké hodnoty proudu. To nám umožňuje nabíjet s vysokými výkony, ovšem takto velké proudy mohou způsobit poškození struktury aktivního materiálu. Dalším problémem vznikajícím při rychlém nabíjení je vznik Jouleovho tepla. Můžeme tedy říct, že rychlé DC nabíjení není velmi vhodné pro vozidla, které nejsou schopné plně uchladit ztrátový výkon.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce měla za cíl popsat rychlé nabíjení elektromobilů a také aspekty, které s ním souvisí. Po vypracování přehledu dobíjecích technologií jsme došli k závěru, že do kategorie rychlého nabíjení zařadíme nabíjení pomocí stejnosměrného proudu. Jelikož tenhle způsob nabíjení disponuje požadovaným výkonem. Za 30 minut jsme schopni pomocí technologie CCS 1 nabít 75 kWh, pomocí technologie CCS 2 nabít 175 kWh, pomocí technologie CHAdeMO nabít 75 kWh, pomocí technologie GB/T nabít 62,5 kWh, pomocí technologie ChaoJi nabít 450 kWh, pomocí technologie Supercharger nabít 125 kWh a pomocí technologie Megacharger nabít 750 kWh. Nabíjení pomocí střídavého proudu také disponuje určitými výhodami, ale pokud se jedná čistě o rychlost nabíjení tak je nabíjení střídavým proudem mnohem lepší. Tento způsob je ale omezen dostupností nabíjecích stanic, která ale v posledních letech rychle roste. Co se týče indukčního nabíjení, tak tato metoda v některých případech dosahuje potřebného nabíjecího výkonu, který dokáže nabít elektromobil za 30 minut. Problém je ale v tom že dochází k poměrně vysokým tepelným ztrátám. Další problém spočívá v tom že, počet nabíjecích míst disponující touto technologií je mizivý. Je téměř jisté že v budoucnu počet elektromobilů překoná počet aut se spalovacím motorem. Avšak je sporné, jestli zkrácení doby nabíjení tomuto jevu pomůže. Protože zájem o elektrická vozidla nezávisí pouze na rychlosti nabíjení ale také na ceně, dojezdu, rozmanitosti modelů a rozvinutosti nabíjecí infrastruktury.

V druhé kapitole jsme provedli přehled současných a také experimentálních technologií stejnosměrného nabíjení. V různých částech světa jsou využívány jiné technologie, z nichž bylo vybráno šest. Mezi nejrozšířenější patří GB/T, CHAdeMO a CCS. Všechny disponují výkonem, jenž umožňuje nabít EV za poměrně krátkou dobu. Jak dokazují konektory ChaoJi a Megacharger, výrobci se snaží zdokonalovat jednotlivé koncepty, s cílem dosáhnout co nejvyššího nabíjecího výkonu a minimalizace ztrát. Také je snaha zjednodušit a zefektivnit celý proces pro řidiče a výrobce. Co se týče nevýhod tak za ty můžeme považovat drahé nabíjecí stanice a větší namáhání baterie v důsledku použití většího proudu.

Rychlé nabíjení je pro řidiče atraktivní a provozovatelé si to uvědomují. Proto počet stanic schopných rychlého nabíjení neustále roste. Ovšem, v ČR se rychlonabíjecí infrastruktura rozvíjí jen pomalu. Tři největší provozovatelé těchto stanic (ČEZ, PRE, E.ON) mají přibližně stejné nabíjecí výkony, infrastrukturu a ceny. Společnost Ionity je výhodná jen pro majitele EV určitých značek. Zatím co majitelé elektromobilů od značek, jež nepatří do jejich skupiny budou platit více než u již zmíněných třech největších provozovatelů. Pro majitelé elektromobilů značky Tesla je nejlepší a nejzjednodušší způsob nabíjení na stanicích Supercharger. Jelikož platba a všechna komunikace probíhá automaticky po připojení EV ke stanici a zároveň tyto stanice pracují s nabíjecími výkony porovnatelnými s jež zmíněnými provozovateli.

Vypracovali jsme přehled způsobu chlazení elektromobilů. Došli jsme k závěru, že chlazení závisí na účelu použití vozidla a ceně, jenž chce výrobce dosáhnout. Chlazení kapalinou je efektivnější, než chlazení vzduchem ale je i dražší. Pokud má výrobce v plánu vytvořit cenově dostupný elektromobil, jenž bude používán na provoz ve městě, není cenově výhodné instalovat dražší systém chlazení, když chlazení vzduchem bude stačit. Pokud se ale jedná o větší vozidlo, které bude využíváno na delší cesty, je potřebné vybavit ho chlazením pomocí kapaliny. Použitím tepelných trubic nebo materiálů s fázovou přeměnou bychom teoreticky dosáhli ještě větší účinnosti.

V poslední kapitole jsme určili čtyři hlavní typy degradace, jenž snižují životnost baterií. Teplota je jedním z klíčových parametrů, jež ovlivňuje chemické reakce a materiály v baterii, to má za následek snížení životnosti. Jak velmi vysoké, tak velmi nízké teploty mají negativní dopad na baterii. Časová degradace je způsobena teplotou, stavem nabití a dobou nečinnosti baterie. Probíhá právě tehdy, když baterií neprochází žádný proud. Z dat vyplývá že, vysoká

teplota v kombinaci s vysokým stavem nabití a dlouhou dobou nečinnosti působí negativně na relativní kapacitu baterie. Tento typ degradace je také ovlivněn chemickým složením baterie. Každá baterie je vyráběna tak, aby vydržela určitý počet cyklů. Pokud chceme mít co nejdelší životnost baterie je zapotřebí aby byly tyto cykly provozovány v rozmezí 20-80 % stavu nabití. Je doporučeno se vyhýbat hlubokému vybití a také přebíjení. Velkost nabíjecího proudu také negativně ovlivňuje životnost baterie. Použitím velkých hodnot proudu dosáhneme většího nabíjecího výkonu, co nám umožní nabít baterii rychleji, ale také dochází k nekonzistentním chemickým reakcím v baterii. Při vyšších výkonech dochází také k vzniku Jouleova tepla, co považujeme za nežádoucí jev. Pro udržení životnosti, je proto doporučeno využívat rychlé nabíjení méně často než pomalé AC dobíjení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Európska zelená dohoda: Snaha stať sa prvým klimaticky neutrálnym kontinentom. In: Európska komisia [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sk
- [2] ACCELERATING THE EVOLUTION: The tipping points to mainstream electric vehicle adoption. In: Castrol [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.castrol.com/content/dam/castrol/master-site/en/global/home/technology-and-innovation/electric-vehicle-adoption/accelerating_the_evolution_study.pdf
- [3] CHAU, K.T. Pure electric vehicles. *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance* [online]. Elsevier, 2014, 2014, s. 655-684 [cit. 2022-04-24]. ISBN 9780857095220. Dostupné z: doi:10.1533/9780857097422.3.655
- [4] Electric Vehicle and EV charging fundamentals. In: *Electrical Installation Wiki* [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_Vehicle_and_EV_charging_fundamentals
- [5] JAR, Ben, Neville WATSON a Allan MILLER. Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger: Conference: Electricity Engineers' Association Conference [online]. June 2016 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/319162700_Rapid_EV_Chargers_Implementation_of_a_Charger
- [6] JANG, Young, Seungmin JEONG a Min LEE. Initial Energy Logistics Cost Analysis for Stationary, Quasi-Dynamic, and Dynamic Wireless Charging Public Transportation Systems. *Energies* [online]. 2016, **9**(7) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en9070483
- [7] MOULI, Chadra. Charging electric vehicles from solar energy: power converter, charging algorithm and system design [online]. Delft University of Technology, 2018 [cit. 2022-04-22]. ISBN 978-94-6186-901-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.4233/uuid:dec62be4-d7cb-4345-a8ae-65152c78b80f>. Disertační práce. Delft University of Technology.
- [8] BIBIN, Chidambaranathan, M. VIJAYARAM, V. SURIYA, R. SAI GANESH a S. SOUNDARRAJ. A review on thermal issues in Li-ion battery and recent advancements in battery thermal management system. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2020, **33**, 116-128 [cit. 2022-04-25]. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2020.03.317
- [9] WIESENFELDER, Joe. What Is Level 1, 2, 3 Charging?. In: *Cars* [online]. Cars, © 2022. 26 July 2021 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.cars.com/articles/what-is-level-1-2-3-charging-437766/>
- [10] KHALID, Mohd Rizwan, Irfan A. KHAN, Salman HAMEED, M. Syed Jamil ASGHAR a Jong-Suk RO. A Comprehensive Review on Structural Topologies, Power Levels, Energy Storage Systems, and Standards for Electric Vehicle Charging Stations and Their Impacts on Grid. *IEEE Access* [online]. 2021, **9**, 128069-128094 [cit. 2022-

- 04-22]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2021.3112189
- [11] Charging Levels - Plug-in NC. In: Plug-in NC [online]. Plug-in NC [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://pluginncc.com/charging-levels/>
- [12] Režimy nabíjení - Autonabijeni.cz. In: Autonabíjení.cz - Vše pro Váš elektromobil [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/rezimy-nabijeni/>
- [13] IEC 61851. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61851
- [14] Řízení nabíjení elektrických vozidel - Ohřev TV, FVE, nabíjení EV. In: Teco Wiki [online]. Teco. © 2022 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://wiki.tecomat.cz/clanek/58-řízení-nabijeni-elektricky-ch-vozidel>
- [15] IEC 62196. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196#IEC_62196-1
- [16] SAE J1772. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
- [17] SAE J1772 AC Level 2 Charging Coupler. In: BizLinkTech [online]. © 2022 BizLink Group [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.bizlinktech.com/products/detail/1166/SAE+J1772+AC+Level+2+Charging+Coupler>
- [18] Type 2 connector. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector
- [19] Useable battery capacity of full electric vehicles cheatsheet - EV Database. In: Compare electric vehicles - EV Database [online]. ©2022 EV Database [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>
- [20] Type 3 Charging Cables. In: Cable Soolutions Shop. [online]. © 2022 Soolutions Shop [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.cablesolutions.shop/en/charging-cables/type-3-charging-cables/>
- [21] Type 3 Tesla charging cable - 3-phase - 32A. In: EV Chargeking [online]. EV Chargeking, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.evchargeking.com/en/t3-t2-tesla-charging-cable-3-phase-32a>
- [22] GATON, Bryce. Why is Tesla charging different?. In: The Driven [online]. © October 10, 2018 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://thedriven.io/2018/10/10/tesla/>

- [23] Charging Your Electric Motorcycle - Energica UK. In: Official Energica UK - High performing electric motorcycles [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://energica-motorcycles.co.uk/charging-your-electric-motorcycle/>
- [24] MENNEKES Automotive. In: Mennekes International [online]. MENNEKES © 2022 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.mennekes.org/company/about-us/mennekes-automotive/>
- [25] MOBILE PLUG LIBERA 32A 3P+N+E+2pilots. In: SCAME E-Mobility [online]. © 2019, Scame Parre S.p.a. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://e-mobility.scame.com/en/products/e-mobility/connection/connectors/type-3c-3pne2pilots/plugs/200-33233>
- [26] 3.1.2 Lecture Notes: Introduction to Charging Methods of EVs. In: TU Delft OpenCourseWare [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/electric-cars-technology-17/>
- [27] DENTON, Tom. Electric and hybrid vehicles. 2nd edition. London: Routledge, Taylor & Francis Group, 2020. ISBN 978-0-367-27323-1.
- [28] KANE, Mark. SAE Approves Wireless Charging Standard - TIR J2954. In: InsideEVs [online]. May 28, 2016 [cit. 2022-04-23]. <https://insideevs.com/news/330928/sae-approves-wireless-charging-standard-tir-j2954/>
- [29] AC Charging of electric vehicles (Infeneon4Engineers) In: YouTube [online]. © 2022 Google LLC [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://youtu.be/Q3kFWwWQdOg>
- [30] BURKERT, Amelie, Heiko FECHTNER a Benedikt SCHMUELLING. Interdisciplinary Analysis of Social Acceptance Regarding Electric Vehicles with a Focus on Charging Infrastructure and Driving Range in Germany. World Electric Vehicle Journal [online]. 2021, 12(1) [cit. 2022-04-23]. ISSN 2032-6653. Dostupné z: [doi:10.3390/wevj12010025](https://doi.org/10.3390/wevj12010025)
- [31] NEVES, A., et al. Analysis of an inductive charging system for a commercial electric vehicle. In: Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications. IEEE, 2011. p. 1-10. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6020369>
- [32] GRAZIAN, Francesca, Wenli SHI, Thiago B. SOEIRO, Jianning DONG, Peter VAN DUIJSEN a Pavol BAUER. Compensation Network for a 7.7 kW Wireless Charging System that Uses Standardized Coils. In: 2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) [online]. IEEE, 2020, 2020, s. 1-5 [cit. 2022-04-23]. ISBN 978-1-7281-3320-1. Dostupné z: [doi:10.1109/ISCAS45731.2020.9181016](https://doi.org/10.1109/ISCAS45731.2020.9181016)
- [33] PANCHAL, Chirag, Sascha STEGEN a Junwei LU. Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system. Engineering Science and Technology, an International Journal [online]. 2018, 21(5), 922-937 [cit. 2022-04-23]. ISSN 22150986. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jestch.2018.06.015](https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.06.015)

- [34] Wireless Charging in Action. In: Momentum dynamics [online]. Momentum Wireless Power, © 2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://momentumdynamics.com/solution/>
- [35] RYAN, John. Hidden wireless technology keeps buses moving in this rural Washington town. In: Kuow [online]. KUOW News and Information, © Sep 08, 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuow.org/stories/hidden-wireless-technology-keeps-buses-moving-in-this-rural-washington-town>
- [36] KUPKA, Tomáš. Univerzální bezdrátové nabíjení elektromobilů. In: Elektro: časopis pro elektrotechniku [online]. FCC Public, © 25. 3. 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/univerzalni-bezdratove-nabijeni-elektromobilu--5959>
- [37] BARZDUKAS, Amy. Wireless v. wired charging for EVs: why the efficiency is comparable. In: WiTricity [online]. WiTricity Corporation, © February 23, 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://witricity.com/newsroom/blogs/what-is-efficiency-how-do-you-measure-it-and-why-should-you-care/>
- [38] DI PAOLO EMILIO, Maurizio. Wireless Charging Technology for EVs. In: Powerelectronicsnews [online]. Aspencore, May 27, 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.powerelectronicsnews.com/wireless-charging-technology-for-evs/>
- [39] Typy konektorov pre nabíjanie EV vo svete. In: EVEXPERT [online]. 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.evexpert.sk/eshop1/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete>
- [40] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva (Text s významem pro EHP) (OJ L 307 28.10.2014, p. 1, CELEX: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=SK>)
- [41] SUAREZ, Camilo a Wilmar MARTINEZ. Fast and Ultra-Fast Charging for Battery Electric Vehicles – A Review. In: 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 569-575 [cit. 2022-04-23]. ISBN 978-1-7281-0395-2. Dostupné z: doi:10.1109/ECCE.2019.8912594
- [42] Charin [online]. CharIN e. V., ©2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.charin.global/>
- [43] CCS charging points around the world. Charin [online]. CharIN e. V., © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.charin.global/technology/dashboard/>
- [44] Nabíjecí kabel DC - EV-T2M4CC-DC200A-5,0M50ESBK11. In: PHOENIX CONTACT [online]. PHOENIX CONTACT, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/cs-cz/produkty/nabijeci-kabel-dc-ev-t2m4cc-dc200a-50m50esbk11-1095775>

- [45] Nabíjecí kabel DC - EV-T2HPCC-DC500A-3,0M50ECBK11R. In: PHOENIX CONTACT [online]. PHOENIX CONTACT, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/cs-cz/produkty/nabijeci-kabel-dc-ev-t2hpcc-dc500a-30m50ecbk11r-1369289#downloads-link-target>
- [46] Charin: Community [online]. CharIN e. V., © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.charin.global/community/>
- [47] ŠKODA ENYAQ iV. Galimex [online]. Galimex, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <http://www.galimex.sk/skoda-enyaq-iv/>
- [48] THE i3s. In: Cooke Howlison [online]. Adtorque Edge, 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.cookehowlisonbmw.co.nz/models/i/i3>
- [49] CHAdeMO. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO>
- [50] CHAdeMO: ASSOCIATION & PROTOCOL [online]. CHAdeMO Association, © NOVEMBER 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/about-us/what-we-do#brochure>
- [51] Protocol Development: Constatly evolving with the market. In: CHAdeMO [online]. CHAdeMO Association [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/technology/protocol-development>
- [52] CHAdeMO DC charging standard: evolution strategy and new challenges. In: CHAdeMO. [online] CHAdeMO Association, ©16 April 2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://cdn.vector.com/cms/content/events/2019/vEMOB/vEMOB19_02_CHAdeMO_DC.pdf
- [53] The basics of Plug & Charge: ISO 15118's feature for a more user-convenient and secure way of charging electric vehicles. In: Switch [online]. © 2016–2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.switch-ev.com/knowledgebase/basics-of-plug-and-charge>
- [54] VADI, BAYINDIR, COLAK a HOSSAIN. A Review on Communication Standards and Charging Topologies of V2G and V2H Operation Strategies. Energies [online]. 2019, **12**(19) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en12193748
- [55] 200KW CCS CHADEMO DC Fast Charging Station. Grasen [online]. Grasen Power Technology, © 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.grasen.com/dc-fast-chargers/200KW-CCS-CHADEMO-DC-Fast-Charging-Station.html>
- [56] Sumitomo Electric | 1.2. In: CHAdeMO [online]. CHAdeMO Association [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/products/connectors/sumitomo-electric-1-2>

- [57] EVs. In: CHAdEMO [online]. CHAdEMO Association [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.chademo.com/products/products_type/evs
- [58] ZHANG, X, J CUI, W ZHANG, J D YE a X L LI. Analysis and Testing of U.S.-China Key Technology for Charging Interoperability of Electric Vehicles. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [online]. 2021, **701**(1) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/701/1/012073
- [59] GREEN, James, Brent HARTMAN a Peter GLOWACKI. A System-based View of the Standards and Certification Landscape for Electric Vehicles. World Electric Vehicle Journal [online]. 2016, **8**(2), 564-575 [cit. 2022-04-23]. ISSN 2032-6653. Dostupné z: doi:10.3390/wevj8020564
- [60] YOSHIDA, Makoto. Charging Standard: Future Direction [online]. February 17, 2020 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/charging-infrastructure-standardisation-developments-yoshida.pdf>
- [61] KANE, Mark. Tesla with GB/T charging inlet. In: InsideEVs [online]. Jan 03, 2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://insideevs.com/photo/4016655/chinese-tesla-model-3-spotted-with-proper-gb-t-connector/>
- [62] 120kW CCS GBT EV Fast Charging Station. In: Grasen [online]. Grasen Power Technology, © 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.grasen.com/dc-fast-chargers/120kW-CCS-GBT-EV-Fast-Charging-Station.html>
- [63] BAHRAMI, Ali. EV Charging Definitions, Modes, Levels, Communication Protocols and Applied Standards. Changes [online]. 2020, January 10 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.15844.53123/11
- [64] TOMOKO BLECH. Project ChaoJi: the background and challenges of harmonising DC charging standards. Zenodo [online]. 2020 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: doi:10.5281/zenodo.4023281
- [65] High Power (ChaoJi). In: CHAdEMO [online]. CHAdEMO Association, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/technology/high-power>
- [66] FENG, Ni a Toyoma IMAZU. ChaoJi: A Unified Future-Oriented Charging Programme. In: CHAdEMO [online]. 2020-09-20 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/uploads/ChaoJi202006/ChaoJiTechnicalPresentation0619.pdf>
- [67] Japan ChaoJi Gun 500A 1500V EV Plug CHAdEMO 3.0 Protocol ChaoJi Charger Connector. In: Midaevse [online]. Shanghai Mida EV Power, © 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.midaevse.com/copy-chaoji-connector-chademo-chaoji-gun-dc-fast-charger-connector-product/>
- [68] NISEWANGER, Jeff. How to Supercharge a Tesla Semi. In: Electric Revs [online]. February 15, 2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z:

<https://electricrevs.com/2019/02/15/how-to-supercharge-a-tesla-semi/>

- [69] Supercharger. In: Tesla [online]. Tesla, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/supercharger>
- [70] KANE, Mark. Tesla To Offer CCS Adapter For Model S, X In Europe. In: InsideEVs [online]. Feb 03, 2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://inside-evs.com/news/342594/tesla-to-offer-ccs-adapter-for-model-s-x-in-europe/>
- [71] JOHN, Darryn. Tesla Megachargers arrive at Frito-Lay facility ahead of January Semi deliveries. In: Drive Tesla Canada [online]. Drive Tesla Canada, © January 6, 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://driveteslacanada.ca/semi/tesla-megachargers-frito-lay-facility-january-semi-deliveries/>
- [72] KANE, Mark. Check Out Tesla Semi Spotted At First Megacharger (Giga Nevada). In: InsideEVs [online]. Nov 16, 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://inside-evs.com/news/548121/tesla-semi-spotted-first-megacharger/>
- [73] KANE, Mark. Report: Tesla Semi's Megachargers At Frito-Lay Site Appears Ready. In: InsideEVs [online]. Jan 30, 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://inside-evs.com/news/564110/tesla-semi-megachargers-fritolay-ready/>
- [74] @hwfeinstein. Awesome sighting today of a charging Tesla Semi at Tesla Giga Nevada! @SawyerMerritt @WholeMarsBlog. In: Twitter [online]. Twitter, ©10. 11. 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://twitter.com/hwfeinstein/status/1460365764754436097>
- [75] Tesla Semi Charge Port MEGACHARGER (KmanAuto). In: YouTube [online]. Google LLC. © 2022 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://youtu.be/_TWGcy0a1r4
- [76] KUNST, Matyáš. Kolik je v Česku nabíjecích stanic pro elektromobily? Jejich počet neustále roste. In: Elektrickévozy [online]. © 2011-2022 Elektrickévozy.cz, 3. 3. 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/kolik-je-v-cesku-nabijecich-stanic-pro-elektromobily-2022>
- [77] V Česku je 1 525 dobíjecích bodů, na jeden připadá devět elektrických vozidel: Tisková zpráva. In: Centrum dopravního výzkumu [online]. Ostrava/Brno: Centrum dopravního výzkumu, © 2021, 26. října 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-cesku-je-1-525-dobijecich-bodu-na-jeden-pripada-devet-elektrickych-vozidel/>
- [78] Mapa dobíjecích stanic. In: Futurego [online]. ČEZ, © 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.futurego.cz/cs/mapa-dobijecich-stanic>
- [79] Jak dobíjet. In: Futurego [online]. ČEZ, © 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.futurego.cz/cs/navody-a-faq/jak-dobijet>
- [80] SMLOUVY, CENÍK A OPSE. In: Futurego [online]. ČEZ, © 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.futurego.cz/cs/smlouvy-cenik-a-opse>

- [81] Typy dobíjecích stanic. In: Futurego [online]. ČEZ, © 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.futurego.cz/cs/dobijeci-stanice>
- [82] DOBÍJECÍ STANICE PRE. In: Smatrics [online]. SMATRICES, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://chargepre.smatrics.com/cs/>
- [83] Chci dobíjet jednorázově. In: PREmobilita [online]. Pražská energetika, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/dobijeni-na-prepoint/chci-dobijet-na-prepoint/chci-dobijet-jednorazove/>
- [84] Chci dobíjet pravidelně. In: PREmobilita [online]. Pražská energetika, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/dobijeni-na-prepoint/chci-dobijet-na-prepoint/chci-dobijet-pravidelne/>
- [85] PULTZNER, Martin. Hypercharger od PRE v Brně je rychlejší. Auto nabije až výkonem 150 kW. In: fDrive [online]. 24net, 08. 10. 2020 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/hypercharger-od-pre-v-brne-je-rychlejsi-auto-nabije-az-vykonem-150-kw-5938>
- [86] Mapa. In: E.ON Drive [online]. E.ON Drive, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.eon-drive.cz/mapa/>
- [87] Pricelist. In: E.ON Drive [online]. E.ON Drive, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.eon-drive.cz/pro-ridice/#pricelist>
- [88] SVEJDOVA, Helena. V síti E.ON Drive jsme otevřeli první ultrarychlý dobíjecí hub v Česku. Do tří let jich přibude dalších dvanáct. E.ON Drive [online]. E.ON Drive, 23.2.2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.eon-drive.cz/blog/2022/02/v-siti-e-on-drive-otevirame-prvni-ultrarychly-dobijeci-hub-v-cesku-do-tri-let-jich-pribude-dal-sich-dvanact/>
- [89] TECHNOLOGY. In: Ionity [online]. [cit. 2022-04-23]. Ioninty, © 2022 Dostupné z: <https://ionity.eu/en/design-and-tech.html>
- [90] ABOUT: OUR BACKGROUND. In: Ionity [online]. Ioninty, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://ionity.eu/en/about.html>
- [91] PUBLIC CHARGING. In: ŠKODA AUTO [online]. ŠKODA AUTO, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.com/emobility/public-charging>
- [92] ACCESS & PAYMENT. In: Ionity [online]. Ioninty, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://ionity.eu/en/access-and-payment.html>
- [93] Ionity [online]. Ioninty, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://ionity.eu/>
- [94] PULTZNER, Martin. Ionity slaví 400. stanici, rozjíždí se druhá etapa. In: fDrive [online]. 24net, 30. 12. 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/ionity-slavi-400-stanici-rozjizdi-se-druha-etapa-8292>

- [95] Nabíjecí stanice Supercharger v České republice. In: Tesla [online]. Tesla, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ/findus/list/superchargers/Czech+Republic
- [96] Support: Non-Tesla Supercharger Pilot. In: Tesla [online]. Tesla, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/support/non-tesla-supercharging>
- [97] Podpora: Podpora nabíjecích stanic Supercharger. In: Tesla [online]. Tesla, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ/support/supercharger
- [98] PULTZNER, Martin. Tesla zdražila nabíjení na Superchargerech. Máme kompletní ceny v Česku i Evropě. In: fDrive [online]. 24net, 15. 10. 2020 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/tesla-zdrazila-nabijeni-na-superchargerech-mame-kompletni-ceny-v-cesku-i-evrope-5977>
- [99] Podpora: Poplatek za parkování u nabíjecí stanice Supercharger bez nabíjení. In: Tesla [online]. Tesla, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ/support/supercharger-idle-fee#all-pricing
- [100] Podmínky použití. In: Tesla [online]. Tesla, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_cz/legal/terms
- [101] Mapa nabíjecích stanic. In: fDrive [online]. 24net [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/tesla-supercharger-brno---modrice-oc-olympia-brno-689>
- [102] KATOCH, Sourav Singh a M ESWARAMOORTHY. A Detailed Review on Electric Vehicles Battery Thermal Management System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. 2020, **912**(4) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/912/4/042005
- [103] BUIDIN, Thomas Imre Cyrille a Florin MARIASIU. Battery Thermal Management Systems: Current Status and Design Approach of Cooling Technologies. Energies [online]. 2021, **14**(16) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en14164879
- [104] HOLLAND, Maximilian. 2018 Leaf vs Long Journeys — Can It Take The Heat?. In: CleanTechnica [online]. CleanTechnica, July 16, 2018 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2018/07/16/2018-leaf-vs-long-journeys-can-it-take-the-heat/>
- [105] Linden's handbook of batteries. 4th ed. Editor Thomas B. REDDY, editor David LINDEN. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 9780071624213.
- [106] ZHAO, Chunyu, Beile ZHANG, Yuanming ZHENG, Shunyuan HUANG, Tongtong YAN a Xiufang LIU. Hybrid Battery Thermal Management System in Electrical Vehicles: A Review. Energies [online]. 2020, **13**(23) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en13236257

- [107] WANG, Xingxing, Shengren LIU, Yujie ZHANG, Shuaishuai LV, Hongjun NI, Yelin DENG a Yinnan YUAN. A Review of the Power Battery Thermal Management System with Different Cooling, Heating and Coupling System. *Energies* [online]. 2022, **15**(6) [cit. 2022-04-23]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en15061963
- [108] Dojezd & Nabíjení. In: Nissan [online]. Nissan, © 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf/Range_and_Charging.html
- [109] VRŠÍNSKÝ, Jiří. Základní parametry baterií v elektromobilech. In: ElonX [online]. ElonX, 26. 6. 2020 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/zakladni-parametry-baterii-v-elektromobilech/>
- [110] ZHANG, Zhuqian a Ke WEI. Experimental and numerical study of a passive thermal management system using flat heat pipes for lithium-ion batteries. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2020, **166** [cit. 2022-04-23]. ISSN 13594311. Dostupné z: doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.114660
- [111] DAN, Dan, Chengning YAO, Yangjun ZHANG, Hu ZHANG, Zezhi ZENG a Xiaoming XU. Dynamic thermal behavior of micro heat pipe array-air cooling battery thermal management system based on thermal network model. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2019, **162** [cit. 2022-04-23]. ISSN 13594311. Dostupné z: doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.114183
- [112] MOTHILAL BHAGAVATHY, Sivapriya, Hannah BUDNITZ, Tim SCHWANEN a Malcolm MCCULLOCH. Impact of Charging Rates on Electric Vehicle Battery Life. *Findings* [online]. [cit. 2022-04-24]. ISSN 2652-8800. Dostupné z: doi:10.32866/001c.21459
- [113] ŠPINA, Martin. Li-ion baterie: Porovnání nejpoužívanějších typů. In: oEnergetice [online]. 15. červenec 2021 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/li-ion-baterie-porovnani-nejpouzivanejsich-typu>
- [114] HRZINA, Pavel. Cykly a životnost baterie. *TZB-info* [online]. Topinfo, © 2001-2022, 1.9.2020 [cit. 2022-04-24]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>
- [115] ARIS, Asma Mohamad a Bahman SHABANI. An Experimental Study of a Lithium Ion Cell Operation at Low Temperature Conditions. *Energy Procedia* [online]. 2017, **110**, 128-135 [cit. 2022-04-23]. ISSN 18766102. Dostupné z: doi:10.1016/j.egypro.2017.03.117
- [116] MA, Shuai, Modi JIANG, Peng TAO, Chengyi SONG, Jianbo WU, Jun WANG, Tao DENG a Wen SHANG. Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review. *Progress in Natural Science: Materials International* [online]. 2018, **28**(6), 653-666 [cit. 2022-04-24]. ISSN 10020071. Dostupné z: doi:10.1016/j.pnsc.2018.11.002
- [117] GERING, Kevin L. Low-Temperature Performance Limitations of Lithium-Ion Batteries. *ECS Transactions* [online]. 2006, **1**(26), 119-149 [cit. 2022-04-23]. ISSN 1938-

5862. Dostupné z: doi:10.1149/1.2209364

- [118] ZHANG, S.S., K. XU a T.R. JOW. The low temperature performance of Li-ion batteries. *Journal of Power Sources* [online]. 2003, **115**(1), 137-140 [cit. 2022-04-23]. ISSN 03787753. Dostupné z: doi:10.1016/S0378-7753(02)00618-3
- [119] SCHWEIGER, H. G., et al. Optimization of cycling behavior of lithium ion cells at 60 C by additives for electrolytes based on lithium bis [1, 2oxalato (2-)-O, O'] borate. *International Journal of Electrochemical Science*, 2008, 3: 427-443. [cit. 2022-04-23]. ISSN 14523981. Dostupné z: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-77949492517&origin=inward&txGid=213dddcfc68a2f7ff799c593bdcf14d1&feature-Toggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
- [120] PATIL, Pandit G. Developments in lithium-ion battery technology in the Peoples Republic of China. Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States), 2008. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: doi: 10.2172/925388
- [121] PELINKA, Jakub. Solid Electrolyte Interface vrstvy v primárních člancích [online]. Praha, 2018 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/77332>. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Tomáš Reichl.
- [122] ZHANG, Yaguang, Ning DU a Deren YANG. Designing superior solid electrolyte interfaces on silicon anodes for high-performance lithium-ion batteries. *Nanoscale* [online]. 2019, **11**(41), 19086-19104 [cit. 2022-04-24]. ISSN 2040-3364. Dostupné z: doi:10.1039/C9NR05748J
- [123] MOMIDI, Kiranmai. What causes Battery Degradation in Electric vehicles and How to avoid it?. In: *Circuit Digest* [online]. Circuit Digest, Dec 19 2019 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/article/what-causes-battery-degradation-in-electric-vehicles-and-how-to-avoid-it>
- [124] KEIL, Peter, Simon F. SCHUSTER, Jörn WILHELM, Julian TRAVI, Andreas HAUSER, Ralph C. KARL a Andreas JOSSEN. Calendar Aging of Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society* [online]. 2016, **163**(9), A1872-A1880 [cit. 2022-04-24]. ISSN 0013-4651. Dostupné z: doi:10.1149/2.0411609jes
- [125] KASSEM, M., J. BERNARD, R. REVEL, S. PÉLISSIER, F. DUCLAUD a C. DELACOURT. Calendar aging of a graphite/LiFePO₄ cell. *Journal of Power Sources* [online]. 2012, **208**, 296-305 [cit. 2022-04-24]. ISSN 03787753. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpowsour.2012.02.068
- [126] BERGMANN, Petr. Věděli jste, proč vůbec degradují lithium-iontové baterie u elektromobilů?. In: *Elektrické vozy* [online]. 27. 9. 2021 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/proc-dochazi-k-degradaci-lithium-iontove-baterie-u-elektromobilu>
- [127] VETTER, J., P. NOVÁK, M.R. WAGNER, et al. Ageing mechanisms in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources* [online]. 2005, **147**(1-2), 269-281 [cit. 2022-04-24].

ISSN 03787753. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpowsour.2005.01.006

- [128] How Long Does a Tesla Battery Last?. In: Find My Electric [online]. Find My Electric, March 27 2021 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.findmyelectric.com/blog/how-long-does-a-tesla-battery-last/>
- [129] HAN, Xuebing, Languang LU, Yuejiu ZHENG, Xuning FENG, Zhe LI, Jianqiu LI a Minggao OUYANG. A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle. ETransportation [online]. 2019, **1** [cit. 2022-04-24]. ISSN 25901168. Dostupné z: doi:10.1016/j.etrans.2019.100005

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Rozměr	Veličina
P_{ch}	[kW]	nabíjecí výkon
V_{ev}	[V]	napětí
I_{ev}	[A]	nabíjecí proud
t_{ch}	[hodina]	čas nabíjení
E_{batt}	[kWh]	kapacita baterie
SOC	[%]	stav nabití baterie
DOD	[%]	hloubka vybití baterie

Zkratka	Význam
EV	elektromobil
DC	jednosměrný proud
AC	střídavý proud
ČR	Česká republika
CCS	Combined Charging System
CAN	Controller Area Network
PCM	materiál s fázovou přeměnou
SAC	Standardization Administration of China
LMO	Lithium mangan
LTO	Lithium titan oxid
LCO	Lithium kobalt
NMC	Lithium nikl mangan kobalt
LFP	Lithium železo fosfát
NCA	Lithium nikl kobalt
SEI	Solid Electrolyte Interface
aj.	a jiné
tab.	tabulka
obr.	obrázek
tzv.	takzvaně
resp.	respektive
tj.	to je

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dobíjení na úrovni 1 [11]	11
Obr. 2 Dobíjení na úrovni 2 [11]	12
Obr. 3 Dobíjení na úrovni 3 [11]	12
Obr. 4 SAE J1772 konektor a zástrčka [17].....	14
Obr. 5 Type 2 konektor [23].....	15
Obr. 6 Type 2 zástrčka [24].....	15
Obr. 7 Type 3C konektor [25]	15
Obr. 8 Tesla U.S. konektor [22]	15
Obr. 9 Zjednodušená schéma DC dobíjení [26] (upravené).....	16
Obr. 10 Normy pro indukční dobíjení [30] (upravené).....	17
Obr. 11 Zjednodušený diagram pro statické indukční dobíjení [33] (upravené)	18
Obr. 12 Autobusová zastávka ve Wenatchee [35].....	18
Obr. 13 CCS 1 konektor a zásuvka [26] (upravené).....	20
Obr. 14 CCS 2 konektor a zásuvka [26] (upravené).....	21
Obr. 15 Schopnost CCS zástrčky přijmout AC a také DC konektor [44].....	21
Obr. 16 CCS1 a CCS2 od Phoenic Contact [45]	22
Obr. 17 Škoda ENYAQ iV vybavena CCS 2 konektorem [47]	22
Obr. 18 BMW i3 vybaven CCS 1 konektorem [48]	22
Obr. 19 CHAdeMO kontakty [26] (upravené)	23
Obr. 20 Nabíjecí stanice Grasen, s výkonem 200 kW (CHAdeMo + CCS) [55].....	24
Obr. 21 Konektor CHAdeMO 1.2 od společnosti Sumitomo Electric [56].....	24
Obr. 22 Příklady elektromobilů, jenž využívají technologii CHAdeMO [57].....	24
Obr. 23 GB/T konektor [26] (upravené)	25
Obr. 24 Nabíjecí stanice Grasen, s výkonem 120 kW (GB/T + CCS) [62].....	25
Obr. 25 Tesla model 3 s GB/T konektorem [61].....	25
Obr. 26 ChaoJi konektor [67] (upravené)	26
Obr. 27 Tesla DC konektor pro Evropu [26] (upravené).....	26
Obr. 28 Tesla DC konektor pro USA [26] (upravené).....	26
Obr. 29 Stanice Tesla Megacharger [68]	27
Obr. 30 Stanice Megacharger vybudovaná při Tesla Motors Nevada [74].....	27
Obr. 31 Zásuvka pro Megacharger (neoficiální) [75].....	27
Obr. 32 Přehled DC technologií [60] (upravené)	28
Obr. 33 ČEZ Rychlodobíjecí stanice od ABB [81]	29
Obr. 34 ČEZ Ultrarychlá dobíjecí stanice od ABB [81].....	29
Obr. 35 Dobíjecí stanice značky Hypercharger, provozována PRE (Brno, ČR) [85]	30
Obr. 36 E.ON ultrarychlý dobíjecí hub od ABB (Sulejovice, ČR) [88].....	31
Obr. 37 Ionity dobíjecí stanice (odpočívka Nupaky, ČR) [94]	32
Obr. 38 Dobíjecí stanice Tesla (Brno, ČR) [101].....	33
Obr. 39 Schémata chlazení vzduchem [106].....	34
Obr. 40 Nissan Leaf s technologií Rapidgate, jenž využívá přirozený proud vzduchu k chlazení [108]	35
Obr. 41 Chlazení kapalinou – rozdělení [106] (upravené).....	36
Obr. 42 Vliv PCM na teplotu článku [102] (upravené)	36
Obr. 43 Využití ploché tepelné trubice [110] (upravené)	37
Obr. 44 Využití mikro tepelné trubice [111] (upravené)	37
Obr. 45 Vliv teploty a napětí článku na stav baterie [114]	39
Obr. 46 Vliv stavu nabití, času a teploty na kapacitu baterie [124].....	40
Obr. 47 Typy cyklů [114].....	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Dobíjecí režimy – základní parametry [16]	13
Tab. 2 Klasifikace úrovně výkonu pro DC nabíječky podle standardů CCS [43]	21
Tab. 3 Ceník ČEZ [57]	29
Tab. 4 Ceník pro pravidelné dobíjení [62]	30
Tab. 5 Ceník pro jednorázové dobíjení [62]	31
Tab. 6 Ceník E.ON [87]	31