

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
Katedra vozidel a pozemní dopravy

Analýza provozních parametrů elektrovozidla

Diplomová práce

Autor: Jan Tarant
Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Kotek, Ph.D.
Praha 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Tarant

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza provozních parametrů elektrovozidla

Název anglicky

Analysis of the electric vehicle operating parameters

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled problematiky vozidel využívající elektrickou energii jako hlavní a jediný zdroj energie. Dále provést analýzu jejich provozních parametrů v reálném provozu.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Současný stav sledované problematiky
5. Praktická část práce
6. Výsledky a jejich zhodnocení
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50-60 stran A4

Klíčová slova

elektromobil, rekuperace, akumulátor, dojezd, výkon

Doporučené zdroje informací

HUSAIN, Iqbal. Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, c2011. ISBN 9781439811757.

PISTOIA, G. Electric and hybrid vehicles: power sources, models, sustainability, infrastructure and the market. Boston: Elsevier, [2010]. ISBN 9780444535658

VLK, František. Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel : alternativní pohony : komfortní systémy : řízení dynamiky : informační systémy. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 24. 1. 2019

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 09. 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Analýza provozních parametrů elektrovozidla vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

Jan Tarant

Poděkování:

Chtěl bych vyjádřit mé díky panu Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a pomoc, kterou mi během zpracování této práce poskytnul, a Rastislavu Dobrovodskému za zajištění vypůjčených elektromobilů.

Abstrakt: Smyslem práce je představení problematiky elektromobilů. Teoretická část obsahuje jejich historii a pravděpodobnou blízkou budoucnost, přibližuje podstatné faktory aktuálně používaných bateriových a dobíjecích technologií. V praktické části jsou prezentovány výsledky měření, jehož účelem je popis ovlivnění spotřeby energie v závislosti na provozních podmínkách.

Klíčová slova:

Elektromobil, rekuperace, akumulátor, dojezd, výkon

Abstract: The aim of the thesis is a presentation of electric vehicles. The theoretical part contains their history and probable near future, describes important factors of present battery and charging technologies. In the practical part there are results of measuring, its aim was to show an influence of different driving parameters to energy consumption.

Key words:

Electromobile, recuperation, accumulator, range, power

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce	3
3 Metodika práce.....	3
4 Současný stav sledované problematiky.....	4
4.1 Historie.....	4
4.2 Blízká budoucnost.....	8
4.3 Obecné požadavky na baterie elektromobilů	8
4.3.1 Hustota energie a výkonu.....	8
4.3.2 Cena	9
4.3.3 Životnost	10
4.3.3.1 Cyklová životnost	11
4.3.3.2 Kalendářní životnost	11
4.3.4 Termoregulace	12
4.3.4.1 Chlazení baterií vzduchem.....	12
4.3.4.2 Chlazení baterií kapalinou	13
4.3.5 Bezpečnost	14
4.3.6 Recyklace a environmentální problematika.....	16
4.3.6.1 Recyklace	17
4.3.6.2 Znovupoužití	19
4.3.6.3 Vliv elektromobilů na životní prostředí	20
4.4 Možnosti nabíjení.....	23
4.4.1 AC dobíjení.....	23
4.4.1.1 Standardní domácí jednofázová zásuvka	24
4.4.1.2 Průmyslová třífázová zásuvka	24
4.4.1.3 Wallboxy	25
4.4.1.4 AC dobíjecí stojany.....	26

4.4.2 DC dobíjení.....	27
4.4.2.1 Tesla Supercharger.....	28
4.4.3 Konektory na dobíjecích stanicích.....	29
4.4.3.1 Konektory na AC dobíjení.....	30
4.4.3.2 Konektory na DC dobíjení.....	30
5 Praktická část práce.....	32
5.1 Testované vozy.....	32
5.1.1 Hyundai Ioniq Electric.....	33
5.1.2 Nissan Leaf.....	35
5.2 Postup měření.....	37
5.2.1 Měřicí okruh.....	37
5.2.2 Řízení vozidla.....	39
5.2.3 Nastavení vozidla.....	40
5.2.3.1 Logika za výběrem nastavení vozů.....	41
6 Výsledky a jejich zhodnocení.....	42
6.1 Výsledky měření.....	42
6.1.1 Hyundai Ioniq.....	42
6.1.2 Nissan Leaf.....	44
6.2 Zhodnocení výsledků.....	45
6.2.1 Porovnání s oficiálními hodnotami spotřeby energie.....	45
6.2.2 Vliv teploty.....	46
6.2.3 Vliv nastavení vozů.....	47
6.2.3.1 Vyhřívání sedadel.....	47
6.2.3.2 Klimatizace.....	47
6.2.3.3 Eko režim.....	48
6.2.4 Zhodnocení použitých elektromobilů.....	49
6.2.4.1 Hyundai Ioniq.....	49

6.2.4.2 Nissan Leaf	49
7 Závěr	50
8 Seznam použitých zdrojů	53
9 Seznamy	56
9.1 Seznam obrázků	56
9.2 Seznam tabulek	57

1 Úvod

Elektromobilita v jakékoli podobě je v dnešní době velmi často skloňovaným pojmem. Politickými představiteli jsou elektrické vozy prezentovány jako jediná správná cesta kupředu. Takovéto jednoznačné názory ale nemívají základ v rozsáhlejších znalostech celé problematiky. Z hlediska produkce výfukových emisí je samozřejmě situace jasná, neboť elektromobil sám o sobě neprodukuje žádné výfukové emise. Do souhrnu vlivů provozu elektromobilů je ale nutné zahrnout i centralizované zdroje emisí, které vznikají především během produkce jejich součástí a při výrobě elektrické energie, kterou elektromobily vyžadují pro provoz.

Určení přesných hodnot není jednoduché, a i napříč odbornou literaturou se prezentované množství produkce emisí výrazně liší. Vlastní představu o jejich čistotě si je možné udělat z energetického mixu státu, ve kterém je provozován. Z ekologického a morálního hlediska je také velmi podstatná otázka získávání surovin pro výrobu. Tyto samotné procesy mají v některých případech velmi záporný vliv na životní prostředí a podmínky v jejich okolí. Nejde ale jen o znečišťování krajiny, potíž je také v některých surovinách, jejichž většinové světové zásoby se nachází v problematických částech světa, kde se nehledí na lidská práva a bezpečnost práce.

Kvůli již zmíněnému tlaku na větší ekologičnost individuální automobilové dopravy je vyvíjen zvýšený tlak na zdokonalování stávajících a vymýšlení nových souvisejících technologií a od všech ostatních navázaných prvků je vyžadována rychlá adaptace. Výrazné prosazení elektromobilů je na aktuálním trhu kvůli svým nevýhodám těžké, proto mnohé státy využívají různé formy zvýhodňování pro zvyšování jejich zastoupení v celkovém počtu provozovaných vozidel. Například Norsko je považováno v tomto ohledu za etalon díky vysokému podílu elektromobilů mezi novými prodanými vozy, toho je ale docíleno výrazným cenovým znevýhodněním aut se spalovacími motory. V České republice jsou dotace na jejich nákup poskytovány pouze pro právnické osoby, jednotliví občané mohou využívat pouze menších výhod, jako je například možnost volného bezplatného parkování na pražských parkovacích zónách či bezplatná jízda po dálnici.

Z hlediska samotných výkonů jsou na tom elektromobily velice dobře, jejich účinnost je v porovnání se spalovacími motory mnohem větší, přímo proti tomu ale jde energetická hustota baterií. Ta společně s mnohem pomalejším čerpáním energie aktuálně tvoří velkou bariéru pro větší rozšíření elektromobilů. Možnosti jejich nabíjení začínají již s použitím běžné domácí zásuvky, rychlost tohoto procesu je ale velmi pomalá. Celé to ještě završuje vyšší

pořizovací cena v porovnání se spalovacími variantami. Ta ale bude velmi pravděpodobně tlačena dolů především zvyšujícím odbytem a novými bateriovými technologiemi, které jsou v dnešní době velmi intenzivně zkoumány.

Přes zmíněné nevýhody ale přinášejí elektromobily také velká pozitiva. Ty spočívají například ve velmi nízkých provozních nákladech. Vyžaduje mnohem méně pravidelné údržby, čehož je dosaženo mnohem menší komplikovaností pohonného ústrojí, a pokud je možné vůz nabíjet ve stálých, nejlépe domácích podmínkách, je cena za kilometr velmi nízká. Samotná jízda je navíc pro pravidelné cestování velice příjemná, protože pasažéři nejsou tolik obtěžováni vibracemi a hlukem. Proto již teď může být pro někoho elektromobil lákavá alternativa, jejíž popularita se bude s nejvyšší pravděpodobností zvyšovat.

2 Cíl práce

Cílem práce je vytvořit v teoretické části ucelený přehled problematiky vozidel využívající elektrickou energii jako hlavní a jediný zdroj energie, v praktické části pak provést analýzu jejich provozních parametrů v reálném provozu.

3 Metodika práce

Pro provedení analýzy provozních parametrů elektromobilů v reálném provozu budou testovány dva elektromobily. Jejím podstatou bude měření spotřeby energie pomocí palubních počítačů za různých teplotních podmínek a nastavení vozů. Vše bude probíhat na veřejných vedlejších komunikacích s minimálním provozem při dodržování předem předepsaných rychlostí.

4 Současný stav sledované problematiky

V současnosti je problematika elektromobilů velmi diskutovaným tématem, neboť je na ně nahlíženo jako na možné řešení otázky globálního klimatu. Je diskutabilní, zdali to tak opravdu je, minimálně však nabízí zajímavou alternativu k vozům s běžným spalovacím motorem, se kterými se, jako s nejrozšířenějšími zástupci typu pohonů automobilů, nejčastěji srovnávají. V následujících podkapitolách bude představen pohled do minulosti tohoto druhu pohonu, jeho základní principy a všechny podstatné náležitosti, které s ním souvisí.

4.1 Historie

Před vynalezením elektromobilu byl jediný možný způsob pohonu parní motor. Vznik elektrinou poháněných vozidel je přímo spojen s objevem elektřiny, její přeměny na mechanickou energii, elektromagnetické indukce a elektromotoru. Princip elektromotoru veřejnosti představil Michael Faraday v roce 1820, roku 1834 bylo na uzavřené trati poprvé představeno bateriemi poháněné elektrické vozidlo, což je 51 let dříve než benzínová tříkolka se spalovacím motorem. V roce 1900 bylo prodáno celkem 4200 aut, z toho 40 procent bylo parních, 38 procent elektrických a 22 procent benzínových. Z toho je jasně patrné, že v úplných počátcích měly elektrinou poháněná vozidla mnohem silnější zastoupení na trhu oproti těm, které byly poháněné benzínem. [1]

Jedno z prvních, více rozšířených vozidel bylo například kolem roku 1900 automobil francouzské značky BGS, který měl maximální rychlost 64 km/h a dojezd 160 km. V roce 1912 bylo registrováno přes 34 000 elektrických vozidel, což bylo dvakrát více než vozidel se spalovacím motorem. Ve dvacátých letech ovšem byly elektromobily upozaděné ve prospěch jejich spalovacích rivalů. Tato změna byla dána několika faktory. Roku 1911 byl vynalezen elektrický spouštěč, což umožňovalo mnohem jednodušší nastartování spalovacího motoru, po zavedení sériové výroby benzínového Fordu Model T byla jeho jednotková cena více než třikrát menší a dobíjecí infrastruktura pro elektromobily byla mimo větší města téměř neexistující. Proto elektrické vozy s energií uloženou v bateriích téměř vymizely. Výjimky tvořily pouze velmi specifické dopravní prostředky jako například vysokozdvížné vozíky, golfové vozíky atd. [1]

Po druhé světové válce se vývoji elektromobilů kvůli nedostatku ropy zabývala japonská společnost Tama Electric Motorcal Company, která vyvinula vůz s dojezdem 65 kilometrů. Po skončení krize ale výroba ustala. V šedesátých letech dvacátého století bylo opět uvažováno o elektromobilech, neboť se začaly objevovat informace o efektech emisí, které

spalovací motory generovaly. Proto americká společnost General Motors investovala do výzkumu elektrinou poháněných vozidel a představili vozy Electrovairst I a II, který je možné vidět na obrázku č. 1. Jeho karoserie i šasi vycházelo z Chevroletu Corvaire, ovšem pro pohon využíval třífázový indukční motor o výkonu 115 koní, který vozu umožnil maximální rychlost 128 km/h. Energie byla uložena ve stříbrno-zinkových bateriích, které umožňovaly dojezd 128 km, ale pro praktické využití byly příliš těžké, měly příliš krátkou životnost, dlouho se nabíjely a stály příliš mnoho peněz. Technologie v tuto dobu ještě neumožňovaly konkurenceschopnost. [1]

Obrázek 1: Chevrolet Electrovairst II



Zdroj: <http://1u4we0207ruc34o1s412c2ca-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2013/04/1.jpg>

Zájem o výzkum elektromobilů prudce stoupl během sedmdesátých let, když bylo Organizací zemí vyvážející ropu (OPEC) na země podporující Izrael uvaleno embargo na dovoz ropy. To mělo nejen velmi výrazný vliv na cenu ropy, ale také ukázalo zranitelnost států závislých na jediného dodavatele. Díky převratným objevům na poli polovodičů a mikroprocesorů v osmdesátých a devadesátých letech bylo možné zefektivnit měniče elektrického proudu, které umožnily účinnější pohon elektromotoru. [1]

V roce 1995 General Motors spustil v Kalifornii a Arizoně program na pronájem vozů Saturn EV1 s jeho celkovou cenou v přepočtu na dnešní kurz 1 150 000 korun (včetně inflace), který umožňoval dojezd až 144 km. To již byly hodnoty, které byly za určitých okolností použitelné. Po skončení leasingu nebylo však možné vozy odkoupit a následně byly

sešrotovány či předány pro výzkumné účely. Další vyrobené elektromobily byly například Enfield 8000 s dojezdem 65 kilometrů, přestavěný Geo Metro (v Evropě známý jako Suzuki Swift), dodávka Ford Ecostar či Škoda Eltra, což byl elektromobil na základě Škody Pick-up, který vznikl dle poptávky ze Švýcarska. [1] [2]

Největší revoluce přišla v druhém tisíciletí, kdy začal být tlak na ekologičnost automobilů mnohem vyšší. Do povědomí běžné veřejnosti se elektrický pohon začal dostávat pomocí hybridních vozů Toyota Prius, která působila jako předvoj mnohem větší vlny elektrifikovaných aut, která následovala. První více rozšířený elektromobil byl Roadster značky Tesla, představený v roce 2008. Společně s Modelem S (obrázek č. 2), který byl představen o několik let později, prezentoval tento druh vozů především svojí ohromnou akcelerací a použitelným dojezdem jako zajímavou alternativu ke spalovacím motorům, ale vysoká cena stále limitovala rozšíření mezi běžné zákazníky. To ovšem přestalo platit po uvedení vozu Nissan Leaf v roce 2010, který začal představovat ekonomičtější variantu vlastnění elektromobilu. Pořizovací cenou stále nemohl konkurovat zavedeným vozidlům ve své kategorii, ale započal masivnější rozšíření elektromobilů a povědomí o nich v širší veřejnosti. [2]

Obrázek 2: Tesla Model S



Zdroj: <https://www.czechcrunch.cz/wp-content/uploads/2019/04/tesla-model-s-820x436.jpg>

O opravdový zájem mainstreamu a médií se ale postaral již zmíněný Model S od značky Tesla. Přinášel velké zlepšení v rámci dojezdu, na svou velikost a zaměření dosahoval velmi neobvykle rychlé akcelerace, využíval vlastní rychle se rozšiřující dobíjecí infrastrukturu,

kteřou bylo možné využívat zdarma, má nekonvenční rozvržení palubní desky s obřím integrovaným ovládacím tabletem a automobilka obecně má úplně jiný přístup k provozu vozidla, který je neustále zlepšován pomocí vzdálených aktualizací, přenášeny přes internet. Tato kombinace spolu s neustálým mediálním prostorem, který byl Tesle, mimo jiné díky svému řediteli Elonu Muskovi, věnován, způsobila, že elektromobily byly najednou vnímány jako nová a zajímavá alternativa.

Velmi k tomu přispěla také aféra dieseldgate, kterou v USA způsobil koncern Volkswagen používáním podvodného softwaru ve svých automobilech, který dokázal, například dle neotáčení volantů při rotaci kol, rozpoznat testovací cyklus měření spotřeby a emisí. V takovém případě softwarový management upravil parametry motoru tak, aby vůz byl schopen homologačním testem projít. Podezření padlo i na jiné výrobce, nikdy ale následky nedosáhly takové úrovně jako v případě Volkswagenu. Ten musel kromě obrovského finančního vyrovnání s americkými úřady a žalujícími zákazníky začít napravovat svoji reputaci. Proto investoval nemalé prostředky do vývoje univerzální podvozkové platformy MEB pro čistě elektrická vozidla, kterou použije pro mnoho svých plánovaných modelů a která mu má umožnit stát se významným hráčem na poli elektromobility v blízké budoucnosti. Prvním modelem postaveným na této platformě bude ID 3 (viz obrázek č. 3).

Obrázek 3: Volkswagen ID 3



Zdroj: http://www.hybrid.cz/files/images/DB2019AU01074_medium.img915.jpg

4.2 Blízká budoucnost

Vzhledem k zpřísnujícím emisním limitům, které jsou například v Evropě automobilky nuceny u nových vozů dodržovat, je logické, že se čím dál více výrobců snaží prosadit na trhu elektromobilů. Ty totiž pomáhají snižovat flotilový emisní průměr, jehož nedosáhnutí je pokutováno vysokými sankcemi. Výměna vozidel se spalovacím motorem za elektromobily určitě nebude skoková a dá se s rozumnou pravděpodobností předpokládat, že bude mít postupný charakter, neboť nevýhody, které jejich rozvoj brzdily na počátku dvacátého století, již nejsou kvůli výraznému technologickému pokroku a velkému množství investovaných prostředků v posledních letech tak výrazné jako dnes. Kvůli obrovské pozornosti, která je na toto odvětví upírána, je ale velmi těžké predikovat, jak se budou elektromobily vyvíjet.

Jejich nejslabším článkem jsou bezesporu baterie, které jsou předmětem intenzivních výzkumů. Především se jedná o materiály na výrobu a cenu bateriových článků, hustotu uložené energie a její dočerpání v porovnání s konvenčními automobily. Pokud by se podařilo kterýkoli ze zmíněných faktorů změnit k lepšímu, znamenalo by to velký průlom a výrazně by to zvýhodnilo situaci bateriových vozů.

Například podle analytika ABI Research Jamese Hodgsona je budoucnost v použití křemíku v lithium iontových bateriích (li-ion). Například výrobci Volkswagen, BMW či Daimler investují do společností, které se výzkumem takových akumulátorů zabývají. S postupným zvyšováním podílu křemíku by se mohly radikálně navyšovat nabíjecí výkony (přes 300 kW) a energetická hustota baterií (až 400 Wh/kg). Další možností je změna technologie elektrolytu z tekutého na pevný. To má také potenciál na zvýšení hustoty či zvýšení bezpečnosti. [3]

4.3 Obecné požadavky na baterie elektromobilů

Baterie by měly splňovat určité požadavky, které jsou na ně výrobci kladeny a které podmiňují plný rozvoj a komerční úspěch elektromobilů. Podrobněji budou popsány v následujících podkapitolách.

4.3.1 Hustota energie a výkonu

Tyto dva pojmy jsou zdánlivě podobné, ale velmi se liší. Hustota uložené energie znamená typicky množství uložené energie na jednotku hmotnosti. V tomto ohledu jsou baterie, využívající jakoukoli technologii, pozadu za tekutými palivy. Průměrné hodnoty akumulátorů

se pohybují mezi 100–265 Wh/kg, kdežto benzín dosahuje hodnot až 12 200 Wh/kg a nafta dokonce 13 762 Wh/kg. [4]

Hustota výkonu představuje množství elektrického výkonu na hmotnost. S jejím zvyšováním úměrně roste proud, který je možný z prostředku odebrat. [5] V dnešní době ovšem neexistuje zařízení, které by dokázalo v elektromobilech kombinovat velké množství uložené energie a zároveň ji rychle vypustit. Přesně na to se zaměřila automobilka Tesla akvizicí společnosti Maxwell, zabývající se vývojem superkondenzátorů, které by v jejích elektromobilech doplnily li-ion baterie. V takovém případě by byly výkonové špičky při vybíjení a dobíjení regenerativním brzděním pokryty právě kondenzátory, což by umožnilo provoz baterií v ustáleném režimu. To bude mít blahodárný vliv na jejich trvanlivost a celkově jejich optimalizaci. [6]

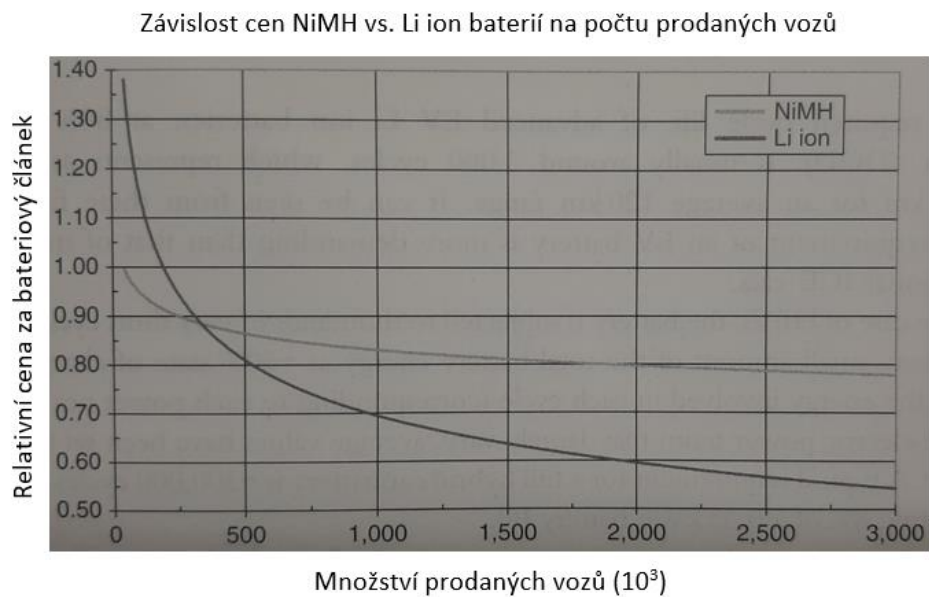
4.3.2 Cena

Baterie tvoří největší nákladovou položku při stavbě elektromobilu, tudíž na její snižování je kladen velký tlak. Zároveň je ale nutné zachovávat ostatní parametry na rozumné úrovni, což tento požadovaný trend omezuje. Konkrétní hodnoty je poměrně náročné získat, neboť bývají utajované. Je možné je ale odhadovat podle průměrné finanční náročnosti. Samotné bateriové články tvoří při výrobě ve velkých sériích zhruba 75–85 % nákladů, kdežto jejich sestavení jen 15–25 %, přičemž na samotný článek připadá 80–90 % nákladů na materiál a jen 10–20 % na práci. [7]

Z toho vyplývá, že náklady na baterie téměř proporčně odpovídají jejich velikosti a zároveň to také znamená, že je velice důležité, jaké materiály jsou na jejich výrobu použity, proto právě také jejich výběr je obsahem mnoha studií. Cenu je ale potřeba brát ve vztahu k jiným faktorům, jako je například hustota energie a životnost. Často je udávána v poměru na kilowatthodiny (kWh), jelikož sama o sobě by neměla příliš vypovídající hodnotu. [7]

Druhým podstatným faktorem je použití bateriových komponent, které již jsou přítomny v automobilovém průmyslu. To omezuje nutnost vývoje nových specializovaných typů a zároveň je dosaženo vyšší výroby, což má pozitivní efekt na náklady. Snížení cen může také být lehce dosaženo zvyšujícím se množstvím prodaných elektromobilů. To ale může způsobit nekonečný kruh mezi tímto faktorem a čekáním zákazníků na snížení pořizovacích cen elektromobilů. Na obrázku č. 4 lze vidět odhad poklesu cen bateriových článků podle zvyšující se poptávky po elektromobilech. [7]

Obrázek 4: Odhad poklesu cen za bateriový článek



Zdroj: [7]

4.3.3 Životnost

Životnost baterie je u elektromobilů velmi důležitým faktorem, jelikož náklady na její výměnu jsou velmi vysoké. Proto je nutné ji navrhovat na dobu životnosti celého automobilu, což bývá minimálně 10 let. Při vývoji nových typů baterií je zjišťování jejich životnosti náročný a nákladný proces, nicméně pro stanovení poskytované záruky je nutný. Ta většinou deklaruje udržení minimálně 85% kapacity po stanovenou dobu.

Jeden ze způsobů dlouhodobého udržení prezentované kapacity baterií je její umělé omezování. Výrobci mohou omezit pracovní rozsah tak, aby se nabíjecí cykly co nejvíce přiblížily k optimálním rozsahům, viz kapitola 4.3.3.14.3.3.1 Cyklová životnost. Pokud by se u aktivně používaných článků začala objevovat degradace a celková kapacita by klesala, aktivuje se její nevyužívaná část, tudíž z řidičova pohledu je baterie delší dobu v bezchybném stavu. Tímto je také možné zajistit neustálou plnou funkčnost regenerativního brzdění, které by jinak nebylo funkční, kdyby byla baterie úplně plná. Této možnosti využívá například automobilka Porsche u modelu Taycan. [8]

Trvanlivost baterie ovlivňuje její aktivní používání (tzv. cyklová životnost) a její neaktivita (tzv. kalendářní životnost).

4.3.3.1 Cyklová životnost

Jedním cyklem baterie je myšleno vyčerpání energie a její zpětné doplnění, která odpovídá energetickému obsahu akumulátoru, tj. se musí vyměnit 100 % její energie. Při průběhu stárnutí baterie probíhají změny na elektrodách na molekulární či krystalické úrovni nebo v celém těle elektrody, navíc spolu může také reagovat aktivní materiál a elektrolyt, obzvláště když se jedná o prostředí s vysokou energetickou hustotou či napětím. Různé typy baterií i odlišné podmínky užívání způsobují, že intenzita a průběh degradace je v každé aplikaci jiný, a proto je nutné tyto případy analyzovat odděleně. [7]

V počátcích elektromobilů byly cyklové hodnoty při výraznějším vybití v rámci několika stovek, dnes se tato hodnota pohybuje okolo třech tisíců. [7] Pokud by se ale dodržovalo nabíjení zhruba mezi 45–75 %, bylo by možné dosáhnout až okolo 10 000 cyklů. S takovým chováním ale výrobce nemůže u něžného uživatele počítat, je nutné předpokládat také občasnější vybití na delších cestách či třeba menší dobíjení až do 100 % přes noc. Lepší představu o vlivu nabíjení na celkovou životnost baterie si lze udělat z tabulky č. 1. [8]

Tabulka 1: Vliv způsobu nabíjení na životnost baterie

Počáteční stav nabíjení	Konečný stav nabíjení	Počet cyklů před snížení maximální kapacity na 85 %
25 %	100 %	2 010
40 %	100 %	2 800
50 %	100 %	2 800
25 %	85 %	4 500
25 %	75 %	7 100
45 %	75 %	10 000
65 %	65 %	12 000

Zdroj: [8]

4.3.3.2 Kalendářní životnost

Kalendářní životnost představuje degradaci stavu baterie bez probíhajících chemických reakcí, tj. ve stavu, kdy není jakkoli využívána či dobíjena. Tento jev probíhá kvůli reakcím elektrod a elektrolytu. v baterii se nachází reaktivní materiály, které způsobují oxidaci

a redukování činidel. V ideálním případě by byl elektrolyt vůči okolí netečný, reálně se ale baterii zmenšuje její kapacita. [7]

4.3.4 Termoregulace

Vysoké teploty, které jsou generovány především odpory, výrazně negativně ovlivňují degradaci baterií, proto je nutná přítomnost teplotního managementu. Teplota je závislá na mocnině proudícího proudu bez ohledu na to, jestli se jedná o nabíjení či vybíjení. Její maximum v provozním stavu by mělo být za běžných provozních podmínek zhruba 40° C a minimum 0° C. Pokud by hodnoty přesáhly maximální limit, hrozí nevratné poškození baterií, pod teplotu 5° C již není možné rychlé dobíjení a pod bodem mrazu je úplně zastavené. Kromě absolutních čísel je podstatná také vyváženost napříč celou baterií. Skládá se z mnoha vzájemně propojených článků, které se využívají rovnoměrně, tudíž v případě rozdílných teplot by docházelo k rozdílnému stavu nabití (state of charge - SOC), což by při dlouhodobých stavech způsobovalo lokální degradace. [7]

Chlazení bateriového systému je zajišťováno vzduchem či kapalinou a může být napojena na klimatizační systém. Vlastnosti obou řešení jsou popsány v následujících kapitolách.

4.3.4.1 Chlazení baterií vzduchem

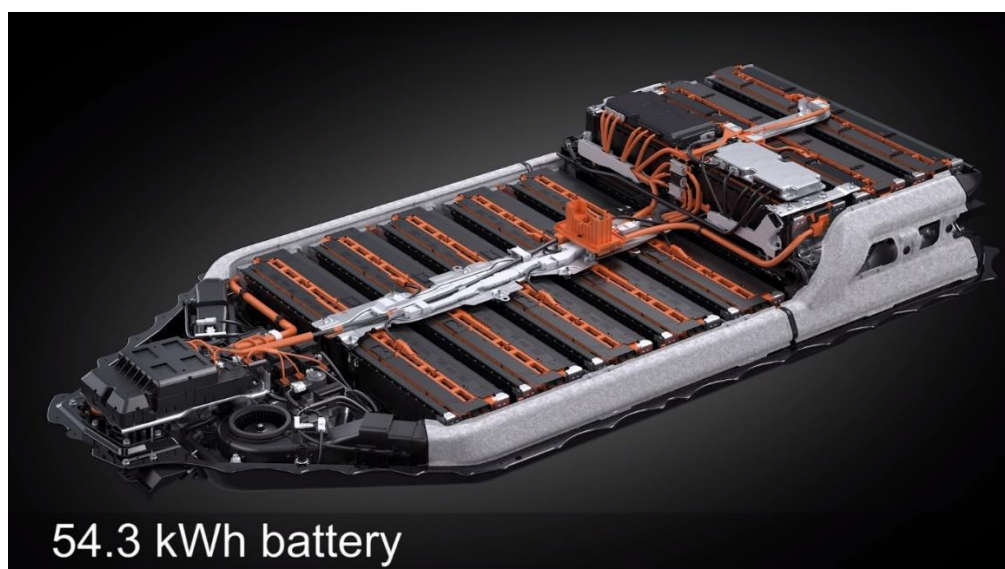
Chlazení vzduchem je relativně jednoduchý systém, který využívá k chlazení baterií vzduch. Jeden ze způsobů je brát jej z kabiny pro cestující. V takovém případě je uvnitř vozidla umístěn ventilátor, který přes filtr posílá vzduch k chladícím plochám. Bez jeho čištění by bylo riziko vniknutí nečistot a prachu z kabiny do systému, což by mělo za následek vytvoření vodivé vrstvy mezi články baterií a kondenzaci vlhkosti. Nevýhoda tohoto řešení také spočívá v možném narušení jízdního komfortu hlukem ventilátoru, hlavní problém ale spočívá v přímém spojení baterií a posádky, což představuje potenciální riziko. [9]

Druhá možnost chlazení baterií vzduchem je chlazení bateriového výparníkového plátu článků klimatizačním okruhem. Vysokotlaké a nízkotlaké oddíly v okruhu jsou odděleny expanzním ventilem, který umožňuje propojení části pro úpravu teploty vzduchu v interiéru a u baterií. Prostor pro posádku musí být klimaticky upravován podle osobních požadavků, kdežto teplota akumulátoru musí být upravovány tak, aby vyhovovala podmínkám popsaných v kapitole 4.3.4. [9]

Výhody použití vzduchu pro chlazení spočívají v celkové jednoduchosti systému a z toho pramenících nižších nákladů, ovšem kvůli malé teplotní kapacitě proudícího média je systém náchylný na větší teplotní výkyvy při větších čerpaných výkonech a je náchylný na tepelnou nestálost v celém objemu, což má za následek větší degradaci baterie v dlouhodobém horizontu. Tento efekt je možné zmírnit použitím větší baterie s více články, tudíž by po jednom článku byl požadovaný menší výkon a generoval by tedy méně tepla, ale zároveň by se opět zvyšovala cena za celý soubor. [10]

Na obrázku č. 5 je možné vidět vzduchem chlazenou baterii vozu Lexus UX300E. Na něm je dobře vidět po obou stranách umístěné relativně velké potrubí, kterým je velkými radiálními ventilátory přiváděn chladicí vzduch. Jednotlivé články mají mezi sebou mnohem méně prostoru, tudíž je celý soubor celkově menší než kapalinou chlazená baterie stejného energetického objemu.

Obrázek 5: Vzduchem chlazená baterie vozu Lexus UX300E



Zdroj: https://img2.auto.cz/img/29/full/6042035_.jpg

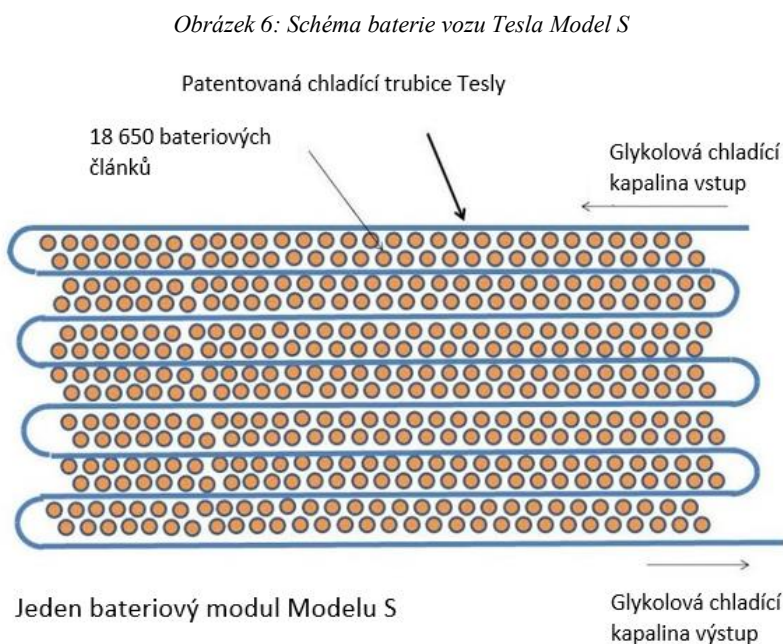
4.3.4.2 Chlazení baterií kapalinou

Pro termoregulaci baterií kapalinou se často používá například voda, glykol nebo jejich kombinace. Funkce spočívá v protékání kapaliny potrubím okolo bateriových článků, kde probíhá vzájemná výměna tepla. Za běžných okolností se pro udržení optimální teploty využívá proudění okolního vzduchu, se kterým probíhá tepelná výměna. V případě příliš vysoké exteriérové teploty, která by zapříčinila nedostatečné ochlazení systému, se kapalina ještě

přivede k výměníku tepla, ve kterém dochází k dalšímu ochlazení od klimatizačního okruhu pro interiér. Z použitých technologií ovšem pramení další výhoda. Kapalina může být také rychle ohřívána pro dosažení optimálních teplot při podchlazení baterie v zimním období. [9]

Z velké efektivity chlazení kapalinou plyne vysoká tepelná stabilita bateriových článků, odolnost proti výkyvům a schopnost je udržet v optimálním teplotním rozsahu, ve kterém je umožněno podání vyšších výkonů s nižším rizikem přehřátí a zároveň minimalizace jejich degradace v delším časovém horizontu. Zároveň je ale celý systém složitější, což má za následek jeho vyšší hmotnost, náklady na výrobu a případné opravy a zabírá více prostoru v porovnání se vzduchovým systémem. Navíc může hrozit riziko úniku kapaliny k baterií, způsobující zkrat systému. [10]

Na obrázku č. 6 je možné vidět schéma baterie vozu Tesla Model S chlazené kapalinovým okruhem. Potrubí je vedené vrstvami článků, aby bylo dosaženo optimálního chladicího výkonu. V tomto případě je chladicí médium glykol.



Zdroj: <https://cleantechnica.com/files/2018/07/Tesla-cooling-tube-patent.jpg>

4.3.5 Bezpečnost

Bezpečnost vozů vždy patří mezi jedny z nejvyšších priorit výrobců, neboť selhání v této oblasti může mít obrovské negativní následky. Proto si sami výrobci stanovují velmi přísná kritéria pro kvalitu konstrukce baterií. Při jejich testování se napodobují různé scénáře,

kteře se mohou stát v reálných podmínkách. Poruchy mohou vyplývat z interního či externího zkratu, nehody, vyšších proudů či napětí z baterie či nabíjení, přehřátí z vnějšího zdroje či mechanické poškození vibracemi či nárazy. [7]

Baterie představují jedno z hlavních rizik elektromobilů, jelikož uchovávají velké množství energie. Té sice není tolik v porovnání s nádrží s benzínem či naftou, na druhou stranu zde hraje klíčovou roli elektřina, navíc je baterie jako celek pro uchování energie mnohem složitější než nádoba s běžným kapalným palivem, tudíž zde existuje větší potencionální riziko poruchy. Největší možný problém představuje náhlé a velmi rychlé uvolnění tepla. To se uvnitř baterie generuje, pokud mezi povrchovými materiály kladné a záporné katody, které jsou oxidovány či redukovány během nabíjení, probíhá chemická reakce. V nejhorších případech může uvolněné teplo způsobit požár či dokonce explozi, která by se, pokud není řízena, šířila na další články až na celé vozidlo. Za touto řetězovou reakcí vždy stojí lokálně přehřátý článek. [7]

Pravděpodobnost nastání popsaných událostí je možné ovlivnit několika způsoby. Největší vliv na to mají použité materiály v bateriích. Moderní akumulátory s vysokou hustotou uložené energie využívají jako elektrolyt bezvodné hořlavé roztoky, kdežto konvenčnější varianty obsahují vodu, která utlumuje šíření požáru. Také platí, že s rostoucí energetickou hustotou roste teplota uvnitř článků a zároveň objem vypuštěného plynu. Je možné také ovlivnit rychlost šíření chemické reakce ve vnitřním prostoru. Za účelem zkoumání vnitřních příčin požárů je prováděno nemalé množství studií, které mají za účel vymyslet méně reaktivní materiály například elektrolytu či zkoumají mechaniku degradace použitých materiálů. Podle profesora Jeffa Dahna z univerzity v Dalhousie pouze jedna ze sta milionů li-ion baterií vzplane za běžných okolností. [7] [11]

Jako každý vůz i elektromobil může být poškozen při dopravní nehodě. Proto bývají bateriové moduly kryté tlustými ochrannými pláty před proniknutím cizích předmětů. Pokud se je podaří prorazit, může dojít k poškození bateriového obalu a zkratu mezi dvěma porušenými články. Když jsou články chlazené kapalinou, je možné požáru, způsobený jejich zahřátím, zabránit. Pokud by byl počet poškozených článků vyšší, již to ale nemusí stačit. Proto jsou baterie rozdělené do skupin, které jsou od sebe vzájemně oddělené, aby se předcházelo rozšíření ohně na celou baterii. Navíc je ještě mezi nimi a prostorem pro posádku protipožární přepážka, která má zabránit proniknutí ohně do kabiny. [11]

Pro co největší omezení požáru baterie je tedy nutné, aby jejich obal nebyl porušen. Tomu je třeba také upravit celou konstrukci vozu. Možná právě kvůli potřebné pevnosti střední části vozu, kde jsou baterie uloženy, elektrické vozy vynikají v hodnocení bezpečnosti. To

dokazuje například hodnocení agentury Euro NCAP (European New Car Assessment Programme), ve kterém jsou Modely 3 a X automobilky Tesla nejbezpečnějšími vozy ve své velikostní kategorii za rok 2019 v Evropě. Promyšlenost konstrukce s ohledem na zachování integrity baterie je dobře vidět na obrázku č. 7, kde byl Model X obětí bočního nárazu ve vysoké rychlosti, který zadní část oddělil tak, aby celá baterie zůstala neporušena v přední části. [12]

Obrázek 7: Rozlomená Tesla Model X



Zdroj: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-7916553/Tesla-Model-X-cut-half-debris-scattered-highway.html>

4.3.6 Recyklace a environmentální problematika

V roce 2017 bylo poprvé prodáno více než milion elektromobilů po celém světě. S předpokladem, že průměrná váha jedné baterie byla 250 kg, to znamená více než 250 000 tun odpadu po skončení jejich životnosti. Společně s nedostatečným množstvím potřebných materiálů, především vzácných kovů, v některých částech světa to znamená, že důležitost recyklace použitých baterií je velice vysoká. Navíc kvůli přítomnosti toxických materiálů v Li-on bateriích je krajně nevhodné umisťovat vyřazené akumulátory na skládky, kde by mohly škodlivé látky kontaminovat půdu či spodní vody. Proto je nutné baterie recyklovat či je využít na jiné účely. [13]

4.3.6.1 Recyklace

Pro většinu recyklovacích procesů je třeba, aby baterie byla rozebrána minimálně na úroveň jednotlivých modulů. Navíc pro správnou a bezpečnou manipulaci je nutná znalost práce s vysokým napětím a odizolované nástroje, aby se předešlo úrazům či zkratování částí, což by mělo za následek rapidní vybití baterie. To by způsobilo rychlé uvolnění uvnitř uchovávaných plynů, generující další nebezpečné situace (požár, explozi atd.). Požadované znalosti pro práci s bateriemi představují další problém, protože například v Anglii ze 170 000 automechaniků je pouze 1000 z nich schopno pracovat s elektromobily. Možnosti recyklace také komplikuje fakt, že servisovatelnost bateriového celku, a tudíž také jejich snadnost rozebrání, jde proti požadavkům na pevnost, vysvětlených v kapitole 4.3.5. [13]

Bateriové systémy mohou být postavené do různých celků, z nichž každý vyžaduje odlišný přístup práce při demontáži. Základní typy jsou cylindrické (např. Tesla Model S), prismatické (např. BMW i3) a vakové (Nissan Leaf první generace), přičemž každý typ má svá specifika, které jsou popsány níže. [13]

Cylindrické: články bývají přilepené ke konstrukci epoxidovou pryskyřicí, což ztěžuje recyklaci a demontáž; pojistky na koncích článků mohou být poškozené, což komplikuje vybití článku; samotná geometrie baterie zvyšuje náročnost přímé recyklace.

Prismatické: vyžadují speciální nástroje pro demontáž; články jsou pod větším tlakem, což zvyšuje riziko nehody.

Vakové: recyklace není kvůli vysokému podílu levného manganu tolik ekonomicky efektivní, ale je jednoduše proveditelná. [13]

Další potíž představuje čistota recyklovaných materiálů. Například kobalt či nikl lze zpětně získat ve velmi dobré kvalitě, která se velmi podobá původní jakosti. S lithiem je ale situace mnohem komplikovanější, neboť požadavky na čistotu jsou mnohem vyšší, a tak ne každá společnost jej umí získat. Běžně používané metody získávání kovů z li-ion baterií jsou níže, přičemž shrnutá použitelnost je zobrazena v obrázku č. 8 [13]

Pyrometalurgická recyklace: kovové oxidy se vloží do pece, kde se z nich vytvoří slitina kobaltu, mědi, železa a niklu; tato metoda je velmi flexibilní, umožňuje zpracování celých článků; nevýhody spočívají ve tvorbě toxických plynů, které je nutné filtrovat, a vysoká energetická náročnost.

Fyzická separace materiálů: části akumulátoru jsou od sebe oddělovány sítý, filtry, magnety, střešáním atd. a využívá se vlastností materiálů jako velikost jednotlivých částí, hustota, feromagnetismus, hydrofobicita atd.; výsledek procesu se nazývá černá hmota; využívá se především v západním světě,

Hydrometalurgická obnova kovů: u této metody se využívá vodných roztoků k získávání požadovaných kovů z katod. [13]

Obrázek 8: Zhodnocení metod recyklace li-ion baterií

hodnocení	nejlepší	****	***	**	*	nejhorší		
	připravenost technologie	komplexita	kvalita znovuzískaných materiálů	množství znovuzískaných materiálů	generování odpadu	energetická náročnost	kapitálové náklady	produktové náklady
pyrometalurgie	****	****	*	***	**	*	*	****
hydrometalurgie	***	***	***	****	***	***	***	***
fyzická separace	**	*	**	****	****	***	***	*

	potřebné předtřídění baterií	zachování morfologie katod	možnost okamžitého použití materiálu	získání kobaltu	získání niklu	získání mědi	získání manganu	získání hliníku	získání lithia
pyrometalurgie	****	ne	ne	****	****	****	***	ne	*
hydrometalurgie	****	ne	ne	****	****	****	***	****	***
fyzická separace	*	****	****	****	****	****	****	****	****

Zdroj: [13]

Žádný ze způsobů v současnosti nepředstavuje ideální řešení recyklace použitých materiálů, které by zajistily alespoň částečně uzavřený okruh materiálu, jelikož je velice náročné získat zpět čisté lithium (minimálně 99,5 %). Složení li-ion akumulátoru lze vidět v tabulce č. 2. Aktuálně tedy představuje recyklace především odrazový můstek pro budoucí rozšíření a zlepšování celého systému. Nesmí se ale zapomenout na ekologický aspekt, neboť každá recyklovaná baterie představuje přínos pro životní prostředí. [13] [14]

Tabulka 2: Složení li-ion baterie

Část baterie	Materiál	Hmotnostní procento
Elektrody	Uhlík	15
	Lithium-železo-oxid	23,6
	Plast a guma	2,4
Elektrolyt	Organické uhličitany	12,6
	Hexafluorofosfát lithia	3,2
Obal	Ostatní	21,2
Ostatní	Hliník	12,6
	Měď	9,5

Zdroj: [7]

4.3.6.2 Znovupoužití

Před opětovným použitím je třeba zjistit stav baterie. Důležitý je celkový stav akumulátoru SOH (state of health), který představuje, nakolik její stav odpovídá původním technickým specifikacím a je vyjadřován v procentech, kdy 100 % odpovídá originálnímu stavu. Vyřazené baterie mají často i 70 % původní hodnoty, což je více než dost pro další způsoby použití. Navíc se může i stát, že také úplně nová baterie již nemá plnou kapacitu. Pro měření a zjišťování případných defektů jednotlivých článků a potenciálně i celé baterie se používá elektrochemická impedanční spektroskopie. Z velké části rozhoduje, zdali bude baterie ještě použita či ne. Je třeba také zjistit aktuální nabití, které představuje stav nabití SOC (state of charge), který je vyjadřován taktéž v procentech. [13]

Vzhledem k nákladnosti recyklace baterií je jejich opětovné použití v jiné aplikaci výhodná alternativa, která dokáže částečně vyrovnat prozatímni finanční nevýhodnost recyklace. Opatřované akumulátory je možné použít buďto přímo u výrobce elektromobilů nebo mohou směřovat k externím subjektům, přičemž díky ekonomické výhodnosti znovupoužití je již tento trh poměrně rozšířený. K recyklaci je baterie poslána až po klesnutí maximální kapacity pod neúnosnou úroveň i v těchto aplikacích. [13]

Nejlepší využití opotřebovaných baterií je v uložištích energie pro objekty na úrovni domů či jiných velkých operací jako například datacentra, kde větší rozměry celého balení nejsou takový problém. Jako ideální se zdá být ukládání nepředvídatelných přebytků energie z obnovitelných zdrojů, případně v místech s častými výpadky elektřiny, kde slouží jako náhradní zdroj. Například koncern General Motors používá baterie z vozů Chevrolet Bolt na rezervní napájení svého datacentra, Renault na nouzové napájení výtahů. [15]

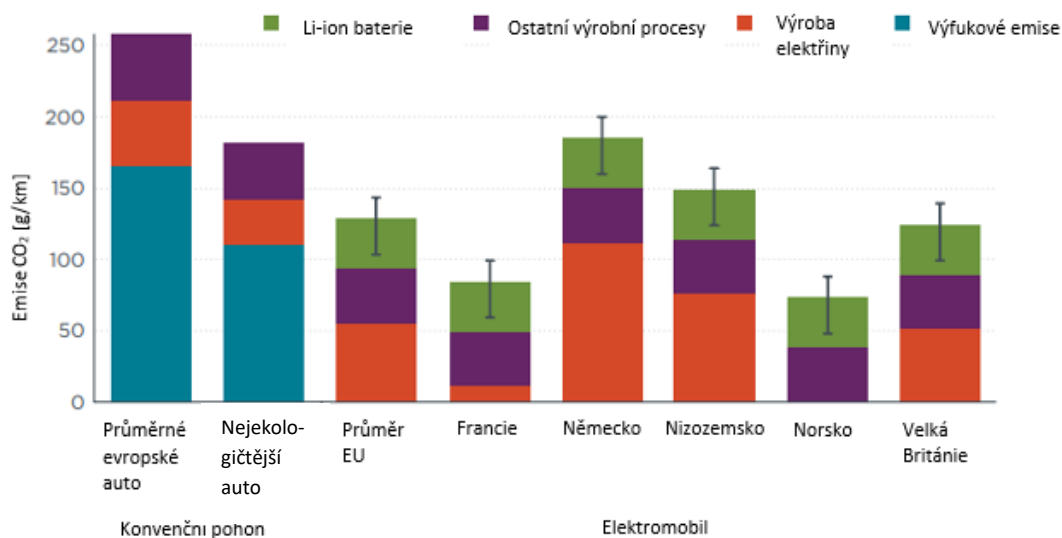
4.3.6.3 Vliv elektromobilů na životní prostředí

Elektromobily jsou politiky představovány jako ideální ekologické řešení individuální automobilové dopravy, které omezí produkci zdraví škodlivých plynů, pevných částic a skleníkových plynů. Pohledy veřejnosti jsou upírány především na nulovou produkci škodlivin během provozu elektromobilu, reálně je toto téma ovšem mnohem komplikovanější. K nulovému vypouštění emisí samotným vozem je nutné přičíst také zátěž výroby elektromobilů, produkci elektřiny pro jejich pohon a jejich zpracování po skončení životnosti, neboť tyto faktory významně ovlivní celkovou emisní bilanci. Tyto emise ale neprezentují jediné ovlivnění životního prostředí. Je nutné zahrnout i fakt, že baterie, které se v současnosti využívají, se skládají z materiálů, jejichž získávání také předkládá další ekologické otázky.

4.3.6.3.1 *Produkce skleníkových plynů*

Obecně je možné říci, že produkce skleníkových plynů při výrobě i provozu elektromobilů odpovídají energetickému mixu daného státu. V rámci Evropy je ve většině rozvinutých státech z hlediska emisí oxidu uhličitého CO₂ ekologičtější provoz elektromobilu Nissan Leaf se 30kWh baterií oproti neekologičtějšímu vozu s konvenčním pohonem, který zde byl v roce 2017 prodáván. Zmíněným vozem je Peugeot 208 se vznětovým motorem 1,6 HDi, což představuje paradox, jelikož je aktuálně vůči dieselovým motorům v Evropské unii velká averze. Peugeot je ovšem menším vozem než Nissan Leaf a z hlediska vypouštěného CO₂ se od průměru všech prodaných vozů velmi liší, jak lze vidět na obrázku č. 9. [16]

Obrázek 9: Porovnání produkce CO₂ konvenčního pohonu a elektropohonu v EU



Zdroj: [16]

Graf na obrázku se počítal pro 150 000 ujetých kilometrů. Z něj je také možné vypočítat, že složení energetického mixu je nesmírně důležité, kdy provoz v Norsku, které svoji energii získává z obnovitelných zdrojů, je dvojnásobně ekologičtější oproti Německu, které jí z velké části čerpá z uhlí. Na druhou stranu i v Německu je množství oxidu uhličitého produkované při výrobě elektřiny menší než množství, které vychází spalinami z výfuku konvenčních vozidel, takže je vždy jen otázka času, kdy bude elektromobil ekologičtější. Na počátku je elektromobil v nevýhodě kvůli náročnosti výroby baterií, ale vždy se trend nakonec obrátí. Rychlost tohoto obrátu záleží pouze na energetickém mixu ve státě, velikosti použité baterie a na způsobu její výroby. Například v Číně je produkce oxidu uhličitého při výrobě baterií až o 66 % větší oproti západním metodám. [17]

Lucemburský institut vědy a technologií v roce 2019 vytvořil nástroj pro jednoduché porovnání vypouštěných emisí CO₂ vozy se spalovacím motorem a elektromotorem. Například při porovnání variant Škody Citigo na benzín a elektřinu lze zjistit, že při ujetí 150 000 kilometrů vyprodukovala spalovací varianta 30,6 tun CO₂ a elektrická 25,3 tun, přičemž elektromobil dosáhne lepší bilance již při 60 402 km s energetickým mixem České republiky. [18]

Z hlediska budoucnosti snižování produkovaného CO₂ během výroby elektromobilu bude mít největší vliv především způsob získávání elektrické energie. To patří mezi hlavní faktory při posuzování emisí oxidu uhličitého. Proti tomu jde ovšem fakt, že se dá předpokládat zvyšování kapacity baterií pro zajištění většího dojezdu. Na druhou stranu, pokud se bude stále

více rozvíjet systém znovupoužití vyřazených baterií, navýšený deficit po zvětšení baterie by se tímto negoval, jelikož by mohla být déle používána. Pokud by se navíc zapracovalo na jejich recyklaci, výsledné hodnoty by byly ještě menší. [16]

4.3.6.3.2 *Problémy spojené se získáváním surovin*

Elektromobil je sice z hlediska provozu ekologický, ale těžba materiálů, které jsou nutné především pro výrobu li-ion baterií, významně ovlivňuje okolní prostředí. Více než polovinu světových zásob lithia se nachází v Jižní Americe na území Argentiny, Bolívie a Čile, kde je kov uložený v půdě v solném roztoku obsahující lithium a další prvky, jako je například sodík. Roztok je vysán zpět na povrch do vypařovacích nádrží, kde se několik měsíců až let odpařuje, dokud nedosáhne optimální koncentrace pro další zpracování. Tento proces zhoršuje situaci se zavlažováním půdy pro místní zemědělce, neboť je v půdě málo vody. Navíc zde hrozí vysoké riziko kontaminace hydrosféry a atmosféry, obzvláště když jsou nádrže zahřívány za účelem rychlejšího vypařování. [17] [19]

Druhý, méně častý způsob je získávání lithia z hornin, které jej obsahují. Jejich obsah lithia je sice větší v porovnání se solným roztokem, přístup k nim je ale mnohem náročnější. Extrakce čistého lithia je prováděna podle postupů, které se pro každý druh minerálu liší. Obecně se ale dá říct, že je hornina zahřívána a rozdrcena, přičemž se její zbytky smíchají s chemikáliemi, které s ní budou reagovat (například kyselina sírová), výsledný kal se zahřeje, profiltruje a následným odpařováním vody se koncentruje. Kvůli vyšší energetické náročnosti a nutným chemikáliím je proces získání lithia až dvakrát dražší oproti první metodě, proto je mnohem méně využívána. Tato metoda má negativní dopad na své okolí, neboť často obsahuje rozsáhlé povrchové doly, navíc odpadová voda z čistících procesů je zdravotně závadná a může hrozit její únik. [17]

Těžba kobaltu představuje úplně jiný problém. Většina světových zásob totiž leží v Demokratické republice Kongo, kde je kromě velmi špatných pracovních podmínek využívána dětská práce. Podle agentury UNICEF v roce 2014 pracovalo v místních dolech přes 40 000 dětí. Vzhledem k problematickému politickému prostředí bude pravděpodobně těžké zajistit zásadní změnu z personálního hlediska, na druhou stranu s rostoucím zájmem médií o elektromobilitu a její stinné stránky by mohl stoupat tlak na zlepšování podmínek. Tento problém ale není jediný. Těžba generuje velké množství prachu obsahujícího kobalt, uran a jiné kovy, který je roznášen a vdechován obyvateli v okolí dolů, což jim může způsobit vážné

dlouhodobé zdravotní problémy. V samotných dolech navíc hrozí únik toxických látek i radiace prostředí. [19] [20]

4.4 Možnosti nabíjení

Dobíjení je jedno z hlavních témat při debatách o rozvíjení elektromobility. V porovnání s doplňováním energie u spalovacích motorů je situace u elektromobilů složitější. Pro zákazníka je nejpodstatnější rozdíl v době, který tento proces zabere. Ta se liší podle velikosti baterie a způsobu nabíjení, přičemž v nejrychlejších případech proces trvá pouze pár desítek minut a v nejhorších případech i celý den.

Rozdíl oproti vozům poháněným kapalnými palivy je v tom, že elektromobil může být teoreticky nabíjen pokaždé, když není používán, což je statisticky velmi často. Navíc se provozovatelům veřejných podniků otevírají nové možnosti zvyšování konkurenceschopnosti, která spočívá v nabízení možnosti rychlejšího dobíjení. Při čistě tranzitním nabíjení je situace samozřejmě komplikovanější a méně komfortní, navíc také vyhledání správné nabíječky, spuštění a platba nemusí být úplně jednoduché, na druhou stranu se podmínky v celém odvětví velmi rychle a radikálně mění a zlepšují, takže je pravděpodobně jen otázka času, než se i tyto limity odstraní, nebo alespoň zmírní. Samotné nabíjení se rozděluje na dva druhy: střídavým proudem (AC) do 22 kW / 32 A (kilowatt / ampér) a stejnosměrným proudem nad 22 kW / 32 A (DC).

Před instalací veřejné nabíječky je nutné její stavbu nahlásit na ministerstvu průmyslu a obchodu, které si ji zavede do evidence. Provozovatel je zároveň povinen zveřejnit účtované ceny, zpřístupnit informace o stanici a kompatibilitě s různými druhy elektromobilů a umožnit jednorázové dobítí. Tím je myšleno možnost náhodného přijetí a načerpání bez energie, to ale nevylučuje nutnost stažení mobilní aplikace atd. [21]

4.4.1 AC dobíjení

Do této kategorie spadá veškeré nabíjení od připojení na obyčejnou dvoukolíkovou domácí zásuvku až po větší AC dobíjecí stanice. Vozidlo přímo čerpá střídavý proud ze sítě skrze palubní nabíječku, která jej převádí na stejnosměrný. Elektromobily se mohou lišit i v tomto ohledu, kdy některé levnější vozy mohou být nabíjeny maximálním výkonem jen 3,6 kW, průměr se pohybuje kolem 10 kW, nejvýkonnější dosáhnou dokonce 22 kW. Na této hranici se také pohybují nejlepší běžně dostupné AC nabíječky. Výkon nabíječky omezuje,

kolik energie je možné do vozu načerpat za jednotku času (obvykle uváděná jednotka je kWh, tj. 1000 wattů za hodinu), její maximum je tedy důležitější než výkon, který dokáže poskytnout energetický zdroj, což z ní dělá důležitý faktor při výběru nového vozu. Toto řešení nevyžaduje žádnou komunikaci mezi zdrojem a vozidlem, neboť veškerou regulaci napětí a proudu si obstará palubní nabíječka. [22]

4.4.1.1 Standardní domácí jednofázová zásuvka

Při připojení do klasické jednofázové domácí zásuvky s maximálním proudem 12 A (nazývaná též „Schuko“), je nabíjecí výkon pouze 2,3 kW, respektive v lepším případě při 16 A jističi výkon 3,6 kW. Při pohybu v takových hodnotách je nabíjení dlouhodobě přijatelné pouze pro vozy s malou kapacitou baterií jako například Volkswagen e-Up!, jehož baterie má obsah 18,7 kWh. Pokud je vůz dobíjen například přes noc či den během práce v kanceláři, pro provoz takového vozidla to může dostačovat. Pro elektromobily s větší baterií, jako je například Tesla Model S, to již představuje problém, neboť jejich kapacita se může pohybovat i okolo 80 kWh a výše. Nevýhoda. Přes výše zmíněné nevýhody je tento způsob nabíjení zajímavý hlavně tím, že tyto zásuvky jsou běžně dostupné a umožňují dobíjení téměř kdekoliv bez nutnosti speciální infrastruktury. [23] [24]

4.4.1.2 Průmyslová třífázová zásuvka

Pro dosažení lepších nabíjecích časů, ale stále za předpokladu relativní jednoduchosti a dostupnosti, lze využít standardní průmyslovou třífázovou zásuvku s pěti kolíky. Její obrovská výhoda spočívá v relativně jednoduché možnosti zavedení ve stávající síti a potenciál velkých nabíjecích výkonů v porovnání se standardní zásuvkou. Méně výkonná varianta s 16 A jističem dokáže poskytovat nabíjení až o výkonu 11 kW. Může se vyskytovat v hotelech, úřadech, obchodech atd. nebo také u rodinných domů, kde je třeba pro napájení například cirkulárky. Adaptér pro připojení na tento konektor nebývá standardní výbavou elektromobilů, ale lze ji jednoduše dokoupit. [23] [25]

V případě zásuvky s jističem 32 A, která je o něco větší než varianta s nižším proudem, je možná nabíjecí výkon až 22 kW, což dobíjecí čas zkracuje jen na několik hodin. Takovéto řešení se ale nevyskytuje všude, mělo by být možné jej ale najít například u restaurací či hotelů. Pro minimalizaci přenosových ztrát je vhodné umístit nabíjecí zásuvku co nejbližší k příslušnému jističi, stejně tak není optimální opět kvůli ztrátám či riziku vzniku požáru

používat prodlužovací kabely. Příklad takového nabíjení u veřejného podniku je na obrázku č. 10, kde lze vidět sloupek se dvěma třífázovými zásuvkami na 16 a 32 A a tři běžné jednofázové zásuvky. [23]

Obrázek 10: Sloupek se zásuvkami pro všechny varianty AC dobíjení



Zdroj: [23]

Jak již bylo výše zmíněno, je také nutné mít odpovídající palubní nabíječku, která dokáže takový příchozí výkon zpracovat, jinak zůstane potenciál nevyužitý. Například Hyundai Ioniq s 28 kWh baterií a palubní nabíječkou o maximálním výkonu 6,6 kW se tímto způsobem nabije z nuly do maxima za 5 hodin. [26]

4.4.1.3 Wallboxy

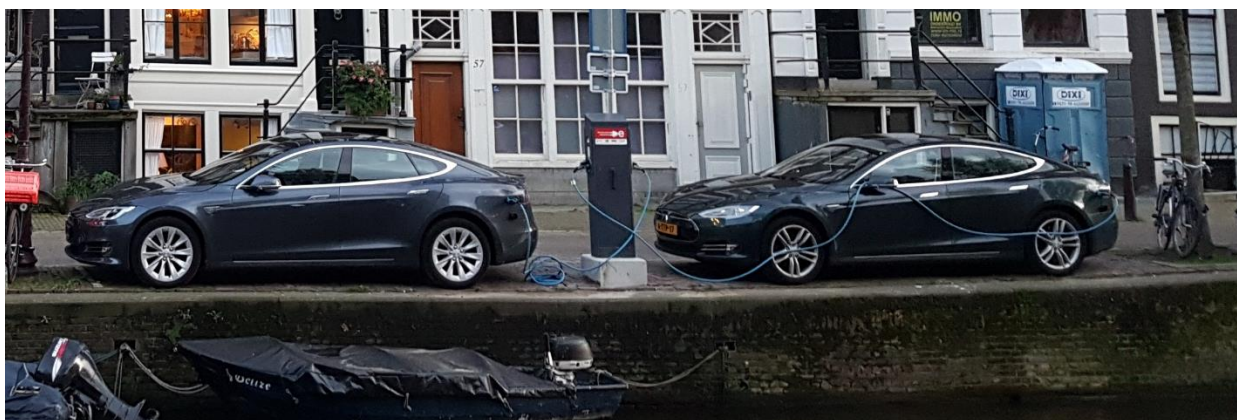
Tzv. wallboxy jsou externí zařízení pro nabíjení elektromobilů, které se zapojují přímo do rozvodné desky k vlastním jističům. Oproti nabíjení přes zásuvky je toto řešení bezpečnější, neboť samo dokáže sledovat stav napětí a proudu a případně je regulovat. S tím také u vybavenějších variant souvisí možnost řízení nabíjení podle různých parametrů jako je například cena, neboť nejvýhodnější nabíjení je během cyklu nižšího tarifu, tzv. nočního proudu. Navíc je díky wallboxům možné čerpat energii z integrovaných zdrojů obnovitelné energie, které by měl majitel instalované u svého domu například ve formě fotovoltaických panelů. To umožní, kromě investic do panelů, dobíjení zdarma a především plně ekologický provoz elektromobilu. [27] [28]

Z hlediska nabíjecích výkonů jsou na tom wallboxy stejně jako třífázová zásuvka, tj. záleží na použitém jističi. Při 16 A poskytují 11 kW, při 32 A nabízejí 22 kW. Stále ale přivádí střídavý proud, tudíž záleží na výkonu palubní nabíječky. Proto může mnohdy postačovat méně výkonná verze, která je samozřejmě také levnější a vyžaduje menší nároky na elektrické rozvody. Cenově se pohybují od 10 do zhruba 50 tisíc korun. Toto řešení je již možné použít pro veřejné jednoduše kontrolovatelné nabíjení, neboť některé varianty umožňují použití přihlašování pomocí RFID či NFC čipů, komunikaci se sledovací sítí atd. [23]

4.4.1.4 AC dobíjecí stojany

Stojany pouze na AC dobíjení se ve své podstatě nijak neliší od wallboxů. Nabízí stejný nabíjecí výkon 22 kW při 32 A a poskytují stejné bezpečnostní benefity. Kvůli své konstrukci pevného uchycení do země, většinou do chodníku, jsou předurčené pro veřejné nabíjení, navíc je však pro jejich stavbu kvůli trvalému zasahování do veřejného prostoru nutné stavební povolení. Kvůli těmto faktorům je vyšší také cena instalace, která se pohybuje mezi 100–200 tisíci. V České republice začínají tyto stanice vznikat například u obchodních řetězců pro získání konkurenční výhody, v některých městech existují plány pro jejich instalaci na ulici pro zajištění domácího nabíjení pro řidiče elektromobilů, kteří nemají možnost vlastního připojení. Příklad ideálního řešení je na obrázku č. 11, kde lze vidět příklad instalace v Amsterdamu, ve kterém je elektromobilita velice rozšířená. Nabíjecí stanice tam jsou umístěné přímo na ulici, tudíž lidé mají možnost jednoduše nabít své vozy, i když si nemohou zajistit vlastní nabíječku. [23]

Obrázek 11: Příklad ideálního řešení pouličního nabíjení elektromobilů



Zdroj: autor

4.4.2 DC dobíjení

Pod DC nabíjení spadají veškeré dobíjecí stanice, které do elektromobilu posílají stejnosměrný proud. Díky jejich vlastním usměrňovačům jsou kompletně vynechány palubní nabíječky, což odstraňuje, nebo alespoň výrazně zlepšuje, velké rychlostní omezení při nabíjení. To zároveň také znamená, že dobíjecí stanice musí s vozem komunikovat. Nejprve musí být z obou stran potvrzena kompatibilita a připravenost k nabíjení. Z elektromobilu poté plynou informace jako například úroveň nabití baterie, napětí, případné omezení nabíjecího výkonu pro předejití přehřátí systému ve voze, dodržení bezpečnostních limitů atd. [29]

Dostupné nabíjecí výkony se pohybují od 50 kW výše, horní limit je neustále zvyšován. Například stanice Ionomy, které poskytují nabíjení v celé západní a střední Evropě, mají špičkový výkon až 350 kW, varianty ostatních poskytovatelů se pohybují na 70 či 150 kW. To jsou ale jen výjimky, naprostá většina nabíječek v České republice má výkon pouze základních 50 kW, což může být dostačující pro vozy s malými bateriemi, pro větší typy to již může být poměrně zdlouhavé. [30] [31]

Nezáleží ovšem jen na čistém výkonu, ale i na schopnostech elektrovýbavy vozidla. Jejich nabíjecí soustavy, a především baterie, nemusejí být stavěné na takovéto výkony, naopak je tvoří spíše výjimky v oblasti luxusních vozů. Hranice u cenově dostupnějších elektromobilů se pohybuje na 100 kW. To, včetně kapacity baterie, výrazně ovlivňuje procentuální rychlost dobíjení. Jako příklad lze uvést Porsche Taycan Turbo S, který je schopen nabíjení až o 270 kW, což při napojení na 350 kW nabíječku naplní jeho 93,4 kWh baterii z 10 na 80 % za 21 minut, přičemž u 50 kW verze proces trvá při stejných parametrech 74 minut. Z nejrychlejšího nabíjení lze také vidět, že nevyužije její plný výkon, ale při samotném procesu to nijak nevadí. [32]

V informačních materiálech se pro DC nabíjení prezentuje především nabíjení do 80 %, neboť v tomto rozmezí není dobíjecím systémem nijak omezováno, a je tudíž nejrychlejší. Po přesáhnutí této hranice je rychlost rapidně snížena až na úroveň AC dobíjení, aby se předešlo poškození baterie. Proto je pro ohleduplnost k ostatním vhodné po snížení nabíjecího výkonu vypnout DC a přepnout na AC, aby se rychlé nabíjení uvolnilo ostatním uživatelům elektromobilů.

DC nabíjecí stanice totiž kromě rychlého nabíjení také poskytují možnost pomalého AC. To je spojené s velkou nevýhodou současných rychlých nabíječek. I když mají v sobě často připravených více kabelů pro různé typy automobilových konektorů, vysokými DC výkony dokážou nabíjet pouze jeden elektromobil. Také proto bývá k dispozici ještě další konektor pro

AC dobíjení, aby bylo možné při čekání na uvolnění rychlé varianty dobíjet alespoň pomalu. Samozřejmě některé vozy mohou podporovat jen pomalé nabíjení, například Smart EQ nebo všechny plug-in hybridní vozy. Příklad rychlé nabíječky je na obrázku č. 12, kde je možné vidět verzi od společnosti ČEZ. Nabízí DC připojení o výkonu 50 kW přes konektory CCS a CHAdeMO (více viz kapitola 4.4.3.2) plus konektor pro AC nabíjení s 22 kW.

Obrázek 12: Příklad DC nabíjecí stanice



Zdroj: <https://elektrickevozy.cz/wp-content/uploads/2019/07/cez-rychlodobijeci-stanice-podebradska-mcdonalds-praha-obr4.jpg>

4.4.2.1 Tesla Supercharger

Výjimku v dobíjecích stanicích tvoří Superchargery pro vozy Tesla. Jsou to jediné rozšířené dobíječky, které staví a provozuje samotná automobilka, které jsou navíc přístupné pouze pro vlastní vozy. Je to jeden z prodejních argumentů společnosti, neboť pomáhají odstraňovat komplikované řešení poskytovatele nabíjení a může to limitovat čekání. Řidič vozu Tesla tedy jednoduše přijede k Superchargeru, zapojí svůj vůz a ten se hned začne nabíjet. V České republice zatím nejsou příliš rozšířené, zatím se jich v tuzemsku nachází jen pár, jejich počet ale roste, a především více na západ představují velice lákavý benefit pro tranzitní cestování. Ten ještě doplňuje možnost nabíjení zdarma pro Modely X a S, což je naprosto jedinečná nabídka v této branži. Tato nabídka je ale závislá na aktuálních prodejích a může se v budoucnu měnit. [33]

Také z hlediska rychlosti nabíjení mají vozy Tesla podstatnou výhodu oproti ostatním elektromobilům. Jejich běžný nabíjecí výkon je v Evropě 120 či 150 kW (v Čechách 150 kW), což jsou trojnásobné hodnoty oproti většině ostatních veřejných nabíječek. Je ale třeba mít na paměti, že se tento výkon dělí mezi pár dvou sousedících stojanů. Superchargery jsou stavěné v několika párech na každém dobíjecím místě, takže je vhodné nabíjet ve volném páru či vedle vozu, který je nabitý z více než 80 %, neboť poté je výkon omezován, a tím pádem je k dispozici pro druhý elektromobil. V blízké budoucnosti budou dokonce instalovány nabíječky o nesdíleném výkonu 250 kW, co ještě více posílí pozici automobilky. Některé dobíjecí místa jsou krytá solárními panely, což umožňuje nabíjení obnovitelnou energií, limitující náklady a zvyšující ekologičnost provozu. Toto je ukázka symbiózy portfolia Tesly, tj. získávání ekologické energie skrze solární panely, která je ukládána do bateriových zásobníků, ze kterých následně mohou čerpat elektromobily. Obrázek č. 13 ukazuje příklad nabíjecí stanice se Superchargery s fotovoltaickými panely na krycí střeše. [33]

Obrázek 13: Tesla Superchargery se zdrojem elektřiny z fotovoltaických panelů



Zdroj: [33]

4.4.3 Konektory na dobíjecích stanicích

Na rozdíl od tankování paliva do konvenčních vozů je čerpání energie do elektromobilů složitější i s ohledem na propojení vozu a dobíjecí stanice. Vzhledem k přítomné elektřině v kabelech zde existují mnohem větší potenciální rizika, je tudíž nutné, aby byl tento proces zajištěný a zabezpečený. Opět se rozdělují především podle nabíjecích výkonů. Přehled všech používaných konektorů lze vidět na obrázku č. 14.

Obrázek 14: Přehled používaných nabíjecích konektorů



Zdroj: <https://www.ecofuture.cz/clanky/-a123611---rLRmVL5-/maxresdefault.jpg>

4.4.3.1 Konektory na AC dobíjení

Specifikum nabíjecích kabelů pro AC dobíjení je to, že v nabíjecích stanicích se většinou nachází pouze konektor, ke kterému je nutné připojit propojovací kabel. Ten je ale vždy prodáván s elektromobilem, případně jej lze díky standardizaci jednoduše dokoupit. Ne všechny konektory jsou přítomné na všech nabíjecích stanicích, je ale možné používat adaptéry na ostatní používané typy.

První dnes stále používaný konektor je Type 1. U nových vozů již není používán, ale stále je možné jej vidět v populárních vozech Fiat 500e, Mitsubishi iMieV a z něj odvozených vozech, první generaci Nissanu Leaf atd. Jeho nevýhoda spočívá v použití jedné fáze, tudíž nedokáže přenést velké nabíjecí výkony. Zbylé piny konektoru jsou uzemňovací, nulové a na uzamčení konektoru. Maximální protékající proud je 32 A, který umožňuje výkon 7,4 kW. [34]

Mnohem rozšířenější a v nových vozech již přítomný je Type 2, kterému se také říká Mennekes podle společnosti, která jej rozšířila. V dnešní době již tvoří standard pro evropské elektromobily. Přítomný je také ve vozech Tesla Model 3, které jsou určeny pro Evropu a které se tímto adaptují na místní podmínky. Oproti předchozímu typu se liší třemi přítomnými fázemi, které umožňují přenos až 63 A a v případě vzácného rychlého AC dobíjení výkon až 44 kW. [34]

4.4.3.2 Konektory na DC dobíjení

Nabíjecí kabely pro DC dobíjení jsou již pevně připojené k dobíjecím stanicím. Je tomu tak především s ohledem na bezpečnost kvůli přítomnosti vysokého napětí. Navíc je nutné

komunikační vedení, neboť kvůli obcházení palubní nabíječky je potřeba nabíjecí výkon regulovat pomocí informací z řídicí jednotky elektromobilu do externí nabíječky.

V Evropě nejpoužívanější konektor pro rychlé nabíjení je CCS Combo. Lze jej najít na všech elektromobilech evropských automobilek plus několik dalších. Využívá dříve popsany Type 2 a rozšiřuje jej o další dva fázové piny. Díky tomu je možné omezit potřebné množství konektorů na elektromobilu, neboť si pro pomalé i rychlé nabíjení vystačí pouze s CCS. Nabíjení skrze tento standard dosahuje nejvyšších nabíjecích výkonů, které je v současnosti 350 kW, nejrozšířenější je ale 50 kW. [34]

Druhá varianta je CHAdeMO, který je používán pouze pro DC nabíjení. Byla vyvinuta v Japonsku, proto je používán především asijskými automobilkami ve vozech Nissan Leaf, Kia Soul EV atd. Nejvyšší nabíjecí výkony jsou 62,5 kW o 125 A, v upravené variantě až 400 kW, ale ta ještě není rozšířená, navíc počet nových vozů s tímto konektorem klesá a je nahrazený CCS. [34]

Tesla v Severní Americe používá vlastní konektorový standard, který používá jak pro pomalé nabíjení z wallboxu tak ze Superchargeru. Pro připojení na ostatní typy je nutné využít adaptéry. V Evropě jsou pro Modely S a X používány upravené Type 2, ale pro Model 3 je již konektor přizpůsoben pro Evropu a má CCS, Superchargery tedy musí mít dvě typy koncovek pro všechny modely.

5 Praktická část práce

V diskusích o elektromobilech je velmi často skloňovaným pojmem jejich dojezd. I když je vysoce pravděpodobné, že při průměrném denním kilometrovém nájězdě běžného občana by pravděpodobně současné možnosti elektromobilů velké části obyvatelstva plně vystačily, působí to minimálně jako výrazný psychologický faktor, který může případně zájemce o elektrický vůz odrazovat. Tyto omezení jdou ruku v ruce se sítí dobíjecích stanic, jejichž úkolem je zajistit bezproblémové nabíjení na delších cestách, na které jsou schopnosti elektromobilů stále krátké. Jeden z nejpodstatnějších faktorů ovlivňující dojezd, stejně jako u vozů s konvenčním pohonem, je spotřeba energie. Její množství je závislé na mnoha faktorech, z nichž některé jsou neměnné a některé jsou ovlivnitelné a proměnlivé.

Spotřebě energie je věnována praktická část této práce. Jejím cílem je zjistit vliv měnících se provozních podmínek na její celkové hodnoty. Obecný předpoklad je, že s klesající teplotou okolního vzduchu roste spotřeba energie, a tudíž celkový dojezd klesá. To je dáno především zvyšujícími se odpory během chemických reakcí uvnitř baterií, které se mohou buď překonávat nebo u systémů s kapalinovou termoregulací je možné uloženou energii částečně využít pro zahřívání baterie. To je ovšem stále něco, co řidič nemůže sám nijak ovlivnit a je plně odkázán na propracovanost inženýringu, který výrobce do termomanagementu zapracoval. Je ale částečně možné ovlivnit energetické výdaje na palubní spotřebiče. Jelikož elektromotor produkuje oproti spalování kapalinového paliva minimální množství odpadního tepla, nemůže jej využívat pro vytápění prostoru pro posádku. Musí proto pro tyto účely využívat další spotřebiče, které využívají energii, která by jinak byla použita pro pohon vozu.

Za tímto účelem bylo provedeno měření, jehož cílem je velikost těchto vlivů dokázat a odvodit od nich jejich závažnost při cestování na dlouhé vzdálenosti. Za účelem získání více relevantních dat byly testovány dva elektromobily. Po prezentování výsledků budou představeny možné vysvětlení dosažených a naměřených hodnot při experimentu.

5.1 Testované vozy

Měření spotřeby byly prováděny na nových vozech Hyundai Ioniq Electric a Nissan Leaf ve verzi s menší 40 kWh baterií. Oba elektromobily měly nejvyšší stupeň výbavy včetně moderních prvků jako adaptivní tempomat s aktivním řízením na dálnici, automatické přepínání dálkových světel nebo nouzové brzdění při registrování překážky. Oba vozy navíc umožňují jízdu na jeden pedál, kdy brzdění je obstaráváno skrze rekuperaci energie elektromotorem, která

se aktivuje pouštěním akceleračního pedálu. Každé vozidlo má hranici, při které je rekuperace aktivována, nastavenou jinak. Tímto způsobem je možné elektromobil velice účinně zpomalit, například při jízdě dálniční rychlostí naprosto bez problému zajistí zpomalení v odbočovacím pruhu na úroveň pro bezpečné odpojení. Zapojení mechanických brzd je nutné pouze v nouzových situacích.

Oba elektromobily mají baterie chlazené vzduchem, přičemž výhody a nevýhody tohoto řešení byly popsány v kapitole 4.3.4.1. U některých elektromobilů je možné nalézt zavazadlový prostor v přední části kvůli absenci velkého spalovacího motoru a s ním spojených komponent, ani jeden ze zkoušených vozů tuto možnost však kvůli malým celkovým rozměrům nenabízí. Přes relativně nízký výkon obou vozů je okamžitá dostupnost maxima točivého momentu přenesena do velmi rychlého nabírání rychlosti v městském prostředí. Při dálničních rychlostech je nutné počítat s vysokou spotřebou, která velice rychle zkracuje dojezd. Tento fakt dokonce reflektují i palubní navigace, které preferují trasy mimo dálnice za účelem úsporné jízdy. V následujících podkapitolách budou vozy stručně popsány.

5.1.1 Hyundai Ioniq Electric

Model Hyundai Ioniq má několik verzí pohonných jednotek. Prodává se jako hybrid, plug-in hybrid a čistě elektrický vůz, který byl v měření použit. Oproti ostatním elektromobilům se liší především v tom, že energii ukládá do lithium – polymerové (Li-pol) baterie. Při jeho návrhu byl kladen velký důraz na efektivitu, jeho karoserie je zaměřená na minimální aerodynamický odpor, což se odráží ve velmi nízkých hodnotách spotřeby energie, ale také to například zhoršuje výhled ven, kdy zadní okno je pro snížení generovaných turbulencí výrazně skloněné a je ukončeno v půli zadní části. Díky minimu potřebného vzduchu oproti konvenčním vozům nejsou třeba velké vzduchové průduchy, při nutnosti zvýšeného chlazení se otevřou klapky v přední masce, které lze vidět na obrázku č. 15 na příkladu popisovaného elektromobilu.

Obrázek 15: Hyundai Ioniq Electric



Zdroj: https://thedriven.io/wp-content/uploads/2019/12/2020-ioniq-electric-20191204_103436.jpg

Vůz je velice dobře zkonstruovaný a rozumně velký, spadá mezi VW Golf a Škodu Octavii. Svým dojezdem umožňuje již delší cesty bez větších omezení, pro časté dlouhé cestování to ale stále není ideální. Vzhledem k nízkému aerodynamickému odporu a dobrému odhlučnění je kabina tichá a klidná. Již dříve zmíněné brzdění rekuperací energie je možné stupňovat pomocí pádel pod volantem, takže tento relativně nezvyklý prvek lze přizpůsobit pro řidiče, kteří na něj ještě nejsou zvyklí. Nabíjení je obstaráno skrze konektor Combo CCS, zajišťující jak rychlé DC, tak AC nabíjení skrze Type 2, a je umístěn vzadu na straně řidiče, což ctí standard z konvenčních vozů a ulehčuje přechod na elektromobilitu.

Hyundai a sesterská automobilka Kia je ve vývoji elektromobilů oproti začínajícím subjektům velmi napřed. S elektrickými vozy začaly jako jedni z prvních velkých automobilek a již mají hodně zkušeností, což se odráží na propracovanosti jejich pohonných systémů. Navíc na jejich vývoji spolupracují se společností Rimac, která je známá především díky svým elektrickým hypersportům. Hyundai a Kia za poslední dekádu udělaly velký pokrok a jejich vozy jsou nyní velmi dobře promyšlené a žádané. V tabulce č. 3 jsou základní informace o vozu.

Tabulka 3: Základní údaje Hyundai Ioniq Electric

Veličina	Hodnota
Kapacita baterie	38,3 kW/h
Výkon	113 kW
Točivý moment	295 N.m
Výkon palubní nabíječky	7,2 kW
Maximální dobíjecí DC výkon	50 / 100 kW (s příplatkovou výbavou)
Spotřeba energie dle cyklu WLTP	13,8 kWh/km
Maximální kombinovaný dojezd dle WLTP	311 km
Koeficient odporu vzduchu	0,24
Provozní hmotnost	1 602 kg
Záruka na baterii	8 let / 200 000 km
Základní ceníková cena vozu	899 990 Kč
Ceníková cena testovaného vozu	1 049 990 Kč

Zdroj: <https://www.hyundai.cz/files/download/model/ioniq-electric/hyundai-ioniq-20190827-technicka-data.pdf>

5.1.2 Nissan Leaf

Zkoušený Nissan Leaf je zástupce již druhé generace tohoto modelu. První verze odstartovala větší rozšíření elektromobilů do povědomí širší veřejnosti, jelikož to byl první vůz rozumné velikosti za relativně nízkou cenu. V porovnání s konvenčními modely byl samozřejmě dražší, to byla a stále je cena za přinášení nových trendů. Jeho design byl ale lehce nekonvenční, což mohlo některé budoucí zájemce odradit. Nový model z tohoto pohledu mnohem více dospěl a kromě aerodynamické přední části vypadá uvnitř i navenek jako úplně běžný vůz, nebyla zde snaha o vizuální odlišení vozu od konvence, viz obrázek č. 16. To může oslovit zákazníky, kteří hledají nejlepší možný vůz pro splnění svých potřeb, ale ne konkrétně elektromobil.

V lednu 2020 byl stále ještě nejprodávanějším elektromobilem na světě, jako první překonal v prosinci 2019 kumulativní hranici 450 000 vyrobených vozidel. Toto prvenství mu ale nevydrží dlouho, neboť do 4. ledna 2020 prodala automobilka Tesla 448 634 Modelů 3, přičemž jen za rok 2019 jich bylo 300 815, což je na poměry elektromobilů naprosto absurdně vysoké číslo. V době psaní této práce nebylo možné dohledat přesná čísla aktuálních prodejů,

ale je vysoce pravděpodobné, že Tesla prvenství buď již získala, nebo jej bude mít v nejbližších dnech. [35] [36]

Energie je v Nissanu ukládána do li-ion bateriového modulu, který může mít v Leafu dvě velikosti (62 a 40 kWh). Úroveň zpracování není tak vysoká jako u Ioniq, ale také zde je jízda tichá a klidná, což je u elektromobilu velice důležité. Nabíjecí konektory se nacházejí ve přední části nad logem výrobce a přítomné jsou CHAdeMO pro DC a Type 2 pro AC dobíjení. Toto umístění je velmi příhodné pro nabíjení u venkovních stanic, protože se často nacházejí u míst pro kolmé parkování, takže je konektor jednoduše přístupný a není třeba nabíjecí kabel složitě natahovat na delší vzdálenost, pokud je stanice u vedlejšího místa. Příklad Nissanu Leaf lze vidět na obrázku č. 16.

Obrázek 16: Nissan Leaf



Zdroj: https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Techdata/Nissan_LEAF_Tech_data_CZ.pdf

V tabulce č. 4 jsou vypsané nejdůležitější parametry Leafu. Z nich lze vyčíst, že v porovnání s Ioniqem nabízí nepatrně větší baterii, ale přinejmenším kvůli vyššímu aerodynamickému odporu nabízí kratší dojezd dle měření WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles test). Kromě tabulkových hodnot je potřeba zohlednit také jeho vyšší základní cenu, slabší palubní nabíječku, kratší záruku na baterii a horší zpracování interiéru, takže v souhrnu je Nissan Leaf jasně horší než Hyundai Ioniq, i když je celkově novější (2018 oproti 2016).

Tabulka 4: Základní údaje Nissan Leaf (s 40 kWh baterií)

Veličina	Hodnota
Kapacita baterie	40 kWh
Výkon	110 kW
Točivý moment	320 N.m
Výkon palubní nabíječky	3,6 / 6,6 kW (s příplatkovou výbavou)
Maximální dobíjecí DC výkon	50 kW
Spotřeba energie dle cyklu WLTP	17,1 kWh/km
Maximální kombinovaný dojezd dle WLTP	270 km
Koeficient odporu vzduchu	0,28
Provozní hmotnost	1 597 kg
Záruka na baterii	8 let / 160 000 km
Základní ceníková cena vozu	937 000 Kč
Ceníková cena testovaného vozu	1 050 000 Kč

Zdroj: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>

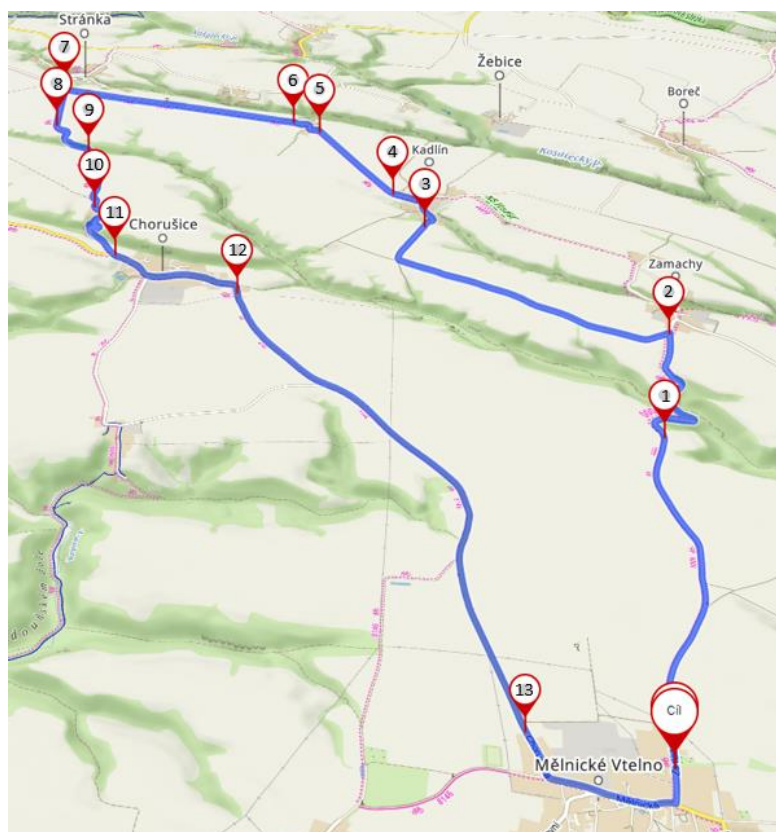
5.2 Postup měření

Měření probíhalo několikrát během podzimu a zimy v roce 2019 na veřejných silnicích u Mladé Boleslavi. V následujících podkapitolách budou popsány detaily s cílem přestavení měření.

5.2.1 Měřicí okruh

Okruh pro měření byl vytvořen na vedlejších silnicích s nízkou úrovní dopravy pro zajištění minimálního ovlivnění výsledků, jehož celková délka činí 20,1 km. Vedl přes obce Mělnické Vtelno, kde byl začátek a konec, Kadlín, Ledce, Choroušky a Chorušice. Na obrázku č. 17 lze vidět vyznačený okruh na mapovém portálu www.mapy.cz a na obrázku č. 18 je prezentován výškový profil trasy.

Obrázek 17: Měřicí okruh



Zdroj: <https://mapy.cz/s/jujurefazo>

Obrázek 18: Výškový profil měřicího okruhu



Zdroj: <https://mapy.cz/s/jujurefazo>

Na obrázku č. 17 lze také vidět zakreslená čísla. Ty představují rozdělení jednotlivých rychlostních zón, které byly dodržovány během celého měření. Rychlostní rozpětí se pohybovalo od 30 do 90 km/h a jednotlivé rychlosti byly vybrány tak, aby představily účinnosti pohonu v různých rychlostech. Zároveň byl brán ohled na rychlostní limity stanovené zákonem a na bezpečnost provozu. Průměrná rychlost se pohybovala okolo 46 km/h a jedna jízda trvala v průměru 26 minut. Rozpis jednotlivých zón lze vidět v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Rychlostní zóny na měřícím okruhu

Zóna	Nastavená rychlost [km/h]	Zóna	Nastavená rychlost [km/h]
Start – 1	50	7 – 8	70
1 – 2	30	8 – 9	30
2 – 3	70	9 – 10	50
3 – 4	30	10 – 11	30
4 – 5	70	11 – 12	50
5 – 6	30	12 – 13	90
6 – 7	90	13 – cíl	50

5.2.2 Řízení vozidla

Veškeré řízení rychlosti bylo prováděno pomocí adaptivního tempomatu. Zrychlování na stanovené zónové rychlosti bylo obstaráváno nastavením na příslušnou hodnotu a vůz na ni sám zrychlil. Zpomalování bylo řízeno stejným způsobem a plně jej zajišťovala rekuperace energie. U Hyundai Ioniq byla nastavena na nejvyšší stupeň, u Nissanu Leaf byla pouze aktivována, jelikož u něj nebylo možné přizpůsobení, přičemž intenzita zhruba odpovídala maximálnímu nastavení Ioniq. Tento způsob řízení byl zvolen pro zajištění minimalizace omezení ovlivnění výsledků lidskými nedokonalými a nestejnými zásahy a pro maximalizaci přesnosti změřených dat. Pouze pro úplné zastavení z velmi nízkých rychlostí v rámci jednotek kilometrů v hodině bylo třeba použít mechanické brzdy skrze brzdový pedál, ale to bylo během měření nutné pouze při finálním zastavení na konci okruhu, což ve výsledku mělo minimální vliv na změřené hodnoty.

Před každou jízdou byla vždy vynulována všechna počítadla krátkodobého měření jízdních parametrů. Po dokončení okruhu vůz vždy 10 minut stál pro dosažení požadovaných

změn v nastavení vozidla a pro jeho ustálení po jízdě, která v průměru trvala 20 minut. Ihned po každé jízdě byla z palubního počítače zaznamenána průměrná spotřeba od posledního restartování, což odpovídalo jednomu měřicímu okruhu. Pro každé nastavení bylo provedeno pět jízd pro zajištění relevance změřených dat, ze kterých byl proveden průměr. Dobíjení probíhalo na veřejné DC nabíječce v Mladé Boleslavi u leteckého muzea. Ta je provozována městem, které poskytuje nabíjení zdarma. Pro nabíjení je tedy třeba jen připojit kabel a aktivovat jej na ovládacím panelu.

5.2.3 Nastavení vozidla

Nastavení vozidla a palubních přístrojů bylo měněno za účelem zjištění jejich vlivu na celkovou spotřebu energie po ujetí celého měřicího okruhu. Celkem bylo zvoleno pět kombinací, které je možné vidět v tabulce č. 6.

Tabulka 6: Odlišná nastavení vozidla během měření

Číslo nastavení	Nastavení		
	Klimatizace [C°]	Jízdní režim	Vyhřívání
1	20,5	Standardní	Vypnuté
2	20,5	Standardní	4 sedačky
3	30	Standardní	4 sedačky, volant, čelní a zadní okno
4	Vypnuta	Standardní	Vypnuté
5	20,5	Eco	Vypnuté

Při měření za nízkých teplot s vypnutou klimatizací bylo nutné několikrát během jízdy interiér vozu vyvětrat otevřením oken, neboť se brzy na vnitřní straně čelního skla začala srážet vlhkost, která zhoršovala viditelnost z vozu ven. Pro maximální omezení ovlivnění měření bylo větrání prováděno pouze v úsecích s nastavenou rychlostí 30 km/h, během které je vliv zvýšeného aerodynamického odporu na spotřebu co nejvíce minimalizován. Během všech měření byly pro zajištění co největší podobnosti jednotlivých jízd zapnuta potkávací světla, i když to nebylo z hlediska světelných podmínek vždy nutné. V následující podkapitole bude popsána logika za jednotlivými nastaveními vozů

5.2.3.1 Logika za výběrem nastavení vozů

Nastavení č. 1: Představuje standardní podmínky pro běžnou jízdu, které se dají aplikovat na většinu roku. Zároveň slouží jako základ pro porovnání s ostatními nastaveními.

Nastavení č. 2: Od první možnosti se liší pouze v zapnutém vyhřívání všech sedaček ve vozech. To může sloužit jako jednoduchá náhrada za zvýšení požadované teploty interiéru. Výhodnost tohoto nastavení bude potvrzena experimentem.

Nastavení č. 3: Cílem tohoto nastavení bylo ukázat důsledek nejvíce energeticky náročnějších spotřebičů energie. Může představovat zimní ranní výjezd s námrazou na vozidle a promrzlým interiérem. Na maximum je nastavené vyhřívání sedaček a zadního okna, s ohřevem interiéru je spojeno také foukání teplého vzduchu na čelní sklo. V tomto režimu je očekávána nejvyšší spotřeba.

Nastavení č. 4: Toto nastavení je naprostým opakem předchozího. Klimatizace byla vypnuta, což je často představováno jako jednoduchý způsob zajištění delšího dojezdu v nouzových situacích. Klíčový bude rozdíl oproti první variantě.

Nastavení č. 5: Od prvního režimu se liší pouze zapnutím eko režimu. Při jeho aktivaci elektromobily sami okamžitě ukážou delší maximální dojezd, který má z jízdního hlediska vliv hlavně na reakci akceleračního pedálu. Ten je ale z prováděných měření úplně vyrazen, tudíž bude zajímavé zjistit, jestli bude mít na celkové hodnoty nějaký výrazný vliv.

6 Výsledky a jejich zhodnocení

6.1 Výsledky měření

V následujících tabulkách a grafech jsou zobrazené výsledky měření, přičemž jsou rozdělené do podkapitol podle zkoušených vozů.

6.1.1 Hyundai Ioniq

V tabulkách 7, 8 a 9 se nachází změřené hodnoty pro Hyundai Ioniq.

Tabulka 7: Hodnoty spotřeby energie vozu Hyundai Ioniq při 0 °C

Teplota = 0 °C		Nastavení vozu				
		1	2	3	4	5
Změřené hodnoty [kWh/km]	První jízda	16,9	17	26,4	13	16,2
	Druhá jízda	16,9	17	26,7	13,2	16
	Třetí jízda	17,1	17,3	26,5	13	16,3
	Čtvrtá jízda	17	17,1	26,5	13,2	16,4
	Pátá jízda	16,8	17	26,3	13,1	16,4
	Průměr	16,94	17,08	26,48	13,1	16,26

Tabulka 8: Hodnoty spotřeby energie vozu Hyundai Ioniq při 5 °C

Teplota = 5 °C		Nastavení vozu				
		1	2	3	4	5
Změřené hodnoty [kWh/km]	První jízda	15,5	15,4	25	11,6	14,6
	Druhá jízda	15,4	15,6	25,2	11,4	14,8
	Třetí jízda	15,4	15,5	24,9	11,6	14,7
	Čtvrtá jízda	15,6	15,6	25,2	11,5	14,8
	Pátá jízda	15,5	15,6	25,1	11,3	14,7
	Průměr	15,48	15,54	25,08	11,48	14,72

Tabulka 9: Hodnoty spotřeby energie vozu Hyundai Ioniq při 14 °C

Teplota = 14 °C		Nastavení vozu				
		1	2	3	4	5
Změřené hodnoty [kWh/km]	První jízda	13,6	13,8	23	11	13,1
	Druhá jízda	13,6	13,7	22,8	11,2	13,2
	Třetí jízda	13,6	13,9	22,9	11	13
	Čtvrtá jízda	13,8	13,9	22,8	11,3	13,2
	Pátá jízda	13,7	13,8	23	11,1	13,3
	Průměr	13,66	13,82	22,9	11,12	13,16

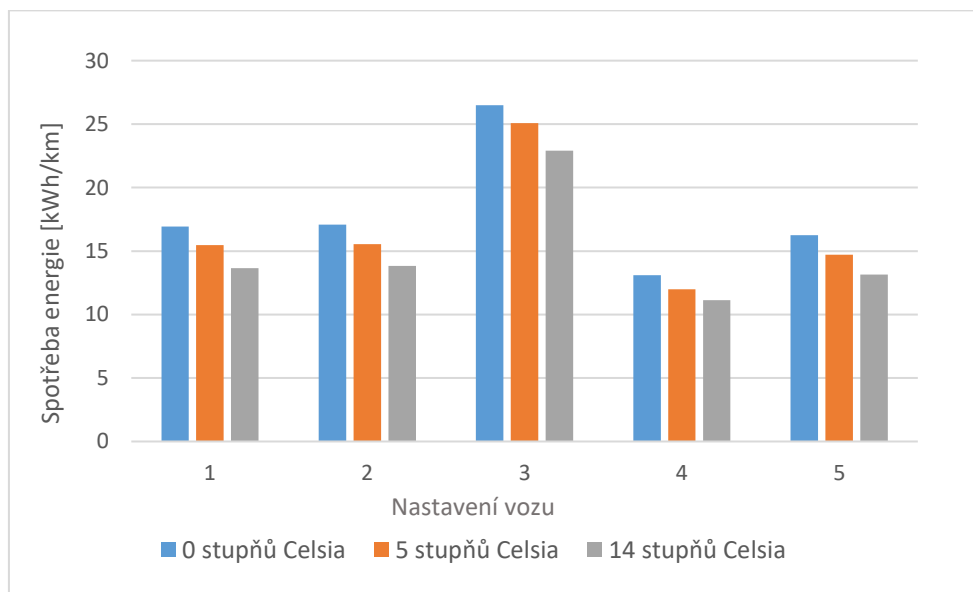
V tabulce č. 10 jsou znázorněné procentuální rozdíly ve spotřebě oproti stavu s teplotou 14 °C, který je brán jako standardní.

Tabulka 10: Procentuální rozdíly ve spotřebě vozu Hyundai Ioniq

Změna teplot [°C]	Rozdíly ve spotřebě energie [%]				
	Nastavení 1	Nastavení 2	Nastavení 3	Nastavení 4	Nastavení 5
14 – 0	24,01	23,59	15,63	17,81	23,56
14 – 5	13,32	12,45	9,52	14,93	11,85

Výsledky jsou zakresleny do souhrnného grafu na obrázku č. 19.

Obrázek 19: Souhrnné výsledky měření vozu Hyundai Ioniq



6.1.2 Nissan Leaf

V tabulkách 11, 12 a 13 se nachází změřené hodnoty pro Nissan Leaf.

Tabulka 11: Hodnoty spotřeby energie vozu Nissan Leaf při 1 °C

Teplota = 1 °C		Nastavení vozu				
		1	2	3	4	5
Změřené hodnoty [kWh/km]	První jízda	16,5	17,5	24,5	15,8	17,2
	Druhá jízda	16,4	17,8	24,6	15,7	17,2
	Třetí jízda	16,3	17,9	24,8	15,8	17,4
	Čtvrtá jízda	16,5	17,8	24,8	16	17,1
	Pátá jízda	16,2	17,6	24,8	15,6	16,9
	Průměr	16,38	17,72	24,7	15,78	17,16

Tabulka 12: Hodnoty spotřeby energie vozu Nissan Leaf při 6 °C

Teplota = 6 °C		Nastavení vozu				
		1	2	3	4	5
Změřené hodnoty [kWh/km]	První jízda	14,7	15,9	23,2	14,5	15,4
	Druhá jízda	14,5	15,8	23,3	14,5	15,3
	Třetí jízda	14,6	16	23,5	14,4	15,4
	Čtvrtá jízda	14,5	16	23,2	14,5	15,2
	Pátá jízda	14,7	15,8	23,4	14,6	15,4
	Průměr	14,6	15,9	23,32	14,5	15,34

Tabulka 13: Hodnoty spotřeby energie vozu Nissan Leaf při 14 °C

Teplota = 14 °C		Nastavení vozu				
		1	2	3	4	5
Změřené hodnoty [kWh/km]	První jízda	14	14,3	20,6	13,7	14,1
	Druhá jízda	13,9	14,4	20,8	13,7	14
	Třetí jízda	14	14,6	20,7	13,8	13,8
	Čtvrtá jízda	14,2	14,4	20,5	13,7	13,9
	Pátá jízda	14	14,3	20,6	13,6	13,8
	Průměr	14,02	14,4	20,64	13,7	13,92

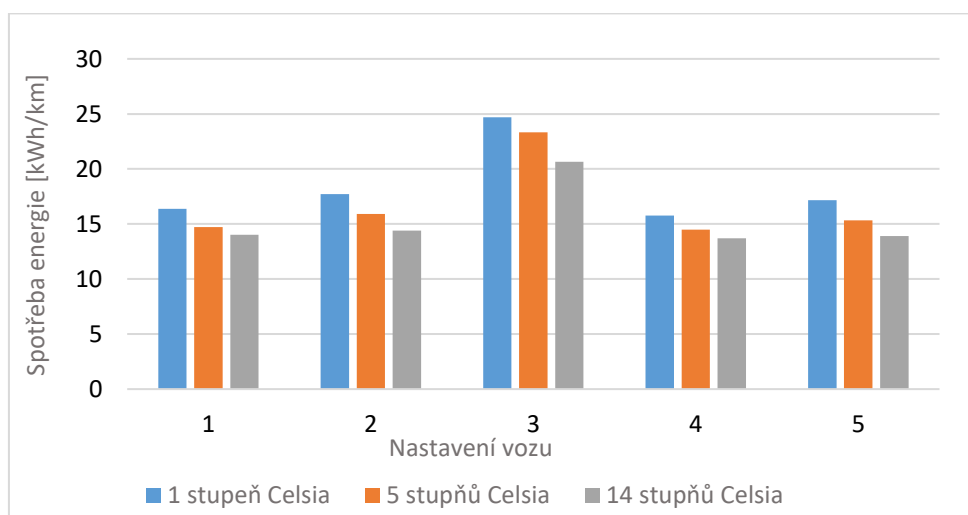
V tabulce č. 14 jsou znázorněné procentuální rozdíly ve spotřebě oproti stavu s teplotou 14 °C, který je brán jako standardní.

Tabulka 14: Procentuální rozdíly ve spotřebě vozu Nissan Leaf

Změna teplot [°C]	Rozdíly ve spotřebě energie [%]				
	Nastavení 1	Nastavení 2	Nastavení 3	Nastavení 4	Nastavení 5
14 – 1	16,83	23,06	19,67	15,18	23,28
14 – 6	4,99	10,42	12,98	5,84	10,20

Výsledky jsou zakresleny do souhrnného grafu na obrázku č. 20.

Obrázek 20: Souhrnné výsledky měření vozu Nissan Leaf



6.2 Zhodnocení výsledků

Z výsledků je jasné patrné, že teplota má vliv na celkové hodnoty spotřeby. To není ale jediné, co lze z výsledků vyčíst. Podrobnější popis a vyvození důsledků budou rozebrány v následujících podkapitolách.

6.2.1 Porovnání s oficiálními hodnotami spotřeby energie

Při pohledu na tabulku č. 15, kde je porovnání změřených průměrných hodnot pro první nastavení obou vozů a oficiálních hodnot z měřicího cyklu WLTP, je možné vypořádat

zvláštní opačné vývoje obou vozů. Hyundai Ioniq sice má změřené hodnoty nižší než oficiální, ale jen při 14 °C a rozdíl není ani dvě desetiny kWh/km, přičemž při klesajících teplotách spotřeba již stoupá nad oficiální úroveň. U Nissanu Leaf je situace velice odlišná. Ten měl změřenou spotřebu vždy nižší proti hodnotám od výrobce, dokonce i při měření s teplotou vzduchu 1 °C. Je samozřejmě potřeba mít na paměti, že oficiální měřicí cykly, ze kterých je výsledná spotřeba určována, se liší od prováděného měření, navíc jsou vypracovávány v kontrolovatelných podmínkách, ale jelikož jejich výsledky jsou oficiálně prezentovány jako směrodatné, je takovéto srovnání na místě.

Tabulka 15: Porovnání naměřených hodnot z oficiálními hodnotami výrobců

Vůz	Spotřeba energie [kWh/km]			
	WLTP	14 °C	5/6 °C	0/1 °C
Hyundai Ioniq	13,8	13,66	15,48	16,94
Nissan Leaf	17,1	14,02	14,72	16,38

6.2.2 Vliv teploty

V grafech je možné vidět relativně plynulé přechody mezi jednotlivými měřeními teplotami, což ale vzhledem k tomu, že teplotní rozdíly mezi prvními a druhými a mezi druhými a třetími sloupci není rovnoměrný, je tato situace na první pohled zarážející. Jasně z toho vyplývá, že čím nižších hodnot dosahuje okolní teplota, tím strměji roste křivka spotřeby energie. Z hlediska velikosti rozdílů spotřeby v jednotlivých nastaveních vozů lze vyčíst větší rozdíl pouze ve čtvrtém nastavení s vypnutou klimatizací, kdy jsou u obou vozů změny méně výrazné, naopak větší rozdíl je jen u nastavení třetího, který představuje situaci s maximální možnou spotřebou.

Pokud by se vycházelo z výsledků, je možné říct, že do zhruba 5 °C je zvyšování spotřeby v poměru ke klesající teplotě relativně malé. Když se udělá průměr všech procentuálních nárůstů spotřeby mezi 14 a 5 °C, který vychází na 10,65 %, v přepočtu na jeden stupeň je průměrný nárůst tedy pouze 1,18 %, což je velmi malý přírůstek. Pokud se to samé udělá pro změnu mezi 14 a 0 °C, kde průměrný nárůst je 23,26 %, činí výsledný stupňový rozdíl už 1,66 %. Tento o více než 40 % velký nárůst způsobil rozdíl pouhých 5 °C. To při provozování elektromobilů v mírných klimatických podmínkách, jako je například Česká republika, není příliš velký problém, jelikož období s takto nízkými teplotami či ještě výrazně nižšími netrvá

dlouho, zato v severnějších, chladnějších oblastech, mezi které se řadí i pro elektromobily zaslíbené Norsko, je na tento fakt již třeba brát větší ohledy při plánování delších cest.

6.2.3 Vliv nastavení vozů

Z grafů spotřeb jdou vyzorovat velké rozdíly mezi jednotlivými nastaveními, které se v některých případech liší v průměru až o téměř 9 kWh/km v případě Nissanu Leaf, u Hyundai Ioniq dokonce 13,6 kWh/km. Je tedy zřejmé, že na způsobu nastavení palubních spotřebičů velice záleží. Podrobnější rozbor je v následujících podkapitolách.

6.2.3.1 Vyhřívání sedadel

Dle zprůměrovaných výsledků měření a porovnání nastavení 1 a 2 má vyhřívání čtyř sedadel malý vliv na celkovou spotřebu elektromobilů. V prvním případě není rozdíl ani dvě desetiny kWh/km, což je naprosto minimální hodnota a ani při projetí celé baterie se nijak výrazně neprojeví na sníženém dojezdu. U druhého vozidla je rozdíl již přes 1,3 kWh/km, ale i to je velmi málo. Pro dosažení příjemného prostředí ve vozidle je tedy využívání vyhřívání sedadel, ale například i volantu z hlediska spotřeby naprosto v pořádku. Navíc například odmrazování zadního okna či zrcátek elektřinou je v zimních měsících velice důležité pro zachování bezpečnosti při jízdě za ztížených podmínek a řidiči se nemusí bát zásadního ovlivnění jízdních výkonů.

6.2.3.2 Klimatizace

Podle logických předpokladů je pro dosažení nejnižší spotřeby nejvhodnější režim s vypnutou klimatizací. Ohřev vzduchu do interiéru je energeticky velmi náročná operace, která je takto úplně odstraněna. V případě Hyundai Ioniq činí rozdíl nastavení č. 4 (bez klimatizace) a 1 (standardní) 2,5 až 4 kWh/km, což představuje zásadní úsporu v případě kritické potřeby prodloužení dojezdu. Svoji roli v tom může mít i aktivní aerodynamické prvky, které vůz má pro snížení odporu vzduchu. Situace u Nissanu Leaf je ale zcela odlišná, tam je maximální rozdíl jen 0,6 kWh/km. I při vypnutí klimatizace byl výsledný, palubním počítačem vypočítaný rozdíl v dojezdu pouze v jednotkách kilometrů. V tomto ohledu se tedy elektromobily velmi liší. Platí sice, že bez aktivní klimatizace dosáhne elektromobil většího dojezdu, rozdíl je ale velice závislý na jednotlivých modelech.

Na druhou stranu rozdíl nastavení 1 a 3 (především teplota na 30 °C) je také markantní. Pro Hyundai činí rozdíl okolo 9,5 kWh/km, pro Nissan od 6,6 do 8,7 kWh/km, což jsou již zásadní rozdíly. V předchozí kapitole vyšlo najevo, že vyhřívání sedaček má velmi malý vliv na spotřebovanou energii, je tedy ze zjištěných rozdílů možné vyvodit, že ohřev vzduchu má efekt přesně opačný. Pro maximalizaci dojezdu elektromobilu a zároveň zachování jízdního komfortu je vhodné zvážit, zdali není pro pasažéry přijatelnější nastavení nižší teploty vzduchu a zapnutí ohřevu sedadel, volantů atd. alespoň na nižší stupně, které zajistí trvalý teplý kontakt s dotykovými plochami. Pro ještě větší úsporu energie je Hyundai vybaven vypínání klimatizace pro spolujezdce, což v případě samostatné jízdy zajistí směřování vypouštěného vzduchu jen na řidiče. Toto nastavení ovšem nebylo v práci měřeno, není tedy možné přesně číselně ověřit efekt tohoto opatření.

6.2.3.3 Eko režim

Účelem eko režimů by mělo být zajištění maximalizace dojezdu za co největšího udržení nastavených podmínek. Může upravovat nastavení jednotlivých prvků vozu tak, aby se minimalizovaly ztráty a optimalizovala spotřeba. Jeden ze způsobů je například jiná mapa ovládání akceleračního pedálu a rekuperace energie, kdy elektromobil akceleruje mnohem pozvolněji a rekuperace je silnější než obvykle. Tyto faktory ale pravděpodobně nehrály při měření žádnou roli, neboť akcelerace a decelerace byla obstarávána skrze tempomat.

I v tomto nastavení se změřené hodnoty obou vozů velmi lišily. Hyundai Ioniq měl v eko režimu nižší spotřebu o více než 0,8 kWh/km oproti nastavení č. 1, což opět nejsou nijak závratné hodnoty, na druhou stranu při zachování prvků jako klimatizace atd. se jedná o příjemný bonus k celkovému dojezdu. Zvláštní situace nastala u Nissanu Leaf, který při měření za teploty vzduchu 1 °C vykazoval v eko režimu překvapivě dokonce o 0,78 kWh/km vyšší spotřebu v porovnání s prvním nastavením, respektive 0,74 kWh/km za 6 °C. Toto je opravdu velice zvláštní úkaz, který jde přímo proti smyslu takového režimu. Při teplotě 14 °C byla spotřeba již nižší, ale rozdíl činil pouze 0,1 kWh/km. Je možné, že pokud by bylo měření prováděno bez tempomatu a s pomocí akceleračního pedálu, dopadl by výsledek jinak, poté by ale existoval mnohem větší rozptyl změřených hodnot a výsledek by nemusel být obecně tolik prokazatelný.

6.2.4 Zhodnocení použitých elektromobilů

V následujících podkapitolách budou krátce zhodnoceny jednotlivé vozy s ohledem na výsledky měření.

6.2.4.1 Hyundai Ioniq

Při měření se potvrdilo, že za běžných okolností a průměrných okolních i vnitřních podmínek je Hyundai Ioniq velice úsporný. Jeho spotřeba 13,66 kWh/km při 14 °C je na poměry elektromobilů velice nízká. Na druhou stranu je ale třeba zdůraznit, že si takovéto pozitivní hodnoty nedokáže udržet při klesající teplotě okolního vzduchu. Rozdíly změřených hodnot mezi minimální a maximální teplotou byly zásadní, ve třech z pěti nastaveních byly okolo 24 %, což představuje výrazné ovlivnění maximálního dojezdu. Jeho nejvyšší dosažená spotřeba 26,48 kWh/km představuje výrazný nárůst, což je více než dvojnásobná hodnota v porovnání s nejúspornějším průměrem při stejné okolní teplotě.

Vzhledem k tomu, že rozdíly ve spotřebě mezi nastavením se zapnutou a vypnutou klimatizací jsou větší než v případě Nissanu Leaf, lze usoudit, že klimatizační systém ve voze není ideálně navržen a není příliš efektivní. Nicméně jeho výhoda, které ale nebyla při měření přímo ověřena, spočívá v relativně nízké spotřebě a nízkou hladinou aerodynamického hluku při vyšších rychlostech, která je umožněna velmi nízkým koeficientem odporu vzduchu.

6.2.4.2 Nissan Leaf

Dá se říct, že Nissan Leaf tvoří přesný opak předchozího vozu. Nemá tak nízkou spotřebu při 14 °C, ta se pohybuje na 14,02 kWh/km, ale na druhou stranu mezi minimálními a maximálními hodnotami není velký rozptyl. Již při 6 °C má nižší průměrné hodnoty spotřeby energie než Hyundai Ioniq. Nejvyšší naměřený průměr je 24,7 kWh/km, oproti nejnižší hodnotě za stejných okolních podmínek činí rozdíl jen 8,92 kWh/km. S klesajícími teplotami se energetická náročnost nijak výrazně nezvyšuje, což může pro někoho být zásadní výhoda. Na druhou stranu v případě měření při vyšších rychlostech by hodnoty pravděpodobně rostly výrazněji, při dálniční jízdě dojezd rapidně klesá. To se může zdát jako problém, na druhou stranu je tato kategorie vozů koncipována spíše pro jízdu po městech, kde je tato nevýhoda kvůli nízkým rychlostem téměř neutralizována.

7 Závěr

Elektromobily měly ve svých počátcích velmi slibné vyhlídky na jejich rozvoj, to se ale rychle změnilo ve prospěch spalovacích motorů. Ve světle vývoje posledních let ale zažívají velmi rapidní návrat do povědomí. Hlavním impulzem pro toto znovuobjevení byla aféra dieseldgate koncernu Volkswagen a zpřísnující flotilové emisní normy, které je realisticky možné dodržet jen prodejem elektrifikovaných vozidel, nejlépe čistých elektromobilů. Automobilky jsou nyní v těžké situaci, kdy jsou na ně ze strany politiků kladeny vysoké ekologické nároky, jež je možné splnit prodejem vozů, ke kterým ale mají zákazníci z různých důvodů problém najít cestu.

Jedním z těchto problémů je především jejich vysoká cena, která je tvořena především její největší položkou: baterií. Vlivem nízkého počtu prodaných kusů není možné držet náklady nízko, navíc pro zvýšení žádanosti ze strany zákazníků jsou výrobci nuceni pro jejich vylepšení investovat velké sumy do jejich vývoje, jež se zatím v podobě prodejů nevracejí. Elektromobily jsou často porovnávány s vozy s klasickou koncepcí se spalovacím motorem. Vedle nich jsou v nevýhodě zejména s ohledem na jejich dojezd. Ten úzce souvisí s energetickou hustotou, jež je násobně menší v porovnání s kapalnými palivy. Ze stejného objemu je tedy možné získat menší množství energie pro pohon. V tomto ohledu se baterie díky vývoji zlepšují, tento trend ale nesmí jít proti jejich trvanlivosti. Ta je pro zachování dlouhodobé kredibility elektromobilů klíčová, navíc má přímý vliv na trh s ojetými vozy, který je všude po světě velmi rozšířený. Životnost je zásadně ovlivněná termomanagementem baterií a způsobem jejich chlazení či ohřívání. Při výběru jakéhokoli automobilu je velmi důležitá také jejich bezpečnost, ve spojení s elektromobily může navíc v těchto souvislostech vyvstávat celá řada otázek. Na její maximalizaci výrobci používají celou řadu různých mechanických i softwarových řešení a je zdrojem intenzivního výzkumu pro její neustálé zlepšování.

Elektromobily jsou především politiky propagovány jako řešení ekologické otázky individuální automobilové dopravy. V tomto ohledu je ale třeba zvážit více aspektů, které jsou s touto problematikou spojeny. Ze samotných vozů nevycházejí žádné emise výfukových plynů, ale samotné získání energie až na pár výjimek bezemisní není. Pro realističtější přehled je proto nutné přihlédnout k energetickému mixu v místě provozu elektromobilů. To ale není jediná environmentální otázka, která se s elektromobilitou spojuje, již při výrobě baterií vznikají komplikace pro životní prostředí. Může za to především způsob těžby lithia a kobaltu, což jsou prvky, které jsou v současnosti výrazně zastoupené v používaných akumulátorech.

Jejich recyklace je navíc také problematická, jelikož pro ni není dostatečně rozvinutá infrastruktura a dosud nebyla potřeba toto odvětví řádně posouvat kupředu.

Poslední komplikací bránící rozvoji elektromobilů je jejich nabíjení. V současnosti je rozdělováno do dvou skupin podle přítomného proudu a nabíjecího výkonu. V případě střídavého proudu, které je nejideálnější pro domácí použití či zlepšení poskytovaných služeb podniků pro své zákazníky, se nabíjecí výkony pohybují do 22 kW. V takovém případě proces zabere několik hodin, což vzhledem k povaze míst, kde jsou nabíječky instalovány, nevadí, navíc díky tomu je umožněna relativně jednoduchá instalace za nízké náklady. Druhá metoda využívá stejnosměrného proudu, která poskytuje výkony od 50 kW výše. Takovéto nabíjecí stanice jsou určeny pro tranzitní cestování, jejichž cílem je minimalizace potřebného času pro načerpání energie. Kromě těchto odlišností jsou využívány také rozdílné nabíjecí konektory, i když v blízké budoucnosti bude pravděpodobně přítomen jediný.

S každodenní použitelností a vhodností pro různé aplikace přímo souvisí dojezd elektromobilů, na který byla v práci zaměřena praktická část. Zjišťován byl vliv teploty a nastavení palubních spotřebičů na spotřebu vozů Hyundai Ioniq a Nissan Leaf, které celkový dojezd přímo ovlivňují. Měření probíhalo na vytvořeném 20,1 km dlouhém okruhu, který vedl po vedlejších veřejných komunikacích s maximální rychlostí 90 km/h a variabilním výškovým profilem. Měření probíhaly při teplotách 14 °C, 5, resp. 6 °C a 0, resp. 1 °C s nastaveními lišícími se ve zvolené teplotě klimatizovaného vzduchu, různých stavech palubních spotřebičů a nastavení režimu jízdy. Udržování předem určené rychlosti bylo zajišťováno tempomatem a rekuperačním brzděním.

Z výsledků vyplývá, že jak teplota, tak nastavení vozu má vliv na celkovou spotřebu energie, velikosti rozdílů se ale u obou vozů lišily. Na Hyundai Ioniq působila změna teploty vzduchu výrazněji, naměřená spotřeba byla oproti oficiálnímu měření WLTP nižší jen při nejvyšší změřené teplotě a s přibližováním k bodu mrazu spotřeba výrazně stoupala, přičemž rozdíl mezi minimálními a maximálními hodnotami činil až 24 %. Zároveň používání klimatizace a zvyšování nastavené teploty mělo také velký vliv na ubývání dojezdu. Nissan Leaf byl v tomto ohledu stabilnější, klesající teplota jej tolik neovlivňovala, rozdíly ale přítomné byly. Za zmínku stojí ale především fakt, že spotřeba se s klesající teplotou nezvyšovala lineárně, ale měla spíše exponenciální charakter. Z toho vyplývá, že proměnlivost spotřeby v závislosti na okolní teplotě by měla být jeden z faktorů, který by měl být při koupi elektromobilu zvažován, pokud se v místě provozování teplota dlouhou dobu pohybuje okolo bodu mrazu.

Po posouzení všech faktorů, které byly v práci rozebrány, lze říct, že v současnosti nepředstavuje elektromobil ideální univerzální řešení pro všechny aplikace. V případě, že je možné zařídit nabíjení v domácím prostředí, které umožní plný, nebo alespoň vysoký stav nabití baterie pro každodenní cestování, je elektromobil výborná alternativa k druhému vozu do rodiny, případně i k prvnímu, pokud by umožnil vyšší dojezd i v případě delšího dálničního cestování.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] HUSAIN, Iqbal. *Electric and hybrid vehicles: design fundamentals*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4398-1175-7.
- [2] *Historie elektromobilů: 1. díl - úsvit elektromobilů I fDrive.cz* [online]. 2016 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>
- [3] *Next gen batteries to power up electric vehicle installed base to 100 milion by 2028 I IndustryWeek* [online]. 2019 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/22028055/next-gen-batteries-to-power-up-electric-vehicle-installed-base-to-100-million-by-2028>
- [4] *Energy density* [online]. b.r. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: https://xtronics.com/wiki/Energy_density.html
- [5] *ESR capacitor: The calculation procedure for power density* [online]. 2017 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.spacap.com/esr-capacitor-power-density.html>
- [6] *Power-hungry Tesla picks up supercapacitors maker I Business I Chemistry world* [online]. 2019 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.chemistryworld.com/news/power-hungry-tesla-picks-up-supercapacitor-maker-/3010215.article>
- [7] PISTOIA, Gianfranco. *Electric and hybrid vehicles: Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market*. Amsterdam: Elsevier, 2010. ISBN 978-0-444-53565-8.
- [8] *The secret life of an EV battery I CleanTechnica* [online]. 2018 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2018/08/26/the-secret-life-of-an-ev-battery/>
- [9] *Thermal management in electric cars and hybrid vehicles I Hella* [online]. b.r. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.hella.com/techworld/au/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/#>
- [10] *Electric car 101: Liquid vs. air battery cooling system - Gigaom* [online]. 2010 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://gigaom.com/2010/09/29/electric-car-101-liquid-vs-air-battery-cooling-systems/>
- [11] *Are electric vehicles a fire hazard? - MIT technology review* [online]. 2013 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.technologyreview.com/s/521976/are-electric-vehicles-a-fire-hazard/>
- [12] *Euro NCAP I Euro NCAP's Best of the best of 2019* [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/euro-ncap-s-best-of-the-best-of-2019/>

- [13] *Recycling lithium-ion batteries from electric cars* | *Nature* [online]. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1682-5>
- [14] *Battery recycling as a business - Battery university* [online]. 2019 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/battery_recycling_as_a_business
- [15] *The afterlife of electric vehicles: Battery recycling and repurposing - IER* [online]. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/the-afterlife-of-electric-vehicles-battery-recycling-and-repurposing/>
- [16] *HALL, Dale. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions* [online]. b.r. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf
- [17] *What is lithium extraction and how does it work* [online]. 2018 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.samcotech.com/what-is-lithium-extraction-and-how-does-it-work/>
- [18] *Electric or internal combustion engine vehicle?* [online]. 2019 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://climobil.connecting-project.lu/?batteryLifetime=150000&batteryCapacity=32.3&greenhouseGas=65&electricCarRange=200&carbonElectricityMix=685&greenhouseBattery=30&greenhouseWTT=25&greenhouseTTW=108&batteryPenalty=0.9&annualMileage=20000&ICECurb=929&ECurb=1160&NEDCpenalty=0.39&decarbonization=0>
- [19] *Will your electric car save the world or wreck it? > ENGINEERING.com* [online]. 2018 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/17435/Will-Your-Electric-Car-Save-the-World-or-Wreck-It.aspx>
- [20] *Congo's cobalt mining causing health problems in residents - news about energy storage, batteries, climate change and the environment* [online]. 2019 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/congos-cobalt-mining-causing-health-problems-in-residents/>
- [21] *Co potřebujete pro zřízení a provoz dobíjecí stanice pro elektromobily* | *Hybrid.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/co-potrebuje-pro-zrizeni-provoz-dobijeci-stance-pro-elektromobily>
- [22] *Electric vehicle on-board chargers and charging stations* [online]. 2019 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/article/electric-vehicle-on-board-chargers-and-charging-stations>

- [23] *Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět I Hybrid.cz* [online]. 2014 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>
- [24] *Nabíjení elektromobilu: využijte všechny možnosti, zn. chytře - Elektrickévozy.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/nabijeni-elektromobilu-vyuzivejte-vsechny-moznosti-zn-chytre>
- [25] *Elektromobily a jejich nabíjení: typy nabíječek a konektorů I Auto.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/elektromobily-a-jejich-nabijeni-znate-nejcastejsi-typy-nabijecek-a-konektoru-130851>
- [26] *Hyundai Ioniq Electric (2016 - 2019) price and specifications - EV-database* [online]. b.r. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://ev-database.org/car/1057/Hyundai-IONIQ-Electric#charge-table>
- [27] *Wallbox nebo zásuvka? Co se vyplatí a proč? I ecoFuture* [online]. b.r. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanky/celosvetovy-den-uklidu-upozornil-na-problemy-s-odpadem-ve-158-zemich-sveta>
- [28] *Domácí nabíjení - Autonabijeni.cz* [online]. b.r. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/domaci-wallbox/>
- [29] *DC fast charging explained - EV save charge* [online]. b.r. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://evsafecharge.com/dc-fast-charging-explained/>
- [30] *Ionity - where & how* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://ionity.eu/en/where-and-how.html>
- [31] *Mapa nabíjecích stanic I fDrive.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic>
- [32] *Porsche Taycan Turbo S price and specification - EV Database* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://ev-database.org/car/1116/Porsche-Taycan-Turbo-S#charge-table>
- [33] *Elektromobily, solární panely a ukládání čisté energie I Tesla.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ
- [34] *Types of connectors for electric vehicle charging* [online]. b.r. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.conducetuciedad.com/en/all-about-charging/types-of-connectors>
- [35] *Nissan Leaf sales hit 450,000: world's #1 selling EV, but not for long* [online]. 2020 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/393890/nissan-leaf-sales-450000/>

[36] *Within weeks, Tesla Model 3 will be world's top selling EV of all time* [online]. 2020 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/391128/tesla-model-3-cumulative-sales-best/>

9 Seznamy

9.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Chevrolet Electrovair II	5
Obrázek 2: Tesla Model S	6
Obrázek 3: Volkswagen ID 3	7
Obrázek 4: Odhad poklesu cen za bateriový článek	10
Obrázek 5: Vzduchem chlazená baterie vozu Lexus UX300E.....	13
Obrázek 6: Schéma baterie vozu Tesla Model S	14
Obrázek 7: Rozlomená Tesla Model X	16
Obrázek 8: Zhodnocení metod recyklace li-ion baterií	18
Obrázek 9: Porovnání produkce CO2 konvenčního pohonu a elektropohonu v EU	21
Obrázek 10: Sloupek se zásuvkami pro všechny varianty AC dobíjení.....	25
Obrázek 11: Příklad ideálního řešení pouličního nabíjení elektromobilů	26
Obrázek 12: Příklad DC nabíjecí stanice	28
Obrázek 13: Tesla Superchargery se zdrojem elektřiny z fotovoltaických panelů.....	29
Obrázek 14: Přehled používaných nabíjecích konektorů	30
Obrázek 15: Hyundai Ioniq Electric	34
Obrázek 16: Nissan Leaf	36
Obrázek 17: Měřicí okruh.....	38
Obrázek 18: Výškový profil měřicího okruhu	38
Obrázek 19: Souhrnné výsledky měření vozu Hyundai Ioniq.....	43
Obrázek 20: Souhrnné výsledky měření vozu Nissan Leaf.....	45

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Vliv způsobu nabíjení na životnost baterie	11
Tabulka 2: Složení li-ion baterie.....	19
Tabulka 3: Základní údaje Hyundai Ioniq Electric.....	35
Tabulka 4: Základní údaje Nissan Leaf (s 40 kWh baterií).....	37
Tabulka 5: Rychlostní zóny na měřicím okruhu.....	39
Tabulka 6: Odlišná nastavení vozidla během měření	40
Tabulka 7: Hodnoty spotřeby energie vozu Hyundai Ioniq při 0 °C	42
Tabulka 8: Hodnoty spotřeby energie vozu Hyundai Ioniq při 5 °C.....	42
Tabulka 9: Hodnoty spotřeby energie vozu Hyundai Ioniq při 14 °C.....	43
Tabulka 10: Procentuální rozdíly ve spotřebě vozu Hyundai Ioniq	43
Tabulka 11: Hodnoty spotřeby energie vozu Nissan Leaf při 1 °C	44
Tabulka 12: Hodnoty spotřeby energie vozu Nissan Leaf při 6 °C.....	44
Tabulka 13: Hodnoty spotřeby energie vozu Nissan Leaf při 14 °C	44
Tabulka 14: Procentuální rozdíly ve spotřebě vozu Nissan Leaf	45
Tabulka 15: Porovnání naměřených hodnot z oficiálními hodnotami výrobců	46