



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Vratislav Ležal

Studie bateriového boxu malého městského
elektromobilu

Bakalářská práce

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Vratislav Ležal

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Studie bateriového boxu lehkého městského elektromobilu**

Název tématu (anglicky): Study of Battery Box for a Light City Electric Vehicle

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Seznamte se s problematikou městské elektromobility a jejími specifiky.
- Uvedte přehled trakčních baterií používaných v elektromobilech (EV) a charakterizujte jejich vlastnosti.
- Seznamte se s legislativou související s trakčními bateriemi vozidel a s požadavky na bezpečnost a ekologii trakčních baterií.
- Navrhněte vhodnou konfiguraci bateriového boxu s možností jeho výměny pro lehký městský elektromobil.
- Ověřte teoretický dojezd lehkého elektromobilu s Vámi navrženou baterií a porovnejte ho s dalšími EV



TECHNICKÉ V PRAZE



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího BP

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: VLK, František. Elektrická zařízení motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9
BIRKE, P. Modern battery engineering a comprehensive introduction. 2019. ISBN 978-981-3272-15-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Mík, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **22. června 2021**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Vratislav Ležal
jméno a podpis studenta

V Praze dne 22. června 2021

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. za konzultace a materiály pro psaní bakalářské práce, dále také Ing. Přemyslu Tomanovi za přínosné rady a pomoc při praktické části. Také děkuji své rodině a přítelkyni za morální a materiální pomoc v době studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Mělníku dne 7.8.2022

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

STUDIE BATERIOVÉHO BOXU MALÉHO MĚSTSKÉHO ELEKTROMOBILU

Bakalářská práce

srpen 2022

Vratislav Ležal

Abstrakt

Předmětem bakalářská práce je návrh bateriového boxu, který bude implementován do konstrukce fakultního elektrického vozidla. Návrh baterie je založen na průzkumu komerčních bateriových boxů. Další částí je ověření teoretického dojezdu fakultního elektrického vozidla pomocí simulace na základě vstupních parametrů baterií a motoru.

Klíčová slova: baterie, elektromobil, elektromobilita, bezpečnost

Abstract

The subject of the bachelor thesis is the design of the battery box, which will be implemented in structure of the faculty electric vehicle. The design is based on a survey of commercial battery boxes. The next part is the verification of the theoretical range of the faculty electric vehicle using a simulation based on the input parameters of the batteries and the engine.

Keywords: battery, electric vehicle, electromobility, safety.

OBSAH

1	Úvod	7
2	Teoretická část	8
2.1	Elektromobilita	8
2.1.1	Specifika elektromobility	9
2.1.2	Analýzy	9
2.1.3	Sdílení a autonomní vozidla	10
2.1.4	Typy elektrických vozidel	11
2.1.5	Blízká budoucnost elektromobility	15
2.2	Baterie	16
2.2.1	Konfigurace článků	17
2.2.2	Typ baterií podle tvaru	18
2.2.2.1	Válcové baterie	18
2.2.2.2	Knoflíkové baterie	19
2.2.2.3	Hranaté články	19
2.2.2.4	Ploché články	20
2.2.3	Parametry baterií	20
2.2.3.1	Kapacita	20
2.2.3.2	Elektrická energie	20
2.2.3.3	Měrná energie	21
2.2.3.4	Energetická objemová hustota	21
2.2.3.5	Měrný výkon	21
2.2.3.6	Teplota baterie	21
2.2.3.7	Životnost baterií	22
2.2.4	Typ baterií podle prvku na elektrodách	22
2.2.4.1	Baterie nepoužívané v autoprůmyslu	22
2.2.4.1.1	Voltův článek	22
2.2.4.1.2	Leclancheův článek	23
2.2.4.1.3	Zinko-uhlíkový článek	23
2.2.4.1.4	Stříbrný článek	23
2.2.4.1.5	Nikl-kadmiový akumulátor	23
2.2.4.1.6	Lithium-polymerový akumulátor	23
2.2.4.2	Baterie používané v autoprůmyslu	24
2.2.4.2.1	Olověný akumulátor	24
2.2.4.2.2	Nikl-metal hydridové akumulátor	24
2.2.4.2.3	Lithium-iontový akumulátor	25

2.2.4.2.4	Nikl-zinkový akumulátor.....	26
2.2.4.3	Porovnání akumulátorů.....	26
2.2.5	Napájení.....	28
2.2.5.1	Úrovně napájení.....	28
2.2.5.2	Kabely.....	28
2.2.5.3	typy koncovek.....	29
2.3	Legislativa.....	29
2.3.1	Předpis EHK/OSN č.100.....	29
2.3.2	Předpis EHK/OSN č.101.....	30
2.3.3	Nařízení EU 2017/1151.....	30
2.3.3.1	Porovnání metodik NEDC a WLTP.....	31
2.3.4	Zákon č. 542/2020 Sb.....	32
2.3.5	ČSN EN IEC 63057.....	32
2.3.6	ČSN EN 50604-1.....	32
2.4	Bezpečnost a ekologie baterií.....	33
2.4.1	Umístění.....	33
2.4.2	Ochranný box.....	35
2.4.3	BMS.....	36
2.4.3.1	Typy BMS.....	36
2.4.3.1.1	Centralizovaný BMS.....	36
2.4.3.1.2	Modulární BMS.....	37
2.4.3.1.3	Hlavní a podřízený BMS.....	37
2.4.3.1.4	Distribuovaný BMS.....	37
2.4.3.1.5	Decentralizovaný BMS.....	37
2.4.3.1.6	Balancér.....	38
2.4.3.1.7	Parametry, množství článků.....	38
2.4.4	Recyklace a likvidace.....	39
3	Praktická část.....	40
3.1	Návrh bateriového boxu.....	40
3.1.1	Vybraná baterie.....	41
3.1.2	Systémy výměny baterií.....	41
3.1.3	Vliv na těžiště vozu.....	42
3.1.4	Materiál.....	42
3.1.5	Vlastní návrh.....	42
3.2	Bateriová sada a BMS fakulního EV.....	44
3.3	Teoretický dojezd elektromobilu.....	48
3.3.1	Odpory vozidla.....	49

3.3.1.1	Aerodynamický odpor	49
3.3.1.2	Odpor ze stoupání	49
3.3.1.3	Odpor ze zrychlení	50
3.3.1.4	Odpor valivý	50
3.3.2	Délky dojezdu komerčních EV	50
3.3.3	Spotřeba na 100 km	51
3.3.4	Program IGNITE	51
3.3.4.1	Popis modelu	51
3.3.4.2	Jízdní cyklus	52
3.3.4.3	CycleDriver	54
3.3.4.4	EV kontrolér	54
3.3.4.5	Pneumatiky	54
3.3.4.6	Baterie	54
3.3.4.7	Elektromotor	54
3.3.4.8	Vozidlo	54
3.3.4.9	Simulace a výsledky	56
3.3.4.9.1	Vliv rekuperace na délku dojezdu	56
3.3.4.9.2	Vliv hmotnosti na délku dojezdu	61
3.3.5	Další fáze	66
4	Závěr	67
	Reference	69
	Seznam obrázků	74

1 Úvod

Téma bakalářské práce je studie bateriového boxu malého městského elektromobilu. Bateriový box bude navrhován s ohledem na jeho použití a na základě zpracování komerčních boxů a současně s návrhem rámové konstrukce vozidla, který je předmětem další studentské práce. Vozidlo bude sloužit jako platforma městského malého elektromobilu pro testování nových rozhraní a systémů.

Začátek teoretické části se bude zabývat elektromobilitou a jejími specifiky pro provoz a výhodami elektromobilů oproti vozidlům se spalovacím motorem. Také je zde uvedeno rozdělení typů elektrických vozidel. Teorie bude pokračovat v popisu baterií, které se používají v automobilovém průmyslu, jejich stavby a vlastnosti jednotlivých typů i s porovnáním. Dále je nutné baterie dobíjet elektrickou energií, a proto je v této části zmínka o napájení, výkonnostních možnostech jednotlivých nabíječek, koncovek používaných ve světě apod. V závěru teoretické části budou uvedeny hlavní předpisy, zákony a normy, které souvisejí s bezpečností a ekologií baterií.

Praktická část bude rozdělena na 3 části, a to návrh boxu, náhled na prototypové zapojení a simulace teoretického dojezdu. První praktická část se bude zaměřovat na samotný návrh bateriového boxu, jeho tvarové a materiálové vlastnosti pro specifika malého městského elektromobilu. Druhou část bude tvořit náhled na prototypové zapojení všech článků do elektrické konfigurace včetně všech potřebných systémů. Ve třetí části se práce zaměřuje na simulaci dojezdu elektrického vozidla, které je založeno na podkladech návrhových součástí vozidla. Cílem je získat hodnoty dojezdů v různých cyklech, kdy každý cyklus jinak popisuje zátěž v provozu. Dále bude prozkoumán vliv hmotnosti a přínosy rekuperačního brzdění. Výsledky simulace jsou zobrazené v grafech a tabulkách.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Elektromobilita

Slovo elektromobilita vzniklo složením slov elektro a mobilita, tedy pohyb za pomoci elektrické energie. V dnešní době jsou do elektromobility zahrnuty nejen elektromobily, ale i elektrokola, elektroskútry, elektrokoloběžky, elektromotorky a všechny ostatní dopravní prostředky, které ke svému pohybu používají elektrickou energii. Elektromobilita zažívá v posledních letech velký rozmach, a to díky masivnímu rozvoji a investicím v této oblasti, také kvůli ekologickým důvodům, především nulovým lokálním exhalacím, které významně zlepšují kvalitu vzduchu především v městských oblastech, kde je koncentrace vozidel vyšší. [1]

Dnešní doba za pomoci nařízení od Evropské unie staví EV (elektrické vozidlo), resp. PHEV (plug-in hybridní elektrické vozidlo), která se provozují pouze na elektrický pohon, jako bezemisní vozidla z hlediska lokálních exhalací do zvýhodněné pozice. Tyto snahy mají sloužit jako boj proti nadbytečnému oxidu uhličitému, který je z části produkován také vozidly se spalovacími motory. [1]

Množství oxidu uhličitého není ve městech běžně měřeno, ale uvnitř staveb je stanoveno, jakých limitů může dosahovat. Dle nařízení vlády č.93/2012 Sb., *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*, jsou přípustné expoziční limity $9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší přípustné limity $45 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3} \text{ CO}_2$.

Pro vozidla homologovaná pro provoz v Evropské unii platí v současnosti emisní normy EURO, které jsou rozděleny pro osobní vozidla, pro která je norma označena arabskou číslicí, a nákladní vozidla s autobusy, u kterých je norma označena římskou číslicí. [2][3]

V tabulce 1 jsou napsány limity, které platí pro jednotlivé kategorie. Pro nově prodávaná vozidla platí, že musí splňovat poslední emisní normu. Pro starší vozidla platí norma v době jejich výroby, resp. kterou mají napsanou v technickém průkazu. Pro vozidla se v roce 2020 přidal univerzální limit CO_2 , který se stanovil na hodnotu 95 g/km . [4]

Tento limit se počítá za všechna prodaná vozidla, tudíž „bezemisní“ vozidla tuto hodnotu snižují. Automobilky ve svých materiálech zmiňují pouze emise CO_2 . Např. Škoda Octavia z roku 2019 s motorem 1,5 TSI vypouští $113\text{--}152 \text{ g/km CO}_2$. [5]

Norma	CO Benzín / nafta	NO _x Benzín / nafta	HC (uhlovodíky) Benzín / nafta	Pevné částice Benzín / nafta	HC + NO _x Benzín / nafta
EURO 1	3,16 / 3,16	- / -	- / -	- / 0,14	1,13 / 1,13
EURO 2	2,2 / 1	- / -	- / -	- / 0,08	0,5 / 0,7
EURO 3	2,3 / 0,64	0,15 / 0,5	0,2 / -	- / 0,05	- / 0,56
EURO 4	1 / 0,5	0,08 / 0,25	0,1 / -	- / 0,025	- / 0,3
EURO 5a	1 / 0,5	0,06 / 0,18	0,1 / -	0,005 / 0,005	- / 0,23
EURO 5b	1 / 0,5	0,06 / 0,18	0,1 / -	0,0045 / 0,0045	- / 0,23
EURO 6d	1 / 0,5	0,06 / 0,08	0,1 / -	0,0045 / 0,0045	- / 0,17

Tabulka 1 Emisní normy EURO

2.1.1 Specifika elektromobility

Jedním z významných důvodů zavádění elektromobility je vyšší energetická účinnost motoru, která dokáže dosahovat až 90 % oproti motorům spalovacím, které dosahují účinnosti přibližně od 30 do 45 %. [6]

Další ztráty tvořené valivým odporem, aerodynamickým odporem, odporem ze stoupání a odporem ze zrychlení působí stejně jako na vozidla se spalovacím motorem. Vnitřní odpor pohonné soustavy je o něco nižší díky menšímu počtu rotačních součástek, které v motoru působí. Elektrická vozidla jsou obecně tišší než jejich spalovací varianty. [7]

Elektromobilita s sebou přináší některé překážky, které se časem odstraní, ovšem v nynější době se jedná o silné argumenty, které staví EV do nevýhodné pozice. Jedním z nich je vysoká pořizovací cena způsobená tím, že se jedná o novější technologii v automobilovém průmyslu a vysoká pořizovací cena materiálů potřebných k výrobě baterií také silně ovlivňuje celkovou cenu EV, v oblasti materiálů se cena příliš nezmění. Ekologický pohled je závislý na výběru analýzy, kdy každá analýza se zaměřuje na daný produkt jiným způsobem. [7]

2.1.2 Analýzy

Mezi nejpoužívanější analýzy patří LCA (Life Cycle Analysis), která kvantitativně hodnotí souhrnný dopad na životní prostředí produktu napříč jeho životním cyklem. Zkoumá těžbu přírodních surovin použitých k výrobě, dopravu, použití, recyklaci a závěrečnou likvidaci.

Díky dlouhé době výzkumu a velkému množství dat lze vytvářet porovnání a expertízy sloužící ke zlepšení životního prostředí. [8]

Další souhrnnou analýzou je Cradle to Cradle analýza (od kolébky ke kolébce), která se kvalitativně zaměřuje na ekologické a sociální aspekty. Snahou je vytvořit myšlenku ideálního produktu a následný vytvářený produkt k němu co maximálně přiblížit. Jedná se o uzavřenou smyčku od vytvoření produktu až po jeho zánik a využití zbytku k tvorbě nového. [8]

Poté lze vytvářet posudky z jednotlivých mezifází celého životního cyklu. Mezi ně lze zařadit Cradle to Gate (od kolébky k bráně podniku), která se zaměřuje na tvorbu produktu a sleduje vývoj od vytvoření nápadu produktu do opuštění výrobního závodu, tedy sleduje výrobní náklady, optimalizaci výrobního cyklu apod. [9]

Well-to-Wheel analýza (od zdroje ke kolům vozidla) zjišťuje produkci skleníkových plynů, energetickou účinnost a průmyslové náklady. Tu lze rozdělit na Well to Tank (od zdroje do nádrže) a Tank to Wheel (od nádrže ke kolům). [10] Cradle to Grave (od kolébky do hrobu) popisuje cestu od vytěžení materiálu, vytvoření produktu až k jeho konci. [9]

2.1.3 Sdílení a autonomní vozidla

Carsharing neboli sdílení vozidel mezi lidmi, je druh služby, při které majitel vozidla půjčuje či sdílí vozidlo s osobou, která z libovolného důvodu vozidlo nevlastní, přesto ho potřebuje použít. Pro tyto případy zde existují firmy, které využily poptávky po tomto produktu a nabízejí půjčení vozidla za úplat. Nejčastější využití bývá ve velkých městech, např. Praze či Brně, ve kterých obyvatelé používají převážně MHD a občas potřebují použít vozidlo k různým účelům. [11]

Carsharing má několik výhod. Nižší potřebu parkovacích ploch ocení především města, protože na jedno parkovací místo bude spadat více lidí a tím se získají plochy, které se mohou využít jinak. Efektivnější využití vozidla spočívá ve snížení času, kdy vozidlo stojí. Průměrné vozidlo stojí přibližně 95 % svého času a sdílení umožňuje snížení tohoto nevyužitého času. [12] Méně starostí s péčí o vozidlo je pro uživatele důležitý faktor, protože vozidlo používá pouze jako dopravní prostředek a nemusí řešit nedostatky či nefunkční části vozidla, jeho údržbu apod. Další výhodou je výběr z různých typů vozidel různých velikostí. Tato služba je často využívána především pro stěhování, kdy si lze zapůjčit dodávku, se kterou lze odvézt více věcí než s malým vozidlem. [13]

Ovšem tato služba má i nevýhody, které nelze opomíjet. Riziko nedostupnosti vozu hrozí především v období dopravních špiček, kdy dochází k vysoké poptávce po dopravě a sdílená vozidla jako další mód dopravy mohou být nedostupná. Nutnost plánovat jízdu, kdy v případě vlastního vozu řidiči tato potřeba odpadá, se u sdílených vozů musí promyslet, tedy kdy a kam řidič pojedí. [13]

Snaha využívat EV v rámci carsharingu ve městech se vyplácí z několika důvodů. Největší počet nabíječek je právě ve městech a EV jsou pro pohyb ve městě vhodná díky menším ztrátám při rozjezdu, zároveň mohou města pomocí různých tarifů či společností umožnit levnější provoz pro své obyvatele, a pomoci tak dalšímu snížení počtu vozidel ve městech.

2.1.4 Typy elektrických vozidel

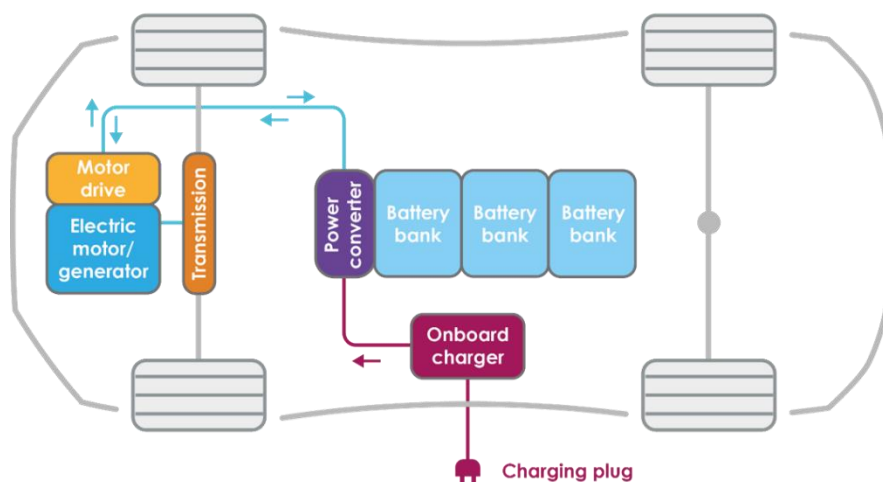
Konstrukce EV má ve svém motoru méně rotačních součástí a tím se stává relativně jednodušším strojem oproti spalovacímu stroji, který má v motoru více komponent. K provozu jakéhokoliv vozidla je potřeba zdroj energie, v případě spalovacích vozidel benzín, nafta, LPG a další. Spalovací motory přemění tepelnou energii vytvořenou zážehem nebo vznícením na energii mechanickou. u EV se mění chemická energie uložená v bateriích na energii elektrickou a poté na energii kinetickou prostřednictvím motoru.

U EV to jsou baterie, které uchovávají v sobě elektrickou energii získanou nabitím pomocí nabíječky. Kontrolér ovládá tok energie a zajišťuje bezpečné a rovnoměrné vybíjení a nabíjení, pak je tu elektromotor, který mění elektrickou energii na mechanickou a umožňuje provádět rotační pohyb kol, který způsobí posun vozidla. [14]

Výroba EV je podobná vozidlu klasické konstrukce, některé objekty jako motor, palivový systém, výfuk atd. jsou nahrazeny elektromotorem, vysokonapětovou bateriovou sadou, zvětší se množství kabelů, kontrolér apod. Výroba baterií není ve světě novinkou, ve výrobě je snaha snížit provozní náklady a snížit ekologickou zátěž a vývojem dosáhnout lepších parametrů.

Mezi výhody elektromobilů patří efektivnější přenos energie v rámci vozidla, nulové lokální exhalace, které jsou ve městech problémové, a nižší hlučnost od motoru vozidla. [15]

Naopak mezi nevýhody lze zařadit horší zajištění nabíjecích míst, vyšší hmotnost, v některých případech (kvůli malé baterii či vysoké spotřebě) nižší dojezdovou vzdálenost a vyšší opotřebení pneumatik kvůli hmotnosti. [13]



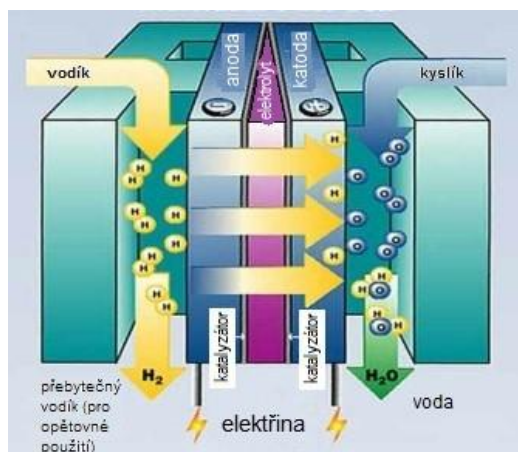
Obrázek 1 Schéma BEV

Základním typem je BEV (bateriové elektrické vozidlo), tedy elektrické vozidlo pohybující se z energie uchované v trakčních bateriích. Tento typ je nejčastější, neboť je nejjednodušší na konstrukci kvůli tomu, že má nejmenší počet elektronických částí. Trakční baterie pohání většinou celé vozidlo, ale pro obsluhu nízkonapěťových prvků (okolo 12 V) je potřeba získat z trakční baterie s mnohem vyšším napětím transformací napětí nižší. K tomuto účelu slouží konvertor čili měnič, který je schopen převádět z vyššího napětí na nižších 12 V.

Mezi větší BEV náleží např. Škoda Enyaq, Audi e-tron, Tesla X, Ford Mach-E, Nissan Leaf a další. Mezi menší BEV patří Renault Zoe, Volkswagen E-Up, Škoda Citigo, Fiat 500-e, BMW i-3, Honda E aj. [14]

Energie se pomocí nabíjecího konektoru (charging plug) přesune přes měnič (power converter), který převede hodnotu síťového napětí na hodnotu napětí baterie, a uloží do baterie (battery bank). Pokud je potřeba vozidlo uvést do pohybu, řízení motoru (motor drive) pošle signál elektromotoru (electric motor), který využije energii z baterií, převede ji pomocí převodovky (transmission) na kola, jak je znázorněno na obrázku 1. [16]

Existují i jiné možnosti uchování či výroby energie. Důležité je, aby jejich použití ve vozidlech bylo funkční a bezpečné, ovšem jejich vývoj není v současné době tak pokročilý. Varianta vozidla zvaná FCEV (fuel cell electric vehicle) používající palivové články, zobrazené na obrázku 2 [17], někdy též zvané vodíkové články, představuje alternativu k běžnějším bateriovým variantám. Zástupcem tohoto typu je Toyota Mirai, na obrázku 3. [18]



Obrázek 2 Schéma palivového článku

Získávání čistého vodíku je náročný proces. Získávání z neobnovitelných zdrojů není především ekologické, ale je o něco levnější. Za pomoci solární či větrné energie je získ vodíku ekologičtější, avšak dražší. Článek funguje na principu obrácené elektrolýzy, kdy k anodě je přiváděno palivo, v tomto případě vodík, a ke katodě okysličující látka, zde kyslík. Vodík se za pomoci katalyzátoru rozloží na kladné ionty a 2 elektrony, poté vodík putuje přes elektrolyt, kde se dále slučuje s kyslíkem a dochází k uvolnění další energie. Jako palivo lze použít i jiné látky. Nejlépe použitelným palivem v článku je vodík, který po dokončení procesu po sobě zanechává jako výsledný produkt vodu. [19]

Další možností získávání vodíku je pyrolýza, což je proces, při němž působí teplo na odpadní materiál, většinou je to biomasa, který se postupně štěpí na menší a menší molekuly. u pyrolýzy je výhodou, že se při ní používá odpad a tím se získávají základní složky (uhlík, vodík), které se dále využívají. Poslední možností je biofotolýza, u které se využívá fotosyntéza bakterií či řas. energii získanou ze slunce použijí na rozštěpení vody na vodík



Obrázek 3 Vodíkové ústrojí Toyoty Mirai

a kyslík, který použijí, a vodík vyloučí, který se poté jímá a dalšími procesy extrahuje. Výhodou je téměř nulová zátěž na životní prostředí, nevýhodou je pomalejší a méně efektivní získávání vodíku. V poslední době pokračuje rozsáhlý vývoj. [20]

Další kategorie vozidel nepatří mezi čistě elektrická vozidla, přesto se vyplatí je zmínit pro celkový kontext elektromobility.

HEV (hybridní elektrické vozidlo), je typ vozidla se spalovacím motorem, které disponuje současně elektromotorem, který v určitých situacích, např. rozjezd, roztočení klikové hřídele apod., pomáhá, resp. ulehčuje práci spalovacímu motoru a tím snižuje emise a opotřebení samotné pohonné soustavy. HEV je souhrnný název pro všechna hybridní vozidla, která se ovšem dále dělí a jejich elektrické vybavení se navzájem hodně liší. [21]

MHEV (mild-hybridní elektrické vozidlo) je vozidlo, které má zpravidla pouze velmi slabý elektromotor a trakční baterii s napětím 24 nebo 48 V a s velmi nízkou kapacitou. Konstrukčně je toto řešení provedeno formou startér generátoru, který při startování vozidla či rozjezdu, kdy má elektromotor točivý moment od nulových otáček, výrazně pomáhá spalovacímu motoru. Současně má možnost rekuperovat energii zpět do baterie. Kvůli velikosti baterie není vozidlo schopné jízdy pouze na elektřinu. Víceméně každá automobilka nějak zahrnula toto hybridní řešení do svých vozidel. Příklady jsou Ford Puma MHEV či Audi A8 MHEV. [21]

FHEV (full hybrid electric vehicle / plně hybridní EV) je typem hybridu, který má plnohodnotný elektromotor, jež umožňuje jízdu čistě na elektrický pohon, ovšem pouze na krátkou vzdálenost, přibližně do 10 km, což je umožněno větším akumulátorem. Současně má také schopnosti mild-hybridu, tedy možnost rekuperovat. Zástupcem tohoto typu je Ford Kuga FHEV. [22]

PHEV je hybrid, který má stejný základ jako FHEV jen s tím rozdílem, že PHEV lze nabíjet z nabíjecího stojanu, ať domácího či u obchodu, a je tedy u něj snazší jezdit pouze na elektrickou energii. Do této kategorie patří Škoda Superb iV. [21]

EREV (extended range electric vehicle / EV s prodlouženým dojezdem) je v základu elektromobilem, který má možnost používat jako možnost dobíjení malý spalovací motor, který za konstantních otáček vyrábí elektrickou energii, který dobíjí trakční baterii. Tento typ má v plánu Mazda pro svůj model MX-30 s Wankelovým motorem či již existující Chevrolet Volt. [22]

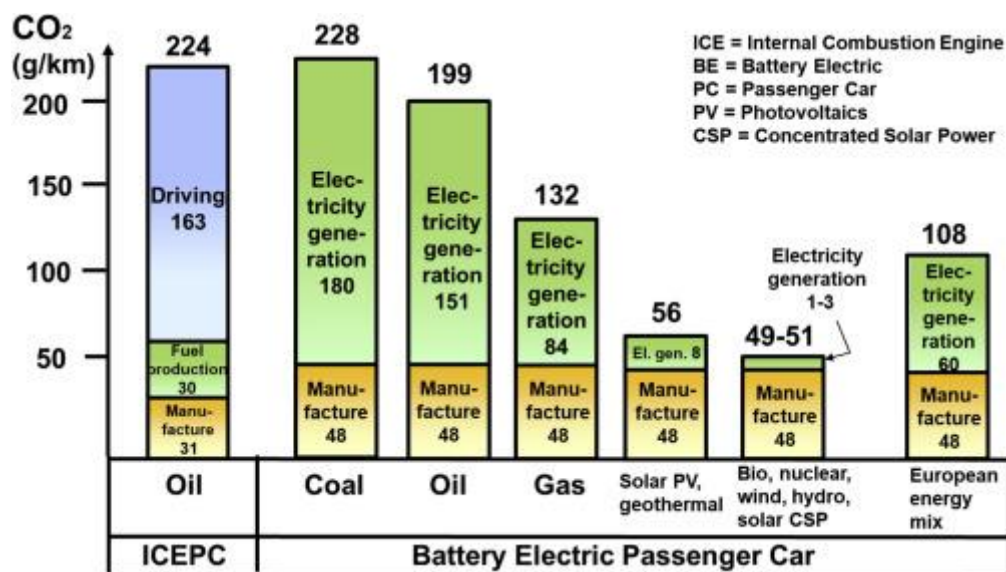
2.1.5 Blízká budoucnost elektromobility

Budoucnost elektromobility je prozatím na vzestupu. Vhodné politické nástroje se snaží prosazovat myšlenku ekologičtějšího přístupu. Zaváděním přísných emisních limitů se situace pro vozidla se spalovacím motorem stává obtížnější. Prozatím největším nedostatkem v elektromobilizaci České republiky a obecně Evropy je nižší počet nabíjecích míst, která by mohla populace používat. S tím souvisí hustota rozvodné sítě a její schopnost zvládnout vysoké výkyvy. Už dnes se do budoucna počítá s rozšiřováním a posilováním rozvodné sítě, aby byla schopna pojmout zvýšené energetické nároky. Pokud by dnes došlo k okamžitému zvětšení počtu EV, např. o půl milionu, síť by to pravděpodobně nezvládla. Ovšem v ČR dochází k růstu počtu EV postupně, operátoři rozvodných sítí s tím počítají a do sítě investují a dělají úpravy. [23]

Dalším problémem jsou omezené zdroje přírodního bohatství, především suroviny potřebné k výrobě bateriových článků např. lithium, které mohou nepřímo způsobit další zvyšování cen komodit z nich vyráběných. [24]

Další emise, které se zjišťují a měří, jsou SO_2 a NO_x , tedy oxidy síry a dusíku. u vozidla se spalovacím motorem vznikají tyto emise při samotném spalování paliva, zatímco u EV se údaje získají z energetického mixu dané země. Vozidla se spalovacím motorem podle analýzy WTW vyprodukují 4,77 g $\text{SO}_2/100$ km a 15,02 g $\text{NO}_x/100$ km, zatímco BEV vyprodukují 4,31 g $\text{SO}_2/100$ km a 4,19 g $\text{NO}_x/100$ km. Při zvýšení kvality životního prostředí je nutné zaměřit se na lepší redukci SO_2 . [25]

Světově už bylo zpracováno několik studií a odborných pojednání zaměřujících se na téma ekologičnosti a limitů CO₂ u elektromobilů a jejich porovnání s vozidly se spalovacím motorem.



Obrázek 4 Porovnání emisí CO₂ u EV a vozidel se spalovacím motorem

Na obrázku 4 [26] lze vidět porovnání emisí CO₂ při životním cyklu vozidla v jednotkách g CO₂/km. Je patrné, že elektromobil využívající elektrickou energii pouze z uhlí a ropy nepřináší žádné nebo téměř žádné snížení produkovaných emisí. Ovšem většina zemí má určitý energetický mix, což znamená, že má více druhů zdrojů elektrické energie, např. vodní elektrárna, uhelná, solární, jaderná atd. V České republice odpovídá energetický mix z roku 2021 408 g CO₂/kWh, což pro průměrné EV se spotřebou 20 kWh/100 km tvoří 129,6 g CO₂/km. Pro Polsko s 676 g CO₂/kWh ve stejném roce vyjde hodnota 177,2 g CO₂/km. [27]

I když vozidlo se spalovacím motorem má stále větší hodnoty CO₂, výhody EV u zemí s převážnou výrobou elektřiny z uhlí se vytrácejí. Z tohoto vyplývá, že čím více se bude přecházet na obnovitelné zdroje energie, tím více budou EV ekologičtější. [26]

2.2 Baterie

Baterie je u dopravních prostředků, pohybujících se právě díky elektromotoru, základní komponentou celého vozidla. Samotná baterie slouží k ukládání elektrické energie, získané ať už z rozvodné sítě či z vodíkových článků, a ta pohání vozidlo pomocí elektromotoru, který ji převede na energii mechanickou. Baterií se nazývá celá komponenta, která je složena z menších modulů, pro lepší obsluhu a skládání či případnou výměnu, a moduly jsou

tvoreny jednotlivými články, které se spojují do sériových a paralelních větví. Zapojením do série se zvedá napětí celé baterie, zatímco paralelním zapojením se zvedá kapacita. [28]

2.2.1 Konfigurace článků

Při konfiguraci článků se musí konstruktér rozhodnout, jaké vlastnosti potřebuje stanovit, aby akumulátor EV splňoval potřeby motoru a měl dostatek výkonu pro pohyb vozidla.

Sériové zapojení umožňuje násobně navyšovat napětí. Podle Ohmova zákona s rostoucím napětím klesá vnitřní odpor, který je pro fungování celé baterie stěžejní, neboť díky tomu se minimalizují ztráty. [29]

Paralelní zapojení v elektrickém obvodu násobně zvedá celkovou kapacitu, která zvyšuje dojezdovou vzdálenost vozidla. [29]

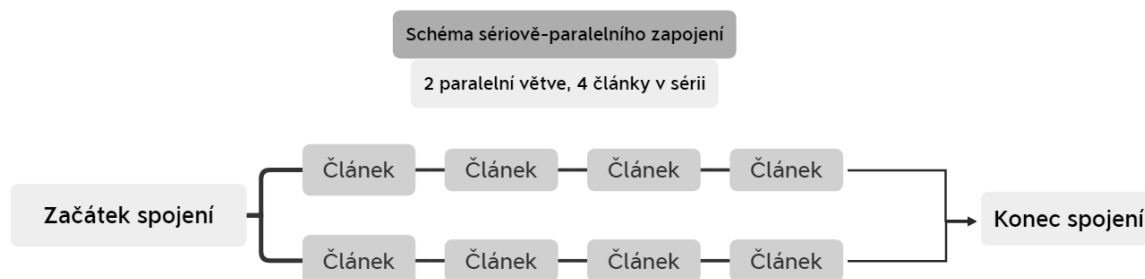
Poslední možností je smíšené zapojení, kdy se kombinují vlastnosti sériového a paralelního zapojení a lze tedy navýšit napětí a kapacitu dané baterie. Schéma tohoto zapojení lze vidět na obrázku 5. Volba zapojení závisí na potřebách systému, zda je potřeba vyšší napětí, kapacita nebo obojí.

$$\text{Vzorec č. 1: } P [W] = U [V] \cdot I [A]$$

$$\text{Vzorec č.2: } W [J] = U [V] \cdot I [A] \cdot t[s]$$

K výpočtům výkonu a případně práce se používají následující vzorce, pro elektrický výkon vzorec č.1 a pro vykonanou práci vzorec č.2. Z těchto vzorců vyplývá, že čím větší je proud a napětí, který je baterie schopna poskytnout, tím většího výkonu lze dosáhnout. [30]

Pro každou baterii jsou definována minimální a maximální napětí a nejvyšší nabíjecí a vybíjecí proud. Pokud se budou překračovat hodnoty u těchto parametrů, dojde ke zkrácení životnosti až úplnému zničení baterie.



Obrázek 5 Schéma sériovo-paralelního zapojení

Např. 8 článků s napětím 12 V a kapacitou 50 Ah zapojíme v sériovém zapojení, pak se získá baterie s napětím 96 V a kapacitou 50 Ah s energií v hodnotě 4,8 kWh. Pokud by se ty samé články zapojily paralelně, tak by se získala baterie s napětím 12 V a kapacitou 400 Ah s energií v hodnotě 4,8 kWh. Při smíšeném zapojení (2 paralelní větve a 4 články v sérii) se získá 48V baterie s kapacitou 100 Ah a celkovou energií 4,8 kWh.

2.2.2 Typ baterií podle tvaru

Baterie kategorizujeme na základě tvaru dané baterie. Všechny tvary jsou vyráběny jak v primární (jednorázové), tak v sekundární (opakovaně nabíjitelné) variantě kromě plochého článku, který je pouze v sekundární variantě.

2.2.2.1 Válcové baterie

Dle názvu, válcové baterie mají tvar válce. Nejčastěji se lze setkat s tužkovými a mikrotužkovými bateriemi. Pro ně se používají označení jako AA a AAA, ovšem jsou zde i další typy. Na baterii Li-ion typ 18650 se popíše, co znamenají daná čísla. První je velikost průměru, který činí 18 mm a výška dosahuje 65 mm. Všechny funkční prvky baterie jako jsou katoda, anoda a elektrolyt jsou obvykle uzavřeny v kovovém pouzdře, nejčastěji z oceli či



Obrázek 6 Různé válcové baterie

hliníku. Výhody tohoto tvaru spočívají v dlouhodobém výzkumu a produkci, další výhodou je vyšší specifická energie a bezpečnost. Nevýhodou je horší odvod tepla způsobený malými

rozměry, který znesnadňuje chlazení v malém prostoru, jaký je např. u elektromobilů. Využívají se napříč všemi průmyslovými odvětvími. [31]

2.2.2.2 Knoflíkové baterie

Knoflíkové baterie jsou zvláštním typem válcové baterie, které mají tvar připomínající knoflík či minci. Tento typ článku má využití v nízkonapěťových zařízeních a obvodech, jako jsou dálková ovládaní, hodinky apod. [31]



Obrázek 7 Knoflíkové baterie

2.2.2.3 Hranaté články

Hranaté články, nebo hranolovité články, mají tvar kvádru. Tento tvar pomáhá v lepší stohovatelnosti, tedy využití prostoru, kdy mezi jednotlivými články není nevyužitý prostor. Tyto baterie mají lepší odvod tepla díky větší ploše a většímu vnitřnímu prostoru v baterii. Stejně jako cylindrické baterie jsou všechny funkční komponenty obvykle schovány v pevném kovovém pouzdru. [31] Variantu hranatého článku lze vidět na obrázku 8. [32]



Obrázek 8 Hranatý LiFePO_4 článek

2.2.2.4 Ploché články

Ploché články (anglicky pouch cells) jsou zvláštním typem hranaté baterie, která má hranatý tvar, ovšem není uložena do pevného kovového pouzdra, nýbrž je uložena v tenké hliníkové a plastové vrstvě, které dávají baterii flexibilnější vlastnosti. Články jsou lehčí, mají lepší měrnou energetickou hustotu a nižší vnitřní odpor. [31]



Obrázek 9 Plochý článek

Jeho stavbu lze vidět na obrázku 9. [33]

Pevné kovové pouzdro je v automobilovém průmyslu vyžadováno z důvodu bezpečnosti, aby byla snížena šance na proražení, a tedy poškození daného článku.

2.2.3 Parametry baterií

2.2.3.1 Kapacita

Kapacita je jeden z hlavních parametrů, který u baterií používaných ve vozidlech sledujeme, neboť reflektuje dojezdovou vzdálenost vozidla. Zjednodušeně to znamená, že větší baterie znamená větší dojezd. Kapacita, jako fyzikální veličina, se udává v jednotkách Ah (ampérhodina), která je odvozena z odvozené jednotky SI coulomb (C). Jeden coulomb je jedna As (ampérsekunda), tedy 1 Ah má 3600 C. Například baterie o kapacitě 2 Ah může dávat proud 2 A po dobu jedné hodiny nebo 1 A po dobu dvou hodin. [31]

2.2.3.2 Elektrická energie

Ačkoliv u baterie je důležitá kapacita, je potřeba vědět, kolik energie je uloženo v baterii i vzhledem k výpočtu spotřeby. Množství energie je přímo úměrné kapacitě a napětí baterie, jak lze vidět ve vzorci č.3.

$$\text{Vzorec č. 3: } E_e = C[Ah] \cdot U[V]$$

Jednotkou energie je Wh a je odvozena z joulu (J), kdy jeden joule se rovná jedné wattsekundě (Ws). [15]

Největší baterii v oblasti osobních vozidel používá Lucid Air s celkovou hodnotou energie 118 kWh a voltáží 924 V. [34] Druhou největší baterii má Mercedes EQS s napětím 400 V a energií 107,8 kWh. Za zmínku stojí firma GMC, která pracuje na svém vozidle, přestože nespadá do kategorie osobních vozidel, Hummer EV s použitelnou energií čítající 212 kWh (celkovou téměř 250 kWh) a napětím 400 V. [34]

2.2.3.3 Měrná energie

Měrná energie vztahuje množství energie baterie k nějaké hmotě, tedy 1 Wh na kilogram hmotnosti baterie. Jednotkou je $\text{Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Z množství energie a měrné energie lze jejich podílem zjistit hmotnost baterie. [15]

2.2.3.4 Energetická objemová hustota

Hustota je důležitá kvůli rozměrům baterie, protože nízká hustota způsobí, že baterie poté dosahuje velkých rozměrů. Jedná se o množství energie uvolněné na jednotku objemu, tedy $\text{Wh}\cdot\text{m}^{-3}$. Potřebný objem, a z toho následné rozměry, lze zjistit jako podíl energie a energetické hustoty. [15]

2.2.3.5 Měrný výkon

Měrný výkon říká, jaký výkon je baterie schopna poskytnout na jednotku hmotnosti. Jednotkou je $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Měrný výkon je pro využití v BEV velmi důležitý, protože baterie s vysokou kapacitou a nízkým měrným výkonem nejsou schopny dodat dostatečný výkon. U baterií se používá metrika, která popisuje vybíjecí proud např. 1 C (current).

Pro příklad se vezme baterie s kapacitou 100 Ah, napětím 300 V a vybíjecím proudem 1 C. 300V baterie poskytne vybíjecí proud 100 A, tedy elektrický výkon přibližně 30 kW. Ovšem baterie s 0,4 C dodá proud 40 A, tedy výkon pouhých 12 kW. [15]

2.2.3.6 Teplota baterie

Teplota baterie má důležitou roli v provozu a životnosti baterie. Každá baterie zvládá pracovat v odlišném rozpětí teplot. Příliš vysoké nebo příliš nízké teploty mohou způsobit zrychlené stárnutí baterií, příp. se články mohou úplně zničit. U tepelného řízení rozlišujeme 2 způsoby, aktivní a pasivní. [15]

Pro nabíjení akumulátoru by se teploty měly pohybovat v rozpětí od 0 do 45°C. Při překročení horní hranice se nabíjení zpomalí, aby nedošlo k poškození baterie. Při nižší teplotě se baterie nejprve zahřívá na provozní teplotu a poté se začne nabíjet klasickou rychlostí. Některá vozidla mají speciální kapalinové chlazení, které pomáhá baterii a nabíjecí soustavě udržet teplotu v přijatelných hodnotách. Při vybíjení se teploty pohybují ve výše zmíněném rozpětí. [31]

Pasivní tepelné řízení spoléhá na vodivost a vyzařování materiálu, které má za cíl odvést přebytečné teplo mimo baterii. Výhodou jsou nízké náklady a snadná včlenění do bateriového boxu. [31]

Aktivní tepelné řízení využívá elektrickou energii k lepšímu odvodu tepla ze systému. Výhodou je lepší odběr tepla, nevýhodou je vyšší cena a složitost. [31]

2.2.3.7 Životnost baterií

Stárnutí baterie je proces, kterému se nelze vyhnout, a proto je dobré udržovat baterii v ideálních podmínkách. Počet cyklů vyjadřuje zaručený počet, kdy baterie zvládne úplné vybití a úplné nabití. Životnost závisí na typu baterie, na okolní teplotě, na používání vozidla, správném nabíjení a vybíjení. [31]

2.2.4 Typ baterií podle prvku na elektrodách

Každý článek je složen z několika komponent, které mají vliv na množství uchované energie. Mezi hlavní části patří elektrody a elektrolyt. Složení materiálu má vliv na elektrochemický potenciál, a tedy uvolněné množství energie.

2.2.4.1 Baterie nepoužívané v autoprůmyslu

Tyto články kvůli svému jednorázovému použití v autoprůmyslu příliš uplatnění nenajdou. Přesto se vyplatí je v rámci kontextu zmínit.

2.2.4.1.1 Voltův článek

Voltův článek byl první vyrobený galvanický článek. Katoda byla vyrobena z mědi a anoda ze zinku. Obě elektrody byly ponořené do roztoku kyseliny sírové. Napětí mezi elektrodami na základě elektrochemického potenciálu činí 1,1 V. [35]

2.2.4.1.2 Leclancheův článek

Princip alkalického článku je založen na reakci mezi zinkem a oxidem manganičitým. Katoda je vytvořena z oxidu manganičitého a anoda je ze zinkového prášku v elektrolytu z hydroxidu draselného. Jmenovité napětí dosahuje 1,5 V. Dnes se pro moderní variantu této baterie používá název alkalický článek. [36]

2.2.4.1.3 Zinko-uhlíkový článek

Zinko-uhlíkový článek je objevený na základě Leclancheova článku. Zinek byl použit pro anodu a uhlík pro katodu, přičemž obě elektrody jsou ponořeny do roztoku chloridu amonného. Napětí činí 1,5 V. Používají se do běžných elektrospotřebičů. [37]

2.2.4.1.4 Stříbrný článek

Stříbrný článek je velmi kvalitní článek s katodou ze stříbra a s anodou ze zinku v elektrolytu z hydroxidu sodného. Jmenovité napětí dosahuje 1,56 V. [38]

2.2.4.1.5 Nikl-kadmiový akumulátor

Nikl-kadmiové akumulátory mají elektrody v podobě niklu a kadmia a elektrolyt z hydroxidu draselného. Tyto akumulátory mají dlouhou životnost, mohou být skladovány ve vybitém stavu a dovedou pracovat i za nižších teplot. Před nabitím je potřeba akumulátor plně vybit kvůli paměťovému efektu. Jmenovité napětí se pohybuje okolo 1,2 V. [39]

2.2.4.1.6 Lithium-polymerový akumulátor

Lithium polymerový akumulátor je typ znovunabíjecí ploché baterie, která je tvořena měkkým ochranným obalem a elektrolyt je tvořen gelovým polymerem. Tyto baterie jsou lehčí, ohebnější, méně odolné vůči vnějším zásahům a našly uplatnění v menších zařízeních, kde nezabírají tolik prostoru. Kladná elektroda je většinou z LiCoO_2 a záporná elektroda z uhlíku. Jmenovité napětí se pohybuje okolo 3,6 V. [40]

2.2.4.2 Baterie používané v autoprůmyslu

Tyto články mohou díky svým vlastnostem najít uplatnění v autoprůmyslu díky životnosti a možnosti baterie znovu nabít.

2.2.4.2.1 Olověný akumulátor

Tento akumulátor byl navržen již v roce 1860 francouzským fyzikem Gastonem Plantem. Katoda byla vytvořena ze surového olova a anoda byla z oxidu olovičitého. Obě elektrody byly ponořené do elektrolytu ze zředěné kyseliny sírové. [15]

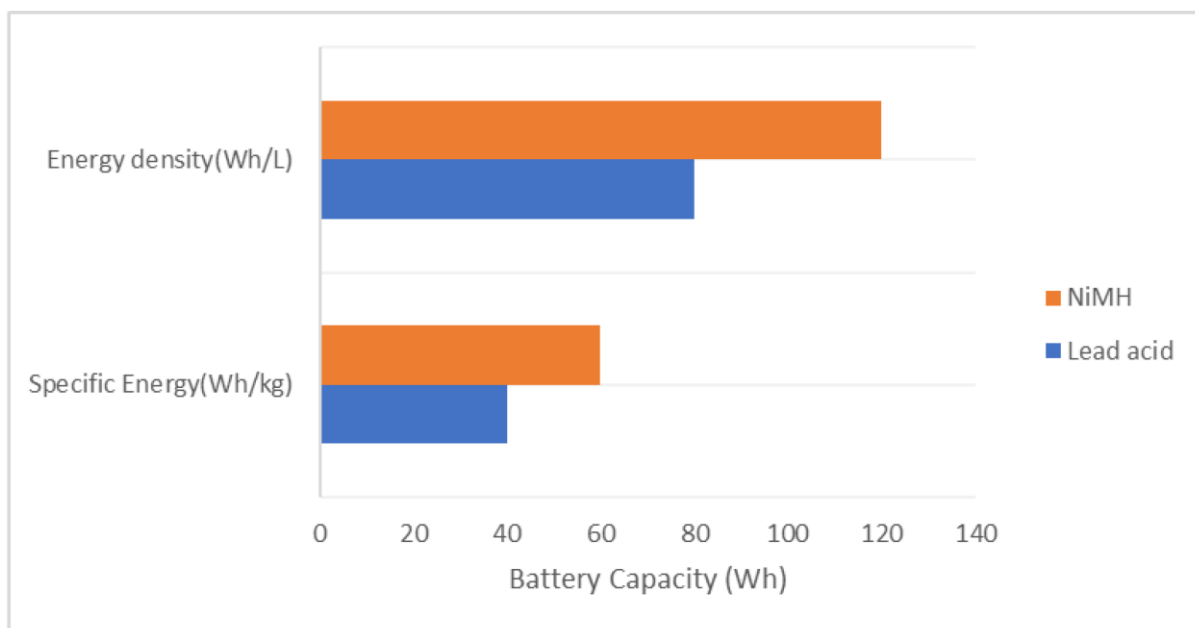
Olověný akumulátor je již řadu let nejpoužívanějším typem akumulátoru v automobilovém průmyslu jako zdroj elektrické energie. Jeho stále nízká cena pomáhá jeho masovému rozšíření. Jeho největší nevýhodou je znečišťování životního prostředí, kdy při výrobě, při používání a recyklaci, příp. likvidaci, vypouští olovo do prostředí. V EU a USA dosáhla úroveň sběru a recyklace baterií více než 99 %. Tato hodnota je velmi vysoká v porovnání s ostatními bateriemi. V EV nejsou olověné akumulátory rozšířeny kvůli jejich nízké elektrické energii a nízké elektrické hustotě. [15] [21]

Jmenovité napětí článku činí 2,1 V. Olověný akumulátor je schopen vydržet vysoká jednorázová přetížení, která se využívají právě při startování vozidel. Do automobilů se používá šestičlávková baterie o napětí přibližně 12 V. [15]

2.2.4.2.2 Nikl-metal hydridové akumulátor

Nikl-metal hydridové (Ni-MH) akumulátory jsou novější a výhodnější variantou nikl-kadmiového akumulátoru. Kadmiová elektroda je nahrazena speciální slitinou z různých kovů, např. kobalt, nikl, mangan. Tato varianta má dvakrát větší kapacitu než Ni-Cd, netrpí paměťovým efektem a je přívětivější k životnímu prostředí. Proto tato baterie byla zvolena jako možný zdroj energie pro EV, především pro HEV. Napětí je shodné s Ni-Cd akumulátorem. Nevýhodou je nižší nabíjecí účinnost a vysoká úroveň samovybíjení v oblastech s vysokou teplotou. Využití nikl-metal hydridových baterií v EV se zpomalilo s příchodem kvalitních Li-ion baterií. [15] [21]

Porovnání NiMH a olověného akumulátoru lze vidět na obrázku 10. [21]



Obrázek 10 Porovnání Nikl-metalové baterie a olovněné baterie

2.2.4.2.3 Lithium-iontový akumulátor

Lithium-iontový (Li-ion) akumulátor zaujal na trhu díky svým výborným vlastnostem přední místo a je hojně využíván. Vysoká kapacita, vysoká elektrická energie a elektrická hustota vytváří těžké konkurenční prostředí pro jiné typy baterií. Tyto výhody i ve spojení s nízkou hmotností, dlouhou životností a rozměry znamenají efektivní použití tohoto akumulátoru jako ideální zdroj energie pro EV. Všechny automobilky používají do svých BEV lithiové baterie. Na elektrodách se používají rozdílné materiály, např. LiCoO_2 , LiFePO_4 , LiNiMnCoO_2 , LiNiCoAlO_2 a další. V porovnání s ostatními materiály mají baterie LiFePO_4 nejvyšší vybíjecí proud a nízkou cenu, navíc mají dobrou tepelnou a chemickou stabilitu, a proto jsou masově rozšířeny ve využití v EV. Ostatní materiály byly také s úspěchem použity, avšak LiFePO_4 má dominantní postavení na trhu. Masivní vývoj v oblasti baterií pomáhá dále vylepšovat či prodlužovat životnost a využití baterií. Použití grafenu na katodě pomáhá zvýšit výkonnost baterie. [15][21]

V dnešních lithiových bateriích se řeší především bezpečnost, protože lithium se hasí hůře než jiné materiály kvůli vysoké reaktivitě se vzduchem. Z toho důvodu se na Li-ion baterie kladou vysoké nároky na bezpečnost proti průrazu a poškození. Li-ion baterie mají odhadovanou životnost okolo 2 000 nabíjecích cyklů. Při správné údržbě a dostatečné kontrole jednotlivých článků se může kapacita snížit pouze o 5–10 % po více než 5 letech. [31] Další vývoj v této oblasti by mohl přinést zvýšení kvality a zlepšení vlastností baterií. Nevýhodou Li-ion baterií jsou vyšší pořizovací náklady a nebezpečné přehřívání, které vede k dalšímu poškození baterie. Navzdory masivnímu nasazení pro BEV, cena Li-ion bateriích příliš klesat

nebude, protože značná část ceny je tvořena jen materiálem, který je relativně vzácný a špatně se získává, což s sebou nese jak finanční, tak ekologickou zátěž. [41]

2.2.4.2.4 Nikl-zinkový akumulátor

Nikl-zinkové (Ni-Zn) baterie byla jednu dobu velice předpokládaným kandidátem pro zavedení do EV. Použití baterie bylo ale odloženo kvůli výhodám jiných baterií, především Li-ion. Vysoká energetická hustota, vysoká měrná energie a snadno dostupné materiály pro zpracování z Nikl-zinkového akumulátoru vytváří kandidáta na použití v autoprůmyslu. Největší problém, který se u této baterie objevuje, je životnost zinkové katody, která je v porovnání s ostatními materiály nižší. Anoda je tvořena hydroxidem zinečnatým a elektrolyt je stejný jako v Ni-Cd akumulátoru. Jmenovité napětí generované v baterii dosahuje až 1,73 V, v praxi se pohybuje napětí mezi 1,55 až 1,65 V. Dnes vyráběné 12V Ni-Zn baterie zvládají přibližně 500 cyklů při plném vybití a mohou dosáhnout až 1000 cyklů v závislosti na provozu baterie. Velkou výhodou nejen v dnešní době je velice nízké zatěžování životního prostředí v porovnání s ostatními bateriemi. Jsou také bezpečnější než lithiové baterie. [42]

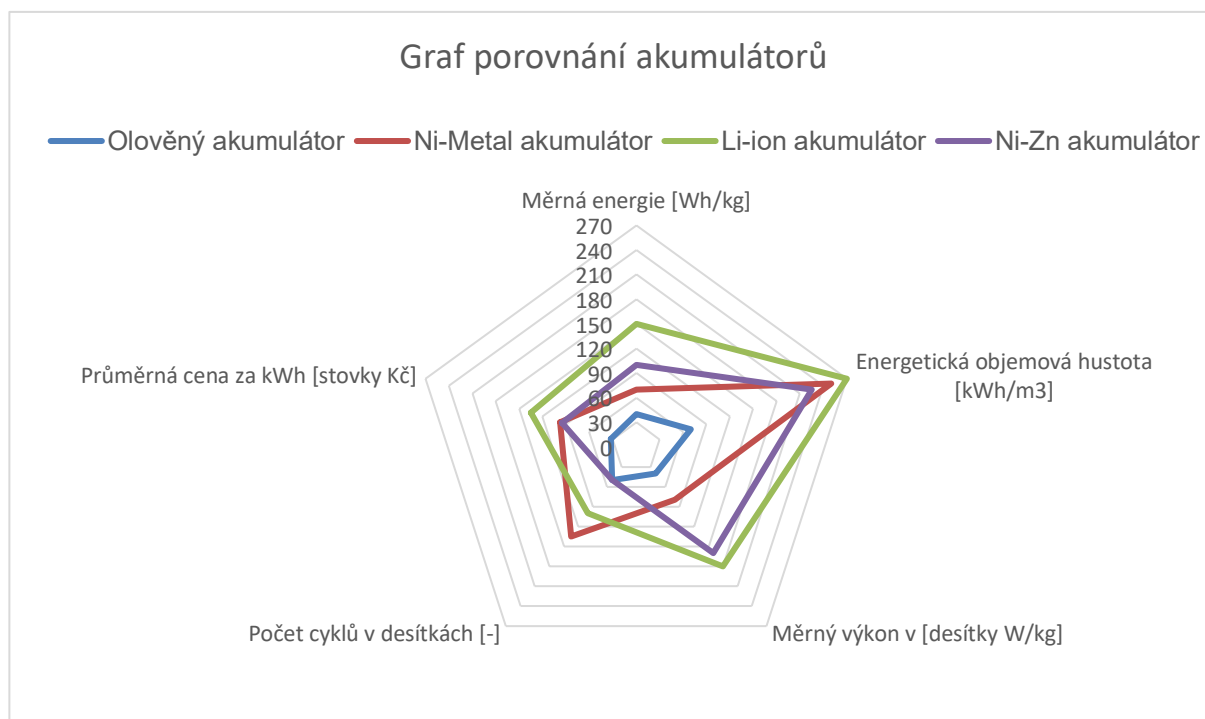
Pokud by nedošlo k použití pro BEV, je zde šance na použití místo klasické 12V olovené baterie a do hybridních systémů spalovacích vozidel. Běžným problémem je tvorba dendritů, útvarů vznikajících při elektrolýze v baterii, které vytváří další problémy v elektrochemických vlastnostech dané baterie. Toto tvarové přetváření zvedá vnitřní odpor baterie, a tedy snižuje účinnost baterie. Růst dendritů vede ke vzniku drobných zkratů vytvořených díky vodivým drahám mezi elektrodami. Dendrity prorůstají pórovitou separační vrstvou, kdy zpočátku jsou dendrity vypáleny vysokými proudy v baterii. V moment, kdy dojde k plnému prostupu separační vrstvy, nastane plné zkratování baterie, tedy její likvidace. [42]

2.2.4.3 Porovnání akumulátorů

Z výše zmíněných poznatků lze konstatovat, že v současné době plní jako účel baterie do EV nejlépe nějaká forma lithiového akumulátoru. Tento typ má vynikající elektrochemické vlastnosti, nejlepší měrnou energii, vysokou energetickou objemovou hustotu a přijatelný počet cyklů. V obecné rovině se předpokládá, že s rozvojem elektromobility se vloží nemalé finanční prostředky do vývoje samotných baterií, jejich životnosti a recyklace. Srovnání lze vidět v tabulce 2.

Typ akumulátoru	Olověný akumulátor	Ni-Metal akumulátor	Li-ion akumulátor	Ni-Zn akumulátor
Parametry				
Měrná energie [$\text{Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$]	40	70	150	100
Energetická objemová hustota [$\text{Wh}\cdot\text{m}^{-3}$]	70 000	250 000	270 000	225 000
Měrný výkon [$\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$]	400	800	1800	1600
Optimální pracovní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	-20 až 60	-40 až 50	200 až 270	0 až 50
Počet cyklů [-]	500	1350	1 000	500
Cena za kWh [Kč]	2 000 až 4 500	6 000 až 13 500	4 000 až 23 000	7 000 až 12 000

Tabulka 2 Porovnání akumulátorů



Obrázek 11 Graf porovnání akumulátorů

Na obrázku 11 lze vidět porovnání 4 hlavních typů článků, které se ve vozidlech díky svým vlastnostem mohou použít. Z grafu lze vyčíst, že Li-ion akumulátor dosahuje nejvyšších hodnot téměř ve všech oblastech. Navzdory tomu se však používají i ostatní baterie, především kvůli ceně, která může být v některých případech důležitější. Použití daného akumulátoru se odvíjí od nároků na jeho použití.

2.2.5 Napájení

2.2.5.1 Úrovně napájení

Všechna vozidla potřebují nějaký zdroj paliva a u EV je to elektrická energie, kterou získají z nabíjecí stanice. U BEV a PHEV lze nabíjet několika způsoby, přičemž každý způsob se liší v rychlosti nabíjení. Každá nabíjecí stanice je označena tabulkou a vodorovným dopravním značením, že místo je určené pro nabíjení elektromobilů. Nabíjení probíhá podobně jako tankování paliva, tedy vsunutím koncovky (pistole) do příslušného vstupu až do zacvaknutí, zahájení nabíjení se aktivuje na stojanu a pak už probíhá samotné napájení baterie. Nabíjet lze na různých místech, ovšem nejčastěji nabíjení probíhá doma, poté v práci a na veřejných nabíječkách u obchodních domů, na ulici a čerpacích stanicích. [43]

Nabíjení je rozděleno na úrovně 1, 2 a 3. Úroveň 1 znamená nabíjení přes standardní elektrickou zásuvku se střídavým proudem. Tímto způsobem lze nabíjet rychlostí nejvýše 2,3 kW. Jedná se o nejpomalejší způsob, který např. 60 kWh nabije přibližně za 26 hodin. [43]

Nabíjení na úrovni 2 odpovídá „wallboxům“, tedy nabíječkám o vyšším výkonu, které umožní rychlejší nabití EV, stále střídavým proudem. Výkon této nabíječky je v rozpětí od 3,4 kW do 22 kW a jsou používány v domácnostech, na veřejných nabíječkách u obchodů apod. Např. 60 kW baterie při nabíjení 10 kW bude nabita přibližně za 6 hodin, což pro denní používání postačuje. [43]

Úroveň 3 nabízí nejrychlejší nabíjení, které je k dispozici. Tato úroveň používá stejnosměrný proud, který se používá v bateriích. Pokud se napájí střídavým proudem, je potřeba použít palubní měnič, který usměrní střídavý proud na stejnosměrný. Tyto nabíječky jsou vhodné pro krátké a intenzivní nabíjení na čerpacích stanicích apod. Výkon u této úrovně je v rozpětí od 50 kW až do 240 kW. Například 60 kW baterie bude nabíjení 120 kW trvat přibližně 30 minut, což je znatelný rozdíl oproti domácím 26 hodinám. [43]

Pro napájení je potřebný kabel, který zvládne přenést dané proudy a nezničí se při tom. Kabely jsou rozděleny podle módu a přímo nesouvisí s dříve zmíněnými úrovněmi.

2.2.5.2 Kabely

Mód 1 neslouží k nabíjení EV, ale používá se pro lehčí typy dopravy, jakou jsou elektrokola, elektrokoloběžky apod.

Mód 2 je základní kabel, který je přiložen při pořízení vozidla a nabízí nabíjení na úrovni 1.

Mód 3 je silnější verzí oproti módu 2 a patří mezi nejběžnější kabel pro nabíjení střídavým proudem.

Mód 4 je typ kabelu, který je použit pro rychlonabíjení. Tyto kabely jsou navrženy a přizpůsobeny tak, aby zvládly přenášet vysoká proudová zatížení, která jsou k dispozici u nejsilnějších stejnosměrných nabíječek. [43]

2.2.5.3 typy koncovek

Ve světě se používá několik typů koncovek, které nejsou navzájem kompatibilní a k použití zásuvky pro jiné koncovky je potřeba mít v autě redukci. Každá koncovka zvládne přenést pouze určitý proud, na který byla navržena. Ne všechny koncovky jsou všude, některé koncovky se nacházejí převážně v některých státech či světadílech a jen občas je k nalezení nabíječka s jinou, pro místo neobvyklou, koncovkou. [43]

Do koncovek na střídavý proud jsou zařazeny koncovky Type 1, Type 2 a GB/T. Type 1 je schopná dodávat až 7,4 kW a je používána v Japonsku a Severní Americe. Type 2 zvládne až 43 kW na veřejných nabíječkách a nachází se v převážně v Evropě, kde byla zvolena jako jednotná napájecí koncovka. GB/T umožňuje nabíjení jak střídavým proudem do výše 7,4 kW, tak stejnosměrným proudem do 237,5 kW a používá se v Číně. [43]

Koncovky na stejnosměrný proud, jak už z názvu plyne, nabíjejí baterie stejnosměrným proudem, který pro nabíjení efektivnější. CCS1 zvládne až 350 kW a používá se v Severní Americe. CCS2 nabízí napájení až 350 kW a používá se v Evropě. CHAdeMO se nachází především v Japonsku a nabízí napájení až 200 kW. [43]

2.3 Legislativa

Předpisů, které se dotýkají výroby baterií, EV, jejich provoz a bezpečnost, je velké množství, proto v této kapitole jsou zmíněny důležitější předpisy, které se těchto témat týkají. Většina jich je vydána Evropskou hospodářskou komisí nebo Evropskou unií.

2.3.1 Předpis EHK/OSN č.100

Tento předpis stanovuje bezpečnostní požadavky pro vozidla kategorie M a N s konstrukční rychlostí vyšší než 25 km/h a elektrickým výkonovým propojením. Jedná se tedy o EV.

V předpisu se jedná především o ochranu před elektrickým proudem, kdy prostor pro cestující musí být náležitě izolován. Bere se v potaz ochrana před přímým dotykem živých částí a před nepřímým dotykem. Ochrana musí být provedena izolací, krytem či překážkou atd. Ochranné části nesmí být odnímatelné bez použití náradí. Dále se předpis zabývá dobíjecím systémem, kdy se zařízení pro uchování energie nesmí přehřívat a pokud se přehřeje, musí být přítomny ochranná zařízení, která zajistí odpojení od nabíječky. U vozidel s palivovými články se měří emise vodíku, které při běžném postupu nabíjení nesmí překročit 125 g za pět hodin. Při nabíjení palubní nabíječkou nesmí emise překročit 42 g.

2.3.2 Předpis EHK/OSN č.101

Z tohoto předpisu se této práce týká oblast, která se zaměřuje na vozidla kategorie M a N, která jsou poháněná výhradně elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření spotřeby elektrické energie, která se musí vyjádřit jednotkou $\text{Wh}\cdot\text{km}^{-1}$ a měření akčního dosahu na elektřinu vyjádřenou jednotkou km.

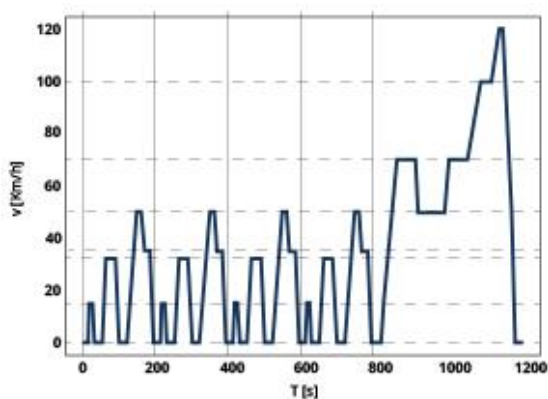
2.3.3 Nařízení EU 2017/1151

Nařízení komise s účinností od 27. července 2017 zavedlo kvůli nedostatkům ve výpočtu spotřeby vozidel, kdy skutečná spotřeba neodpovídala spotřebě papírové, a tedy i emise vykazovaly značné rozdíly.

S tím tedy přišla změna v podobě nařízení EU, která přikázala použití metodiky WLTP (Worldwide harmonized Light-Duty vehicles Test Procedure) místo do té doby používané metodiky NEDC (New European Driving Cycle). Každý jízdní cyklus popisuje rychlost vozidla v závislosti na čase.

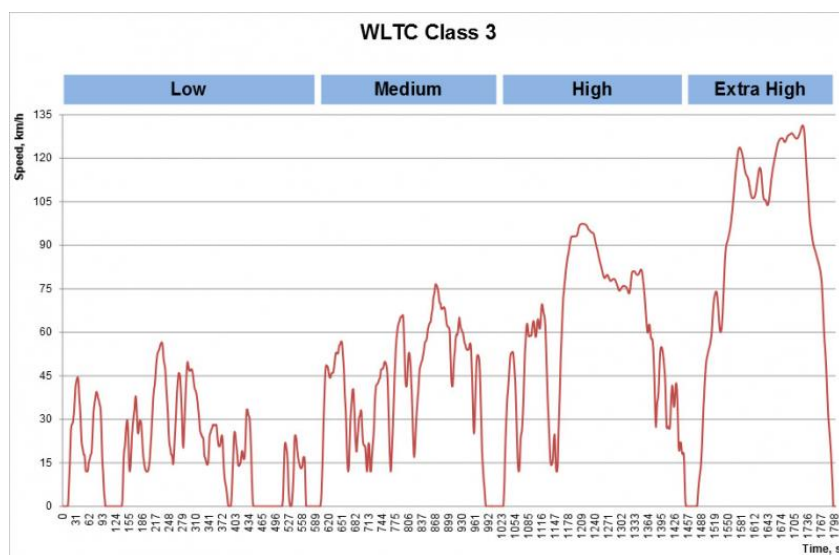
NEDC měla jednotný cyklus pro všechna vozidla, který je rozdělený na městskou část a na mimoměstskou část, a poté z toho vytvořený průměr, zatímco cyklus WLTC (Worldwide harmonized Light-Duty vehicles Test Cycle), který je použit v metodice WLTP, má několik kategorií rozdělených podle hmotnosti a výkonu vozidla. V cyklu WLTP se berou v potaz i jízdní odpory, které se simulují.

2.3.3.1 Porovnání metodik NEDC a WLTP



Obrázek 12 Cyklus NEDC

Metodika NEDC byla vyvinuta a zavedena v 70. letech 20. stol. Na obrázku 12 [44] je vidět několik oblastí. První 4 oblasti simulují pohyb po městě, kdy rychlost nepřekročí 50 km/h a délka úseku je 4 052 m a na konci je následována oblastí pohybu v mimoměstském prostředí, přičemž se docílí nejvyšší rychlosti 120 km/h a délka trasy je 6 955 m. Celý cyklus trvá 1180 sekund a celková ujetá vzdálenost činí 11 007 m.



Obrázek 13 Cyklus WLTC kategorie 3

Naproti tomu WLTC vykazuje větší známky dynamiky, které jsou bližší skutečnosti. Má více fází zrychlení a kratší doby stání. WLTC má kategorie pro 3 úrovně vozidel. Kategorie 1 je pro méně výkonná vozidla s měrným výkonem do 22 W/kg. Kategorie 2 se používá pro vozidla s měrným výkonem od 22 W/kg do 34 W/kg. Kategorie 3 počítá s měrným výkonem větším než 34 W/kg a do této kategorie spadá většina vozidel. Na obrázku vidíte cyklus podle kategorie 3, který je složen ze 4 oblastí, postupně od nízkého, středního, vysoké až po velmi vysoké zatížení. Průběh cyklu lze vidět na obrázku 13. 45]

Pro kategorii 3 trvá zkouška celkem 1800 sekund a celková vzdálenost činí 23 266 m. u vysokého zatížení se dosáhne nejvyšší rychlosti 135 km/h. Kategorie 2 má vypuštěnou oblast velmi vysokého zatížení a kategorie 1 má pouze oblasti nízké a střední zátěže a obě kategorie jsou zkráceny jak časově, tak vzdálenostně.

2.3.4 Zákon č. 542/2020 Sb.

Tento zákon, který se nazývá zákon č. 542/2020 Sb., *Zákon o výrobcích s ukončenou životností*, se zaměřuje na výrobky, které již nelze dále použít, tj. staly se odpadem, a jejich další zpracování. Je zde popsán postup, jak se mají produkty likvidovat, povinnosti výrobců, prodejců a uživatelů. V hlavě VIII, která se týká baterií a akumulátorů se zabývá uváděním baterií na trh, označováním baterií a jejich tříděním.

2.3.5 ČSN EN IEC 63057

Tato norma definuje pojmy používané v kontextu elektrických parametrů baterií, zaměřuje se na bezpečnost celé sady. Články mají být bezpečné za jakýchkoliv podmínek zamýšleného použití, tedy pro provoz EV. V rámci elektroniky musí být vše dostatečně izolované a vše musí být dostatečně dimenzované, aby vydrželo maximální napětí, teploty a proudy.

Konstrukce musí být taková, aby zabránila abnormálnímu růstu teplot. Baterie má mít nezávislou metodu řízení a ochrany. V návrhu bateriového systému musí funkce řízení napětí zajistit, aby napětí nepřekročilo horní mez napětí, resp. aby v případě dosažení ukončilo napájení. K tomuto účelu slouží BMS, která musí být v sadě přítomna, být funkční a sledovat dané hodnoty.

2.3.6 ČSN EN 50604-1

Dle normy *ČSN EN 50604-1 Akumulátorové lithiové baterie pro lehká EV (elektrická vozidla) - Část 1: Obecné bezpečnostní požadavky a metody zkoušek* popisuje základní bezpečnostní postupy a požadavky při využití lithiových akumulátorů. Tato norma obsahuje definice pojmů, které souvisí s bateriemi, např. bateriová sada, jež znamená zařízení pro akumulaci energie, obsahuje články nebo sestavy článků obvykle spojené elektronikou článku, také obsahuje nadproudové vypínací zařízení, včetně propojek a rozhraní pro externí systémy. Stav nabití označuje množství z celkové kapacity a měření se provádějí při pokojové teplotě $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, pokud není uvedeno jinak.

Tato norma stanovuje mechanické zkoušky (ráz, vibrace, pád, požár bateriové sady, stlačování), aby byla zajištěna dostatečná bezpečnost pro provoz EV s lithiovými akumulátory. S tím souvisí ochranná zařízení, která musí být v sadě přítomna pro bezpečnost posádky a obsluhy, jako jsou BMS, balancéry, kryty a izolace. Přemístitelné bateriové sady musí být označeny bezpečnostními symboly a norma také zmiňuje pokyny pro obsluhu.

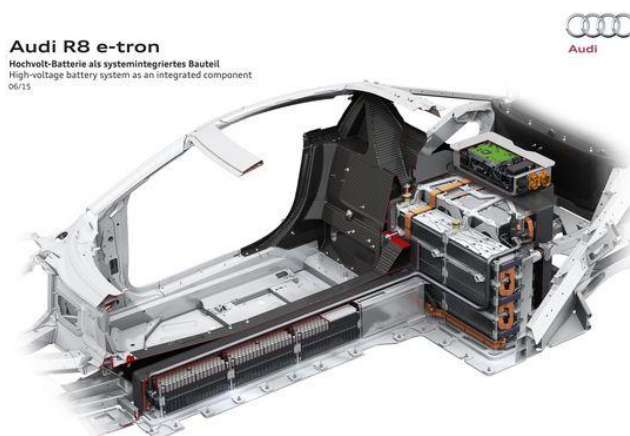
2.4 Bezpečnost a ekologie baterií

Baterie je velice důležitá část EV, a proto se k její konstrukci, bezpečnosti a celkovému nakládání musí přistupovat obezřetně. Vysoká napětí ve stovkách voltů mohou při nějakém problému a poškození nést smrtelná rizika pro řidiče a posádku. Zároveň veškeré komponenty ve vozidle nemohou být nijak uzemněny a vše se přivádí zpět do baterie. Již jsou zaznamenány požáry EV, které dále způsobily nemalé problémy. K těmto situacím vydalo Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky výklad s aktuálními poznatky z oblasti elektromobility, kde uvádí, jakým způsobem se EV hasí a jak k požáru EV přistupovat. [46]

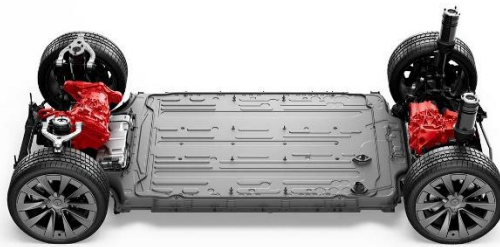
Nárůst výroby EV a s tím spojené výroby baterií a všech elektronických komponent klade také vysoké nároky na ochranu životního prostředí, tedy recyklaci baterií, jejich likvidaci a bezpečnost skladování baterií.

2.4.1 Umístění

Umístění baterie se volí s ohledem na rozložení hmotnosti, na poloze těžiště a současně bezpečnosti bateriového boxu v případě nárazu či jiné poruchy. Prvním a základním parametrem je velikost bateriových modulů, které mají značný vliv na uložení baterie. Dalším faktorem je hmotnost. Z těchto předpokladů vychází několik možností, kde lze baterii uložit.



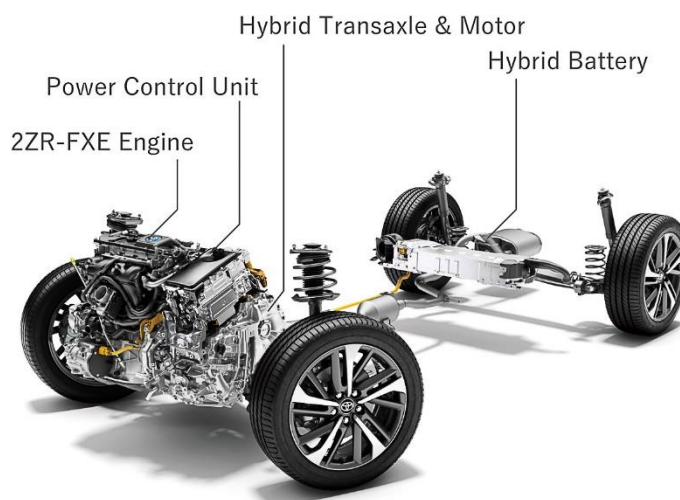
Obrázek 14 Audi R8 e-tron



Obrázek 15 Tesla Model X

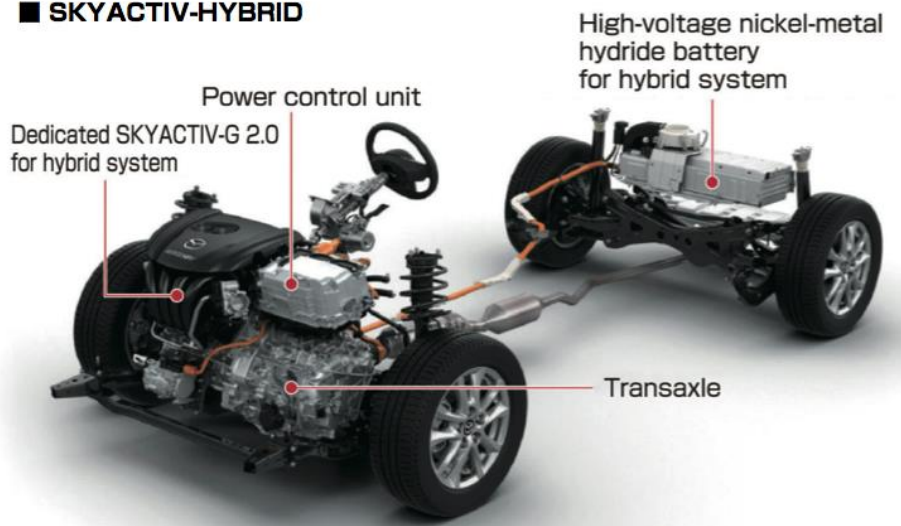
U BEV se baterie nejčastěji nacházejí pod podlahou ve formě jednoho velkého boxu, který je rozložen přesně mezi nápravy. Další možností je uložení ve středovém tunelu, který může začínat pod palubní deskou a končit pod či za zadními sedačkami, viz obrázek 14. [47] Mezi výhody podlahového uložení patří nízké těžiště vozu a velký box je snazší na opravy a kontrolu. Nevýhodou je, že box může být zesponu proražen nějakým předmětem. [48] Toto řešení využívá například Tesla na obrázku 15. [49]

U HEV vzhledem k menším rozměrům je více možností pro konstruktéry. V tomto případě se mohou baterie nacházet pod zadními sedačkami, jak je zobrazeno na obrázku 16 [50], za zadními sedačkami a v podlaze zavazadlového prostoru, jak lze vidět na obrázku 17. [51] Výhodami díky menším rozměrům a hmotnosti jsou lepší přizpůsobení pro vyvážení vozidla, větší bezpečnost. Nevýhodami může být horší přístupnost, pokud je box pod sedačkami či za nimi. [47]



Obrázek 16 Toyota Corolla Cross Hybrid

■ SKYACTIV-HYBRID



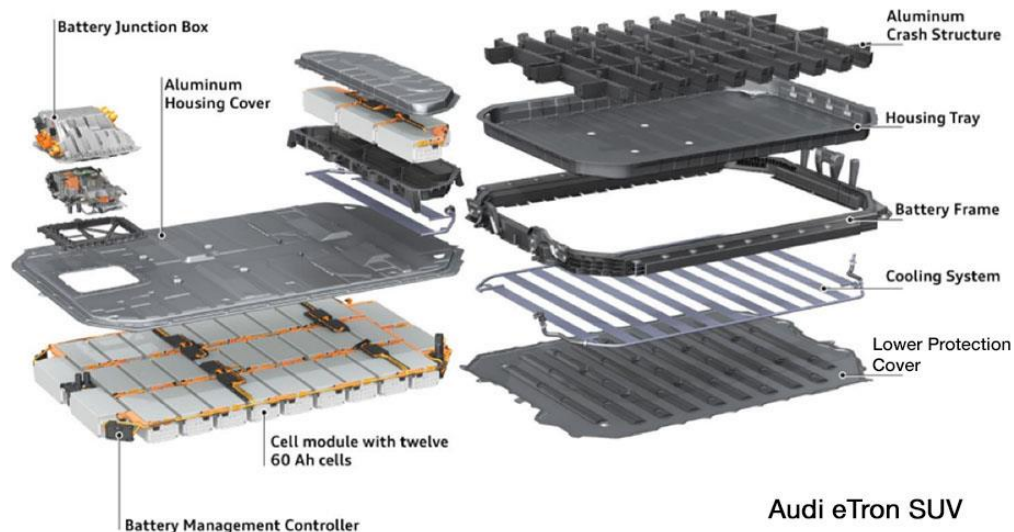
Obrázek 17 Hybridní ústrojí Mazda Skyactiv-hybrid

2.4.2 Ochranný box

Ochranný box má za úkol chránit články před vnějšími vlivy, jako jsou voda, prach, pevné či ostré objekty a zároveň slouží jako prostředek k manipulaci se všemi články naráz. Na box jsou kladeny vysoké nároky, neboť je zpravidla zatížen vysokou hmotností, proto se očekává tvarová odolnost a zároveň je snaha, aby jeho konstrukce byla lehká kvůli vysoké hmotnosti EV, a právě toto je předmět, na kterém se dá hmotnost ušetřit. [52]

Ochranné boxy jsou vyráběny v různých velikostech a z různých materiálů, převážně z oceli a hliníku, případně jejich slitin. Tyto materiály mají široké použití, a tudíž jsou známy jejich tvarové a pevnostní parametry. Problémem mohou být jejich vlastnosti v oblasti vedení tepla a elektrického proudu. Tyto materiály zajistí dostatečnou pevnost v tahu a tlaku. V poslední době přichází snaha použít kompozitní materiály, které díky kombinovaným vlastnostem jsou lehčí a současně mají dostatečnou pevnost. [52]

Box, který se ukládá do podlahy vozu se skládá z několika částí. Základní částí je rám, který tvoří pevnostní kostru celého boxu. K tomu se přidá úložný táč, do kterého se vloží křížová struktura chránící baterii v případě nárazu. Do této struktury se vkládají bateriové moduly, na které se následně položí kryt. Do spodní části hlavního rámu se vkládá chladicí vložka, jež odvádí teplo, a poté se na ni dá ochranný kryt. Na vrchu tohoto boxu se nachází rozváděcí skříň. Rozbor lze vidět na obrázku 18. [53]



Obrázek 18 Audi eTron bateriový box

2.4.3 BMS

BMS (battery management system / systém na řízení baterie) je kontrolní prvek celé bateriové sady. Jedná se o zařízení s množstvím čidel a modulů na kontrolu napětí, teploty, proudu, nabíjení apod. Bez kontrolní činnosti BMS by se mohly články příliš zatěžovat, nerovnoměrně nabíjet, zkratovat a tím si zkracovat svou životnost či se případně úplně zničit. Proto je důležité mít na bateriové sadě BMS, který pak dovede dobře chránit, nebo alespoň kontrolovat činnost jednotlivých článků. [54]

2.4.3.1 Typy BMS

2.4.3.1.1 Centralizovaný BMS

Tento typ BMS využívá pouze jedné hlavní jednotky BMS, tedy všechny články jsou přímo napojeny na hlavní jednotku. Výhodami tohoto systému jsou kompaktnost, kdy máte pouze jednu součástku, a ekonomická stránka, protože hlavní jednotka BMS je jednou z dražších položek. Nevýhodou je velké množství kabelů, právě kvůli připojení všech kabelů k hlavní jednotce. Tento systém je vhodný pro bateriové sady s menším množstvím článků (do 12 článků), kdy množství kabelů nebude ztěžovat údržbu a kontrolu. [54]

2.4.3.1.2 Modulární BMS

Modulární BMS je navržen tak, že se v systému vyskytuje více jednotek BMS, kdy každá jednotka kontroluje vlastní připojené články. Většinou jeden z těchto článků slouží jako hlavní a další jednotky jsou duplicitní. Výhody modulárního řešení jsou snadnější údržba a opravy jednotek BMS a snadnější připojování dalších článků do sady. Nevýhodou jsou vyšší náklady. Tento systém je vhodný spíše pro sady s velmi vysokým počtem článků (více než 50). [54]

2.4.3.1.3 Hlavní a podřízený BMS

Tento BMS spočívá ve stromové struktuře zapojení, tedy jedna hlavní jednotka BMS, do této jednotky jsou připojeny BMS moduly a každý modul kontroluje určitý počet článků. Hlavní jednotka slouží jako výpočetní centrum a rozhoduje o procesech, zatímco BMS moduly dělají pouze kontrolní činnost, přeposílají data a provádí na člancích úkony zadané hlavní jednotkou. Tento systém má vyšší náklady, ovšem nižší než modulární varianta a současně je snazší na kontrolu. Tento systém je díky snadnému přidávání dalších modulů vhodný pro větší množství článků. [54]

2.4.3.1.4 Distribuovaný BMS

Tento systém se od předchozích značně liší. Konstrukce spočívá v tom, že každý článek či modul baterií má vlastní malý článkový BMS, který je odpovědný za kontrolu, výpočty, akce na článku a kvůli propojení i za komunikaci s dalšími BMS a kontrolérem. Jednotky jsou spojeny sériově, nikoliv každá s každou. Výhodou je nižší množství kabelů. Nevýhodami mohou být problémy při vzájemné komunikaci BMS a následná údržba může být kvůli tomu náročnější. Další nevýhodou je vyšší cena kvůli komplexnějším jednotkám BMS, přestože jsou jednotky menší. Tato varianta je vhodná pro velmi vysoké množství článků. [54]

2.4.3.1.5 Decentralizovaný BMS

Tato varianta se podobá v některých bodech předchozím řešením. Zde se používá několik jednotek BMS na stejné úrovni. Tyto jednotky si na sobě nezávisle řídí a kontrolují vlastní články. Všechny jednotky jsou navzájem spojeny komunikačními kabely, aby byla zajištěna koordinace. Výhodou je snadná rozšiřitelnost. V této variantě systému se používá „vadnoucí kontrola“ pro sériově zapojené články. Podle klesajících parametrů charakteristiky napětí-proud se řídí nabíjení a ochrana sady. Fyzikálně se „vadnoucí kontrola“ projevuje jako odpor na výstupu. Nevýhodou tohoto řešení je nižší ochrana způsobená „vadnoucí kontrolou“. Ve vývoji je použití bezdrátové komunikace, čímž se odstraní riziko poškození komunikačního kabelu. [55]

2.4.3.1.6 Balancér

Balancéry s BMS souvisí, ale každá komponenta má jiný úkol. Balancér, dle svého názvu, slouží k balancování napětí mezi články. Opakovaným nabíjením a vybíjením se mohou napětí mezi jednotlivými články či moduly lišit a balancéry tuto nerovnováhu odstraňují, a tím prodlužují životnost. Především větší BMS mají u sebe zakomponované balancéry. Existují dva typy balancování, pasivní a aktivní. [56]

Pasivní balancování spočívá v tom, že balancér se snaží vyrovnat úroveň všech článků, takže maří energii ve formě tepla, dokud všechny články nemají stejné napětí. [56]

Aktivní balancování měří napětí každého článku a podle potřeby redistribuuje náboj podle možností, takže se využívá všechna dostupná energie a prodlužuje se životnost všech článků. [56]

2.4.3.1.7 Parametry, množství článků

Každý BMS je tvořen na jiné množství článků. Čím více je potřeba kontrolovat článků, tím je BMS větší a dražší. Množství článků se běžně pohybuje v sérii od 4 článků až do 96 článků. Pro větší množství je nutné BMS rozšířit pomocí dalších jednotek.

Stav nabití (State of charge, SoC), udává, na kolik procent je daná baterie nabita, tato veličina se promítá do celkového stáří baterie. Tento ukazatel je důležitý pro řidiče, podle kterého vidí, kolik mu ještě zbývá procent. [31]

Proud je důležitým parametrem pro pohyb vozidla. Čím větší proud, tím větší nápor je na baterii kladen, ale získá se větší výkon z motoru. Systém může omezit, jaký maximální proud je baterii povolen poskytnout. [54]

Napětí článků se musí pohybovat na stejné úrovni, BMS s balancérem pracují, aby byl rozdíl co nejmenší. [54]

Teplota se musí udržovat v určitém rozmezí, aby se předešlo zničení baterie. Dlouhodobě přehřátým bateriím se zkracuje životnost a začnou poskytovat menší výkon. Kvůli nízké teplotě se musí baterie zahřát, aby pracovala za optimálních podmínek. [56]

2.4.4 Recyklace a likvidace

Vysoká poptávka po lithiových bateriích a specifických materiálech používaných na jejich výrobu způsobila zvýšenou potřebu požadovanou na nakládání s bateriovým odpadem, na recyklaci a zpětné získání materiálů. Aby se vytvořil udržitelný bateriový průmysl, musí být recyklace baterií komerčně životaschopná. Tvorba lithiových baterií závisí na omezených zdrojích, které zvedají cenu a tím vytváří obtížné prostředí pro udržitelný průmysl. Existuje několik způsobů zpětného získávání materiálů. Těmi nejpoužívanějšími jsou ohřívací procedura, tavení a hydrometalurgický proces. [57]

Prosté ohřívání s mixem dostatečného množství lithia, niklu a kobaltu pomáhá obnovit původní kapacitu Li-ion baterií při teplotách od 600 do 800 °C. [57]

Tavení používá mnohem vyšších teplot okolo 2 000 °C. Získaná slitina se dále používá, dochází ovšem ke ztrátě lithia, hliníku a mědi. Dále vznikají toxické plyny, které je nutné vyčistit. V tomto procesu je snaha použít speciální přísady, které pomáhají vytáhnout více kovu vznikem sloučenin. [57]

V hydrometalurgickém procesu se používá máčení a oddělování za pomoci chemických roztoků. Baterie se rozdrť a jejich zbytky se čistí a oddělují. Největší problém představuje elektrolyt, který obsahuje lithiové sloučeniny, které při rozkladu uvolňují nebezpečné látky. [57]

Žádný z těchto postupů není optimální, co se týče ekologie, a zpětné získávání materiálů je silně omezené na kovy a lithium se získává obtížně. Zároveň nebezpečné plyny ohrožují okolí místa, kde se baterie recyklují. [57]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části je hlavním cílem navržení bateriového boxu, který se následně zakomponuje do fakultního EV s názvem EVgen. Toto vozítko se konstruuje na požadavky stanovené pro kategorie L7e, oficiálně kategorie těžkých čtyřkolek nebo neoficiálně mikroaut.

Kategorie L7e, definovaná podle směrnice Evropského parlamentu a rady 2002/24/ES (dnes Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013), říká, že se jedná o vozidla se čtyřmi koly, jejichž hmotnost nepřekračuje v nenaloženém stavu 400 kg (s výjimkou u nákladních čtyřkolek), přičemž se nezapočítává hmotnost baterií v případě konstrukce elektrického vozidla a maximální netto výkon motoru nepřekračuje 15 kW.

V oblasti vozidel kategorie L7e, která jsou konkurenty fakultního EV, se objevují vozidla např. Tazzari MINIMAX 80, Tazzari Zero City, Renault Twizy a Aixam e City aj.

Elektrická čtyřkolka EVgen je určena pro výzkumné projekty zaměřené na testování nových uživatelských řešení, konektivitu, prvky HMI (human – machine interface) a vývoj prvků sdílené mobility. Vozidlo se bude používat pro pohyb po Praze mezi jednotlivými fakultami a dále pro školní výuku jako laboratoř pro testování sdílených baterií a akumulátorů pro městskou mobilitu. Z těchto důvodů se vozidlo vytváří podle podmínek kategorie L7e. Motor je od společnosti Motenergy ME30-31001 s výkonem od 12kW do špičkového výkonu 37 kW a s maximálními otáčkami 6500 ot/min. Tento motor pracuje s napětím od 48 do 120 V. Proudění se pohybují ve dvou rozmezích, při konstantním zatížení do 180 A střídavého proudu a při špičkovém výkonu do 550 A střídavého proudu po dobu jedné minuty. [58]

3.1 Návrh bateriového boxu

Návrh bateriového boxu je stěžejní částí této práce. Vývoj a konstrukce EV zabere nějaký čas, a to kvůli velkému množství jednotlivých komponent, které se na vozidle nacházejí. Bateriový box je vnějším obalem bateriové sady a je jeho ochrannou schránkou. Návrh se zaměřuje na vhodné prostorové uspořádání článků, na jejich zapojení a ověření jejich vlastností pomocí simulace.

3.1.1 Vybraná baterie

Požadavky, které jsou kladeny na tvorbu boxu, byly založeny na použití LiFePO₄ článků, které byly v dřívějších fázích vývoje zakoupeny. Zvoleny byly lithiové články, přesným složením LiFePO₄, s nominálním napětím 3,2 V a kapacitou 105 Ah. Maximální hodnota napětí dosahuje 3,65 V a lze ho vybit až na úroveň 2,5 V. Standardní nabíjecí proud činí 0,5 C, tedy 52,5 A, maximální nabíjecí proud dosahuje 1 C. Na opačné straně standardní vybíjecí proud je 1 C a maximální vybíjecí proud činí 2 C. Krátkodobě lze zatížit články špičkovým vybíjecím proudem 3 C (přibližně po dobu 10 sekund). Velikost jednoho článku činí 130x37x200 mm (délka x šířka x výška). [58]

Dále budou použity silové kabely CYA (C – jádro z měděných drátků, Y – izolace vodiče v různých barvách, A – vodič s kruhovým průřezem) s průřezem 50 mm², které jsou dostačující pro dané proudy. [59]

3.1.2 Systémy výměny baterií

Dlouhé nabíjecí časy snižují atraktivitu a ochotu pořídit si EV. Výměny baterií nabízejí vhodný kompromis pro využívání EV. Klasické nabíjení trvá minimálně 30 minut na úroveň dostačujícího dojezdu, zatímco s vyměnitelnou baterií, kterou je možno vyměnit za plně nabitou přibližně do 5 minut, je provoz hladší. [15]

Automobilka Tesla se rozhodla jít cestou rychlonabíjení, kterému trvá 15 minut nabít baterii množstvím energie odpovídající dojezdu přibližně 200 mil, a to za pomoci nabíjecích stanic Supercharger. [60]

Např. čínské automobilky a indická vláda se rozhodly podpořit v elektromobilitě systémy výměny baterií. Automobilka NIO, která vlastní i nabíjecí infrastrukturu, vytvořila systém měření baterií NIO Power Swap, který je schopen ve vozidle provést samotnou výměnu baterie za 3 minuty. Výměna se provede po diagnostice a kontrole baterie. [61]

Ve vozidle EVgen bylo rozhodnuto, že se vydá cestou vyměnitelných baterií, proto se při návrhu postupovalo tímto směrem. Kvůli hmotnosti se celý bateriový box rozloží na dva menší subpacky, které budou snazší na přenášení. Celková hmotnost bateriové sady se odhaduje na 72 kg, z toho 64 kg váží baterie a zbylých 8 kg se rozdělí mezi kabeláž, BMS a samotný box.

3.1.3 Vliv na těžiště vozu

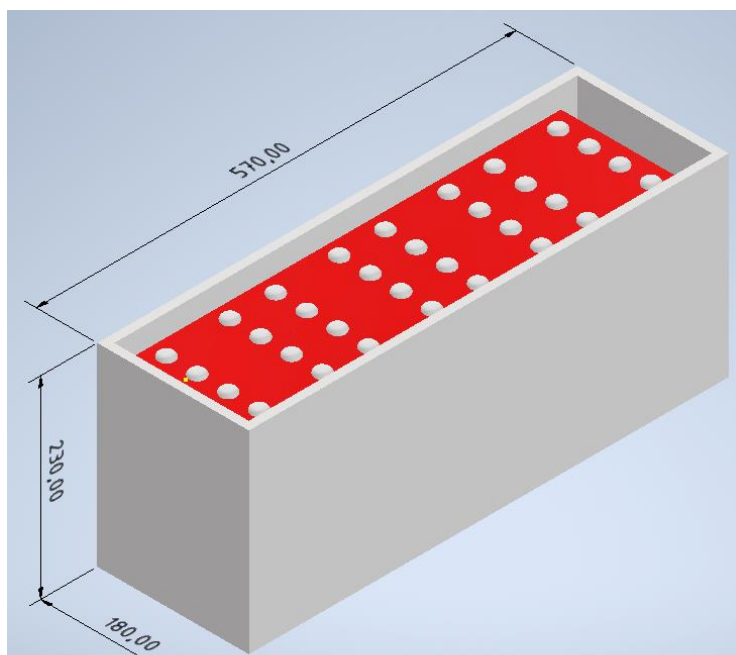
Baterie ve vozidle jsou jednou z nejméně hmotných těles, proto vhodné umístění bateriové sady má pozitivní vliv na směrové vlastnosti vozidla. Čím níže se baterie umístí, tím se sníží těžiště a zvýší celková stabilita vozu, která je pro bezpečnou jízdu důležitá. Taktéž závisí na místě uložení baterií. Pokud by baterie byla před nebo nad přední nápravou, zvyšovala by se nedotáčivost vozidla. Pokud se baterie umístí ke středu vozu, vozidlo má neutrálnější dynamické vlastnosti a pokud se dají do blízkosti zadní nápravy, vozidlo bude při jízdě obloukem mít přetáčivé tendence.

3.1.4 Materiál

Na konstrukci bateriového boxu se použije hliník a ocel. Tyto materiály mají dobré pevnostní vlastnosti a hliník je díky nižší hustotě lehký.

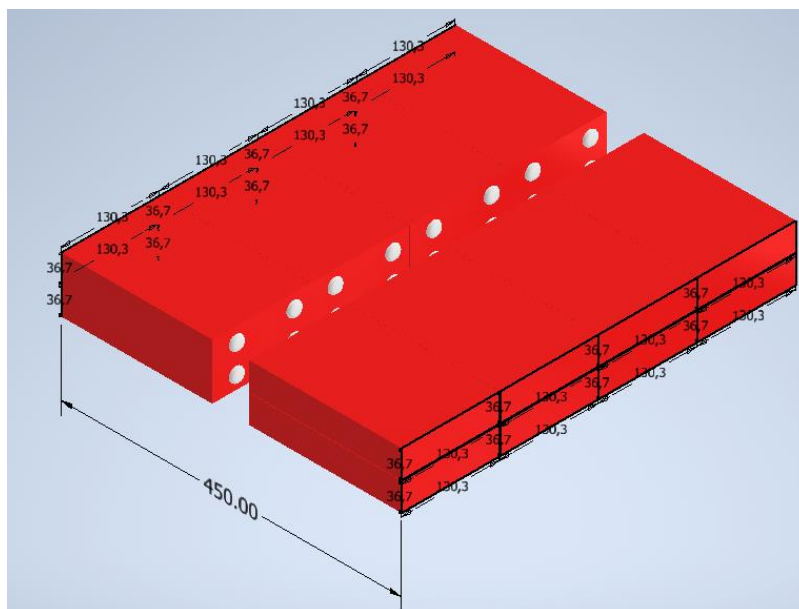
3.1.5 Vlastní návrh

Existují dvě varianty. První varianta počítala s umístěním baterie pod sedadla. V návrhu se tedy postupovalo podle vstupních podkladů. U boxu se počítalo s velikostí pro baterie v rozložení 4x4, postavené na výšku. Z toho plyne délka 520 mm a šířka 147 mm, výška zůstala 200 mm. Pro další složky, jako kabely, BMS apod. se zvolily vnější rozměry boxu následovně: 570 mm na délku, 180 mm na šířku a 230 mm na výšku včetně víka.



Obrázek 19 Bateriový box s články – první návrh

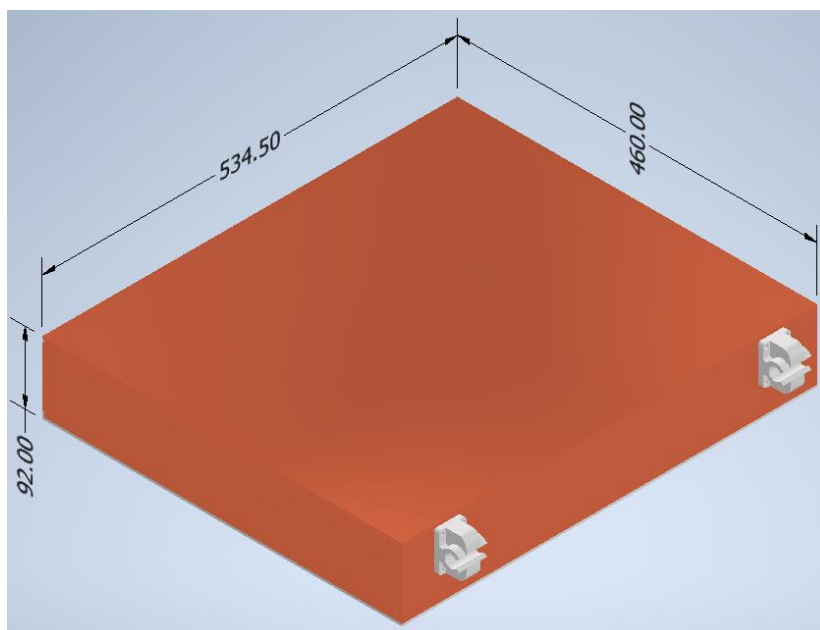
Poté se z důvodu většího zatížení zadní nápravy a tlumičů u simulace přešlo k druhé variantě. V této variantě budou baterie uloženy do podlahy vozidla blíže k přední nápravě kvůli vyrovnání zatížení. Použijí se 2 menší boxy, ve kterých bude 16 článků po dvou řadách v rozložení 4x2, jak lze vidět na obrázku.



Obrázek 20 Bateriové články v rozložení pro umístění do podlahy

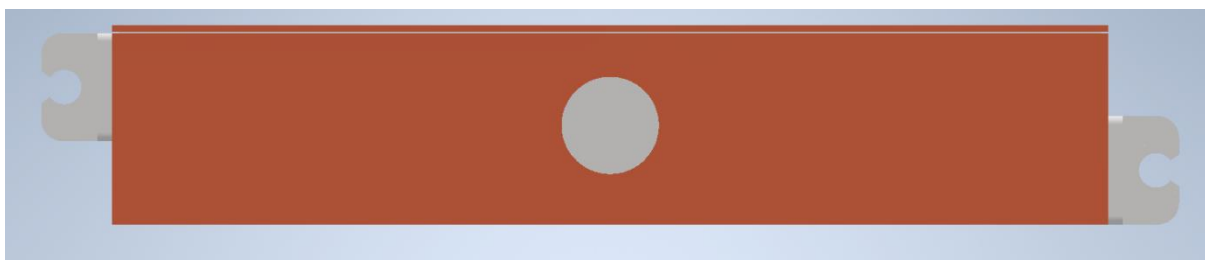
Rozměry této sady článků činí 521,2 mm na délku, 73,4 mm na výšku a na šířku 450 mm. Z této podmínky se vytvoří box, který je rozměrově dostačující pro veškerou kabeláž, kontrolní systémy apod. Pro uchycení bateriového boxu ve vozidle EVgen se použije systém kolejnic, ze kterých bude bateriová sada vyjíždět a zároveň tím bude zajištěna směrová stabilita.

Rozměry samotného boxu jsou 530,4 mm na délku, 460 mm na šířku a 92 mm na výšku. Rozměry s kolejnicemi se změň pouze šířka a to na 563,28 mm. Box i s rozměry lze vidět na obrázku 21.



Obrázek 22 Bateriový box – druhý návrh

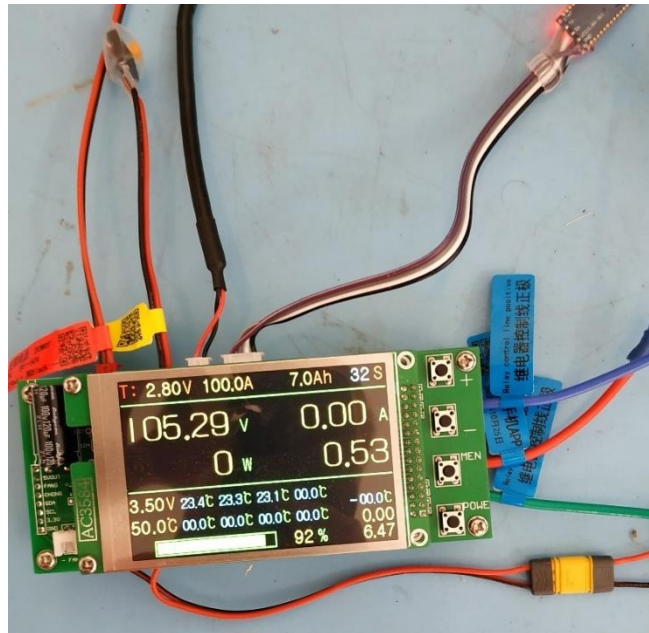
I v tomto případě se uvažuje rozdělení sady na více částí z důvodu snadnější manipulace při nabíjení, případných úprav apod. Napájecí a komunikační kabely z BMS budou vyvedeny otvorem v zadní části boxu, který lze vidět na obrázku 22.



Obrázek 21 Bateriový box – pohled na průchodku na kabely

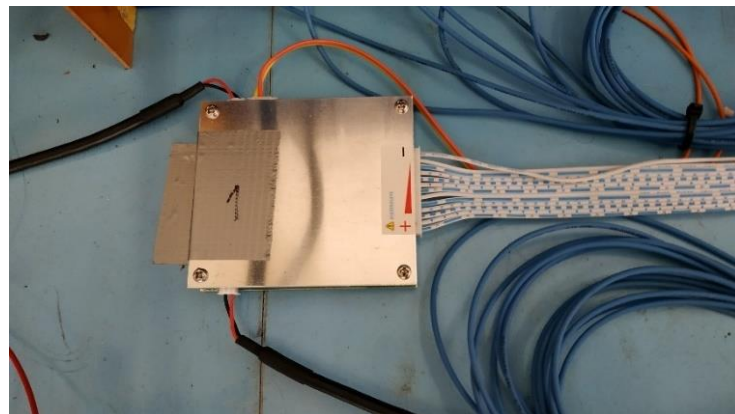
3.2 Bateriová sada a BMS fakultního EV

BMS, na obrázku 23, má značné množství vstupů. Z levého horního rohu jsou vidět první kabely napájecí pro samotný BMS, poté je testovací tlačítko, zdířka na připojení modulů BMS, pak Bluetooth modul, který slouží ke komunikaci a nastavování prostřednictvím mobilní aplikace. Dále jsou zde 3 kabely, které umožňují připojení dalších prvků. Červený slouží jako 12 V vstup pro napájení proudového snímače a modrý je jištěný 12V výstup do relé. Na desce jsou i 4 funkční tlačítka, kterými se dají nastavit hodnoty a také procházet jednotlivé podnabídky. Tato BMS zvládne ovládat až 96 článků, přičemž každý modul zvládne kontrolovat až 12 článků, proto pro naše potřeby stačí 3 moduly. BMS EVgena je provedena v systému Hlavní a podřízený. Pro potřeby tohoto EV se zvolila konfigurace 32 článků pouze v sériovém zapojení.

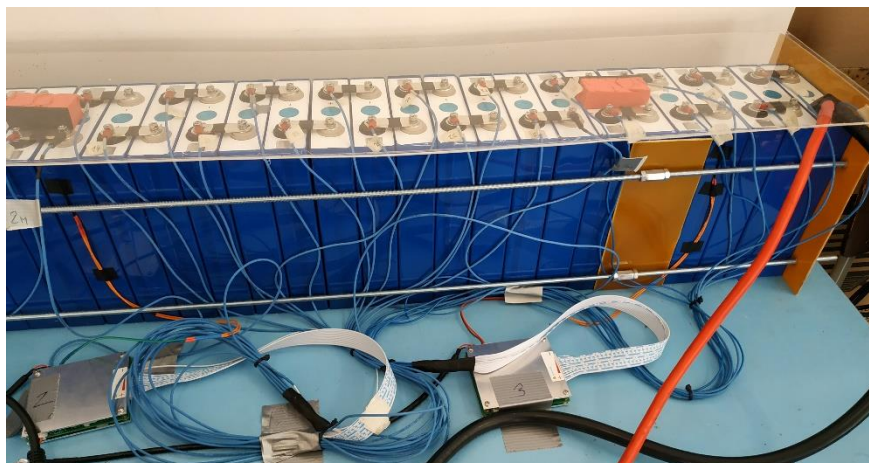


Obrázek 23 BMS ve fakulní bateriové sadě

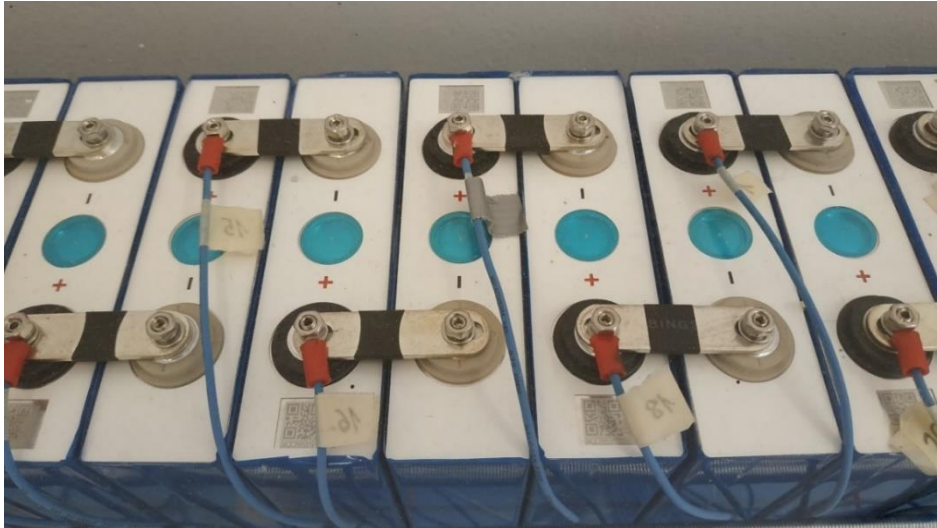
Na modulu BMS, který je na obrázku 24, je vidět připojení do dalších BMS modulů, teplotní čidlo a kabely pro připojení na jednotlivé články, jejichž připojení lze vidět na obrázku 25 a detailní pohled na obrázku 26. Schéma celého zapojení je na obrázku 27.



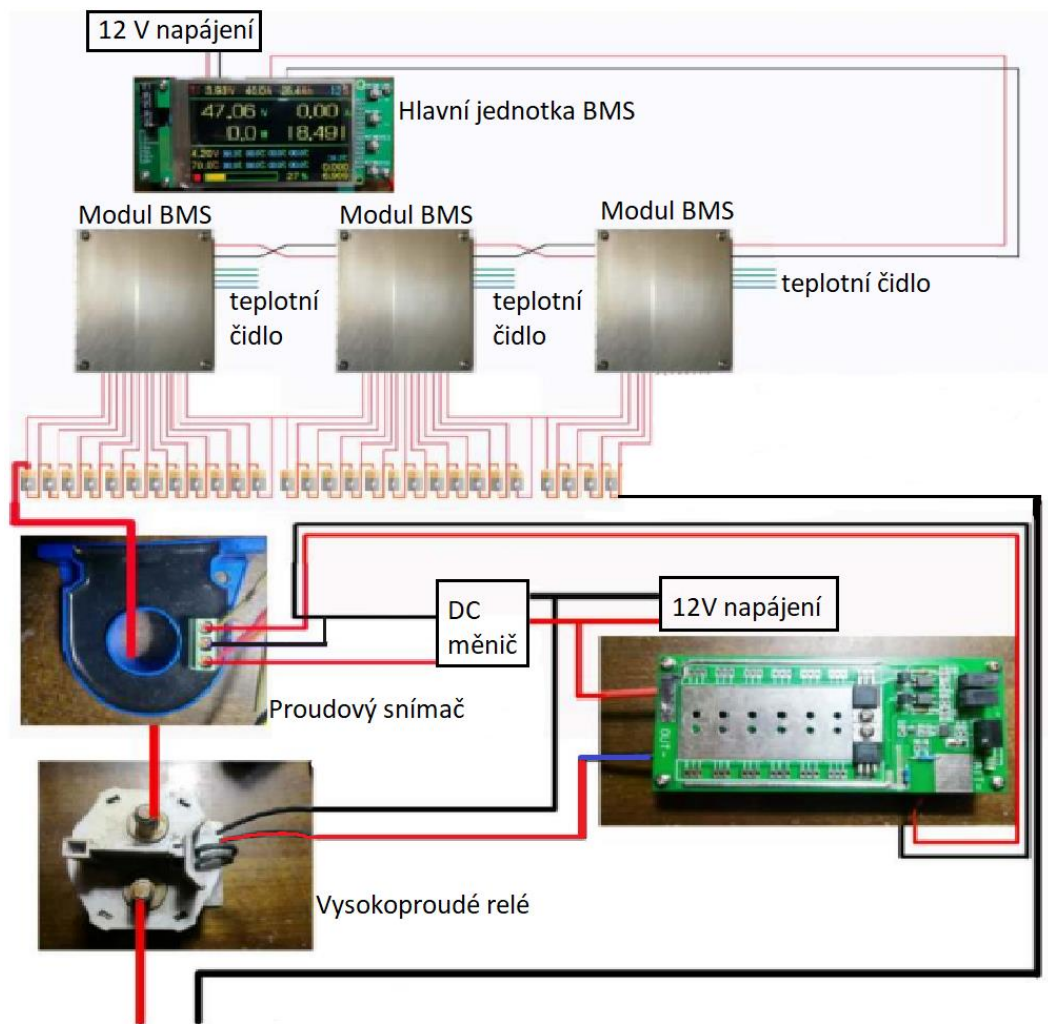
Obrázek 24 Modul BMS



Obrázek 25 Pohled na bateriovou sadu



Obrázek 26 Detailní pohled na články



Obrázek 27 Schéma zapojení bateriové sady – BMS, články, relé



Obrázek 28 Výřez z aplikace – sledování hodnot

TYPE	DATA	SET DATA
Discharge end voltage	2.60 V	<input type="text"/> SET
Protect Current	100.0 A	<input type="text"/> SET
Max Capacity	105.0 AH	<input type="text"/> SET
Battery String	32 S	<input type="text"/> SET
Charge end voltage	3.20 V	<input type="text"/> SET
Protect Temp	50.0 °C	<input type="text"/> SET
Charge Recovery	1.00 V	<input type="text"/> SET
Discharge Recovery	2.50 V	<input type="text"/> SET
Default Channel	OFF	<input type="text"/> SET
Low voltage shutdown	2.00 V	<input type="text"/> SET

Obrázek 29 Výřez z aplikace – nastavování hodnot

Na obrázku 28 lze vidět přehled napětí všech článků označených číslem od 1 do 32 a celkové hodnoty, které platí pro celou baterii, mezi něž patří celkové napětí (VOL 105,31 V) a protékající proud (CUI), který má nulovou hodnotu, protože není připojený spotřebič. Dále výkon (POW) je nulový, protože po dosažení proudu do vzorce č. 1 ($U \cdot I$) je výkon roven nule, a zbývající kapacita do plného nabití. Dále jsou vidět teploty čidel u jednotlivých modulů BMS a aktuální kapacita baterie.

Nastavování hodnot, jak je znázorněno na obrázku 29, se provádí u vybraných parametrů. Prvním parametrem je konečné vybíjecí napětí, při němž přestanou baterie dodávat proud motoru. Dále ochranný proud, který BMS umožní odebírat z baterie, maximální kapacita baterie, počet článků v sérii, konečný nabíjecí proud, při němž se ukončí proces nabíjení baterie. Poté ochranná teplota článků, při níž baterie přestane dávat proud motoru. Nabíjecí a vybíjecí obnovení slouží k vyrovnaní kapacity postupným nabíjením a vybíjením článku, dokud články nedosáhnou stejného napětí. Při překročení hranice nízkého napětí se baterie vypne, dokud nebude překročeno minimální napětí.

3.3 Teoretický dojezd elektromobilu

Elektromobil na fakultě dopravní je ve fázi výroby a značná část součástí pro jeho konstrukci je nakoupena. Z vlastností jednotlivých komponent se dá již předpokládat, jaký bude teoretický dojezd tohoto prototypu. Obecně lze konstatovat, že letní sezóna bude mít menší vliv na spotřebu vozidla než zimní sezóna, kdy se baterie potřebují zahřát, je nutné vytápět prostor pro cestující apod.

Pro teoretický dojezd je důležité si uvědomit, které prvky mají vliv na dojezd elektromobilu. V tomto ohledu i ve spojitosti s odpory hraje důležitou roli tvar vozidla, kdy kapkovité tvary vozidla mají mnohem nižší aerodynamický odpor a tím nižší spotřebu než dodávky s tvarem připomínající kvádr.

Další část sehrávají pneumatiky, kdy závisí, jaké mají vlastnosti, hlavně přilnavost k povrchu, odvodu vody a koeficient tření. Pneumatiky s nižším koeficientem tření mají menší valivý odpor a tím dosahují nižší spotřeby, ale většinou mají horší vlastnosti v jiných ohledech jako je smýkání, hlučnost a opotřebení.

Vyšší hmotnost není u EV oproti spalovacím variantám žádnou výjimkou, která tím záporně ovlivňuje spotřebu, protože hmotnost má vliv na valivý odpor a odpor ze zrychlení, příp. ze stoupání.

Dalším odběratelem elektrické energie jsou veškeré elektronické systémy. Hlavní obrazovka infotainmentu a virtuální kokpit jsou velké obrazovky a při nastavení na vysoký jas mohou mít vliv na spotřebu. Např. kvalitní reproduktorová soustava s prostorovým zvukem se může pohybovat klidně okolo 250 W, což při hodinovém provozu znamená spotřebu 0,25 kWh, což při porovnání s kapacitou 60 kWh činí 0,42 % za hodinu. Pokud se provoz tohoto zařízení prodlouží na 4 hodiny, dosáhne spotřeba 1,66 % z celkové kapacity baterie. 62]

Stěrače se svojí spotřebou mohou pohybovat okolo 100 W. U vyhřívaných skel a zpětných zrcátek může spotřeba dosáhnout 120 W. Ventilátor na chladiči při horkém počasí spotřebovává okolo 800 W.

Asistenční systémy, které pomáhají s kontrolou provozu, potřebují ke svému fungování neustálý přísun energie, který v závislosti na jejich množství může být okolo 100 W.

Dále se k tomu přidá dalších 25 W z mobilní telefonu, jenž je připojený kabelem k infotainmentu. [62]

Klimatizace a vyhřívací prvky interiéru jsou jedním z těch větších odběratelů energie, neboť jejich příkon se odvozuje podle úrovně jejich výkonu. Spotřeba se pohybuje okolo 170 W na střední sílu vyhřívání. V zimním období se do toho přidají vyhřívání sedačky se spotřebou 150 W, které mohou narůst až do 250 W, jež se přidají ke spotřebě. Klimatizační jednotka může přidat navíc 500 W. [62]

Světlomety svítí neustále, a i při denním svícení se stále pohybují okolo 50 W a při zhoršených světelných podmínkách, tj. při zapnutých mlhovkách, spotřeba narůstá. Spotřeba po sečtení všech předchozích činitelů může vyšplhat v letním období až na 1725 kWh. [62]

3.3.1 Odpory vozidla

Odpory u jakéhokoliv vozidla vytváří značnou část ztrát, které se projevují na spotřebě EV a tím i na teoretickém dojezdu. Odporů se konstruktéři v praxi nikdy nezbaví, ale vhodnými úpravami a snahami o co největší zlepšení vozu se jim může podařit někdy i znatelně snížit spotřebu bez potřeby zvedat výkon motoru nebo kapacitu baterií.

3.3.1.1 Aerodynamický odpor

$$\text{Vzorec č.4: } O_{aero} = \frac{1}{2} \cdot S_x \cdot c_x \cdot \rho \cdot v^2$$

Tento odpor se projevuje pouze za jízdy vozidla a rychlost tohoto odporu roste s druhou mocninou, proto se u EV doporučuje jet nižší rychlostí, protože se tím může ušetřit spousta energií.

Ve vzorci jsou následující veličiny. S_x je velikost přední plochy vozidla, c_x je aerodynamický součinitele daného vozu, tedy jeho tvarové proporce, ρ hustota vzduchu a v je rychlost. [63]

3.3.1.2 Odpor ze stoupání

$$\text{Vzorec č.5: } O_{stoupání} = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Odpor ze stoupání se projevuje pouze při jízdě do svahu a při jízdě ze stoupání pomáhá vozidlu, kdy se v celkovém odporu počítá se záporným znaménkem. V tomto odporu se projeví hmotnost vozidla (m), tíhové zrychlení (g) a úhel (α), který svírá vozovka s vodorovnou odvěsnou. [63]

3.3.1.3 Odpor ze zrychlení

$$\text{Vzorec č.6: } O_{\text{zrychlení}} = \vartheta \cdot a \cdot m$$

U silničních vozidel se tento odpor silně projevuje kvůli velkému množství rotačních částí. Pro zjednodušení se komponenty jako poloměr kola, moment setrvačnosti či převodový poměr shrnou do jednoho součinitele, tj. součinitele vlivu rotačních částí ϑ , který je bezrozměrný. S vyšším zrychlením (a) a vyšší hmotností (m) roste odpor. [63]

3.3.1.4 Odpor valivý

$$\text{Vzorec č.7: } O_{\text{valivý}} = \xi \cdot \frac{G}{r}$$

Valivý odpor je důležitou silou, která působí proti směru vozidla. Pokud by se vozidlo pohybovalo, ale kola se neotáčela, působilo by zde smykové tření, které má větší hodnotu než valivý odpor. Tento odpor je způsoben stykem pneumatiky s vozovkou, kdy se obě části deformují. Ve směru valení se pneumatika stlačuje a deformuje. Zadní část styčné plochy pneumatiky se rovná do původního stavu. Při styku s vozovkou deformace vytváří teplo a kvůli tomu je síla působící na pneumatiku větší než ta, která působí na vozovku. Správný tlak v pneumatikách snižuje valivý odpor a zajišťuje optimální adhezní podmínky. [63]

ξ představuje ve vzorci rameno valivého odporu, které závisí na materiálu odvalovaného tělesa a podložky a na jejich tvarové úpravě. G znamená tíhovou sílu, která působí na podložku a je tvořena hmotností vozidla a tíhovým zrychlením a r ve vzorci představuje poloměr valícího se tělesa, v případě automobilů odvalující se kolo s pneumatikou. [63]

3.3.2 Délky dojezdu komerčních EV

Rozpětí dojezdu EV napříč všemi vozidly se pohybuje od 95 km u menších vozidel do 695 km u vozidel s větší baterií, např. Lucid Air. Tyto hodnoty jsou dány výše zmíněnými parametry a velkou roli zde hraje také počasí a klimatické podmínky, kdy deštivé počasí a teploty klesající pod -10 °C mají značný vliv na dojezd. Hodnoty se mohou lišit region od regionu, proto jsou hodnoty jen teoretické. Nejvhodnější klimatické podmínky jsou 23 °C, bezvětří a suchá silnice. [34]

Nejdelší dojezd má Lucid Air Dream Edition R s teoretickým dojezdem 975 km, kterého dosáhne v provozu převážně ve městě, tedy nízké rychlosti a častá rekuperace. Kombinovaný dojezd činí 805 km. Průměrná délka dojezdu EV je 332 km a okolo této hodnoty se pohybují

vozidla Škoda Enyaq Coupe iV 60 s dojezdem 335 km, Volkswagen ID. Buzz Pro s dojezdem 330 km či Audi e-tron S Sportback s dojezdem 330 km. Nejnižší hodnotu dojezdu 95 km poskytne Smart EQ fortwo cabrio. [34]

Vozidla kategorie L7e se délkou dojezdu pohybují okolo 100 km. Tazzari MINIMAX svým dojezdem dosahuje 213 km podle cyklu WMTC, Tazzari Zero City 150 km podle WMTC. [64] [65] Renault Twizy dosahuje dojezdu 100 km podle cyklu ECE-15, avšak v dostupném materiálu uvádí, že se dojezd může lišit podle vnějších vlivů, např. při hospodárné jízdě uvádí 80 km dojezd a při náročné pouze 50 km. [66] Aixam e City uvádí dojezd podle nspecifikovaného cyklu 90 km, ale průměrná naměřená vzdálenost činí 75 km. [67]

3.3.3 Spotřeba na 100 km

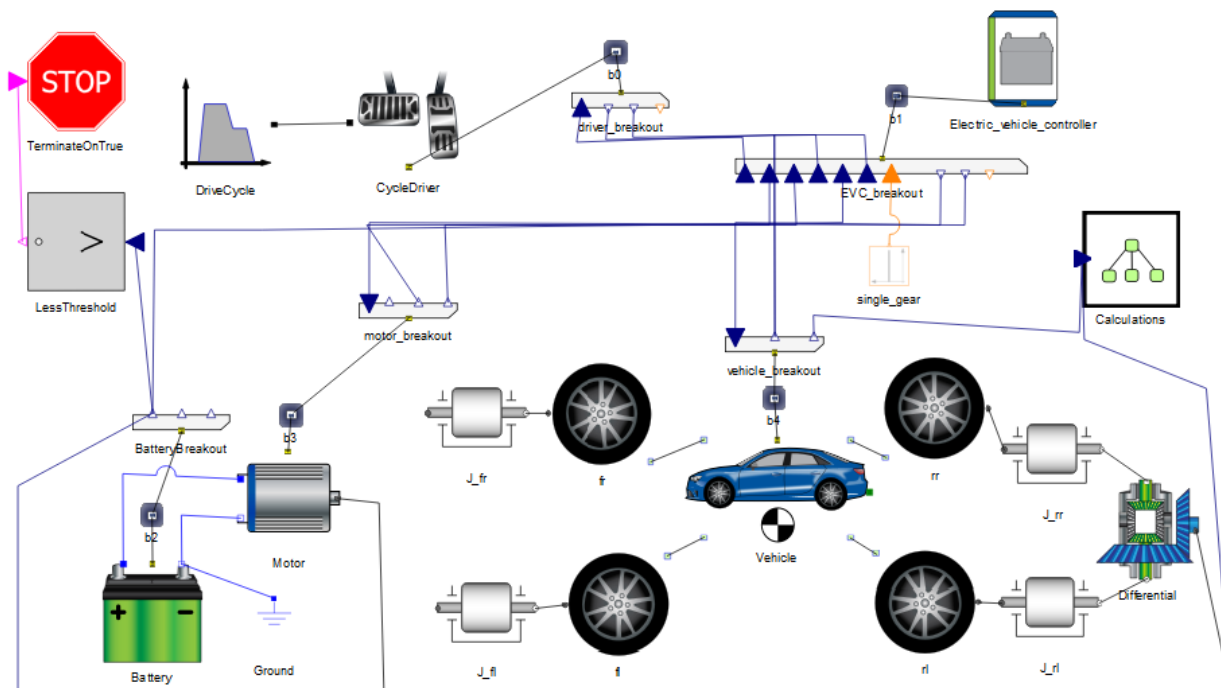
Co se týče spotřeby, zatímco ta se u spalovacích vozidel udává v l/100 km, tak u EV se počítá v kWh/100 km. Tazzari Zero City má spotřebu 9,33 kWh/100 km, Tazzari MINIMAX se pohybuje okolo 7,51 kWh/100 km. Renault má spotřebu podle cyklu ECE-15 6,1 kWh/100 km, ovšem s ohledem na výše zmíněný dokument se spotřeba pohybuje od 7,625 do 12,2 kWh/100 km. Aixam e city se se svojí spotřebou pohybuje nejvýše a to od 14 do 18,66 kWh/100 km.

3.3.4 Program IGNITE

Pro získání teoretických hodnot je použit program IGNITE od společnosti Ricardo, který se využívá k simulaci výkonu vozidla, systémových funkcí vozidla, spotřeby paliva, tepelného řízení aj., a to jak pro vozidla se spalovacím motorem, tak pro hybridy a EV. V dalších bodech jsou popsány jednotlivé komponenty, které jsou použity v simulaci.

3.3.4.1 Popis modelu

V programu IGNITE se sestrojil model, na obrázku 30, který slouží pro výpočet maximálního dojezdu dle zvoleného jízdního cyklu.

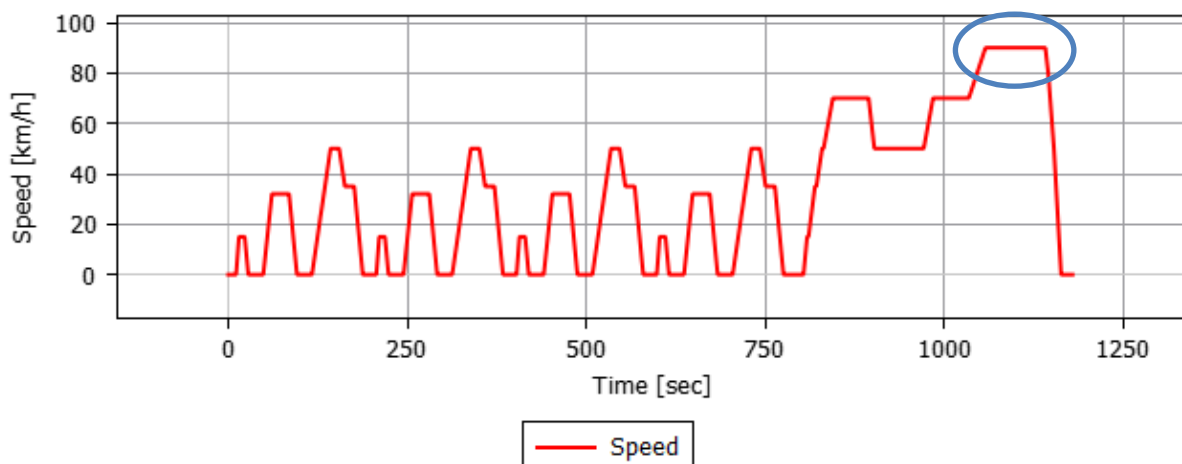


Obrázek 30 Model v IGNITE

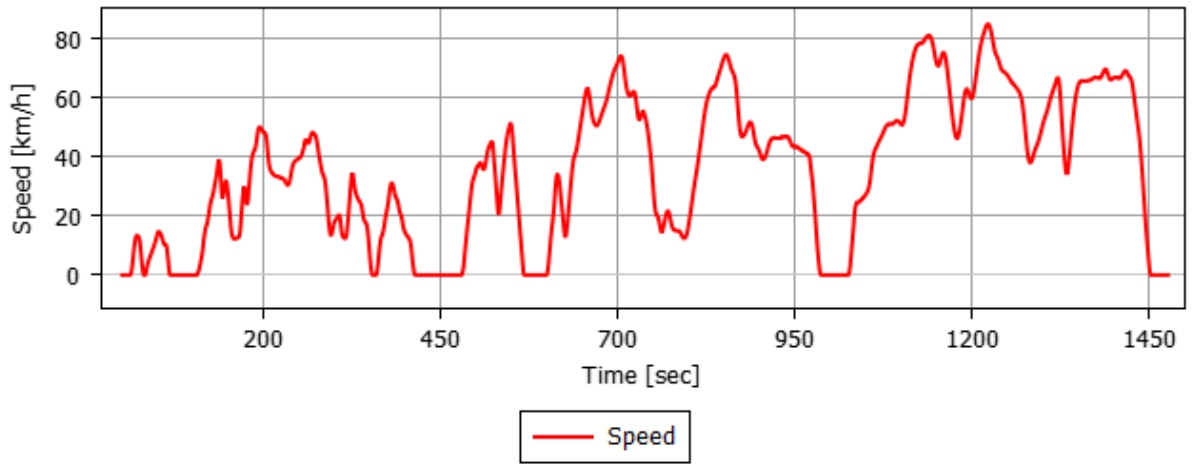
3.3.4.2 Jízdní cyklus

Jízdní cyklus popisuje závislost rychlosti na čase. V programu cyklus (Drive Cycle) umožňuje nastavit již dostupný cyklus, NEDC a WLTC nevyjímaje, nebo si lze nadefinovat vlastní cyklus. V modelu se použily cykly NEDC (obrázek 31), WLTC Class 2 (obrázek 32), dále WMTC Class 2 (obrázek 33), který se používá u motocyklů a čtyřkolek, např. Tazzari ho zmiňuje ve svých materiálech. WLTC Class 3 (obrázek 34). [64]

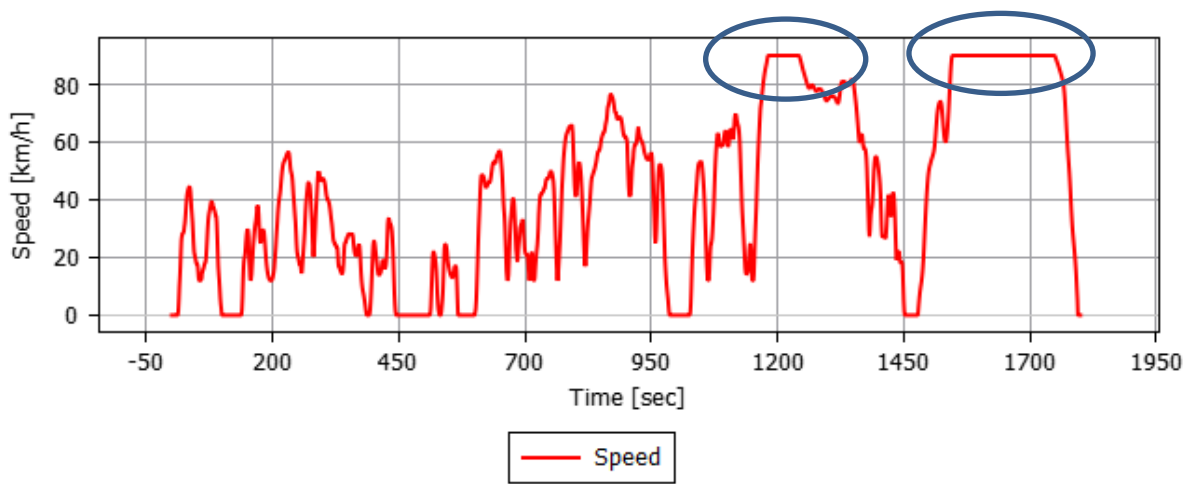
Cyklus WLTC Class 3, WMTC Class 2 a NEDC nejsou přizpůsobeny pro vozidla jedoucí více než 90 km/h, tudíž se tyto tři cykly upravily, kdy hodnoty překračující 90 km/h se stanovily právě na tuto hodnotu. Modře jsou na obrázku vyznačeny upravené oblasti. Pro hranici testu byla zvolena hranice 10 % kapacity baterie, která bude značit konec simulace a odráží dojezdovou rezervu ve skutečnosti.



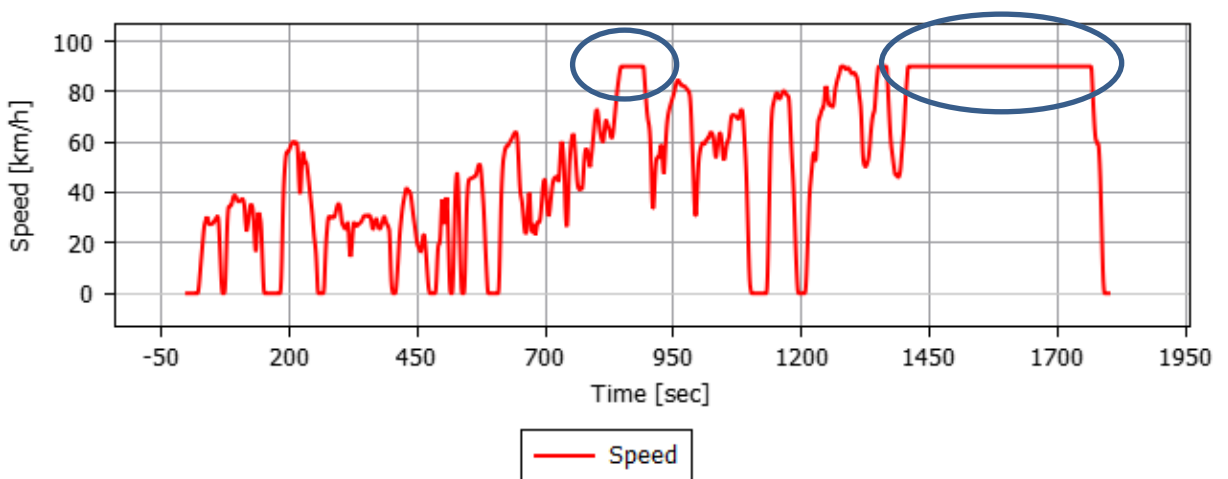
Obrázek 31 Cyklus NEDC – upravený



Obrázek 33 Cyklus WLTC Class 2



Obrázek 32 Cyklus WMTC – upravený



Obrázek 34 Cyklus WLTC Class 3 – upravený

3.3.4.3 CycleDriver

Tímto objektem se v simulaci nahrazuje role řidiče, který udává rozkaz, kdy má vozidlo zrychlit, kdy brzdit, a to v závislosti na pozici v jízdním cyklu. Objektu se musí hodnoty nastaveny tak, aby byly v rozmezí tolerance a nevytvářely se vysoké odchylky.

3.3.4.4 EV kontrolér

Kontrolér v simulaci slouží jako kontrolní jednotka mezi motorem, baterií a vozidlem. Program umožňuje nastavit funkci rekuperačního brždění. Zda dojde k rekuperaci závisí na řidiči a požadavcích na zrychlení či zpomalení.

3.3.4.5 Pneumatiky

V simulaci se použily pneumatiky SimpleTyre, které slouží jako jednoduchý objekt pro náhradu pneumatik. Rozměry pneumatik odpovídají těm, které se použijí ve skutečnosti. Jejich parametry jsou 165/65 R15 s poloměrem 23 cm a koeficientem valivého odporu 0,015, který odpovídá průměrné hodnotě koeficientu odporu pryže na asfaltu.

3.3.4.6 Baterie

Do simulace byly definovány baterie, jež svými specifikacemi odpovídají těm, které se použijí ve skutečném vozidle. Tyto specifikace jsou uvedeny v kapitole 3.1.1.

3.3.4.7 Elektromotor

Elektromotor slouží jako měnič elektrické energie na energii mechanickou potřebnou k pohybu vozidla, kterou přenáší přes převodovku na kola. V simulaci je motor zjednodušen na pouhé stejnosměrné připojení, ale většina elektromobilů má motor střídavý s třífázovým kontrolérem, který mění stejnosměrné napětí na střídavé. V simulaci jeho specifikace odpovídají motoru, který se použije ve skutečnosti.

3.3.4.8 Vozidlo

Model vozidla nahrazuje na základě nastavených dat jako hmotnost, těžiště, velikost apod. chování skutečného vozidla. V simulaci je použit model AdvancedVehicle, který umožňuje komplexnější nastavení. Model vypočítává zatížení z hodnot zrychlení a zpomalení vozidla, z účinků brzdících sil, ze zadaného aerodynamického odporu vozidla atd. Hmotnost vozidla byla stanovena na hodnotu 632 kg, která se skládá z nejvyšší hmotnosti prázdného vozidla (400 kg), hmotnosti bateriové sady s boxem (72 kg) a hmotnosti dvou dospělých osob, které dohromady váží 160 kg. Aerodynamický koeficient byl zvolen jako 0,35. Tato hodnota je průměrný aerodynamický koeficient mezi osobními vozidly. [68]

Parametry vložené do simulace		
Baterie	Kapacita	105 Ah
	Vnitřní odpor	0,005 mΩ
	Nominální napětí	102,4 V
	Maximální napětí	118,4 V
Motor	Maximální výkon	15 kW
	Maximální točivý moment	24 N·m
	Maximální proud	180 A
	Účinnost motoru	90 %
Vozidlo	Hmotnost	632 kg
	Výška těžiště	0,33 m
	Vzdálenost náprav od těžiště v ose x	940 mm
	Maximální brzdná síla	10070 N

Tabulka 3 Hlavní parametry vložené do simulace

3.3.4.9 Simulace a výsledky

3.3.4.9.1 Vliv rekuperace na délku dojezdu

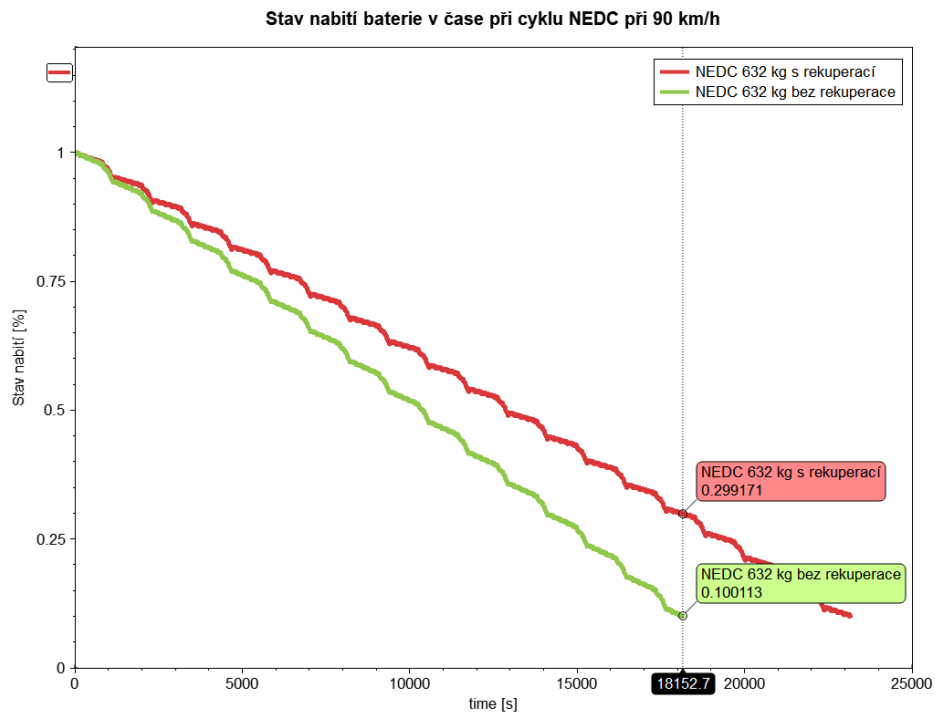
Použití více cyklů umožní lépe nastínit možný dojezd a docílit přesnějšího výsledku. V první sérii simulací se výpočet zaměřil na délku dojezdu s ohledem na cyklus a vliv rekuperace.

Rekuperace Cyklus	Dojezd bez rekuperace [km]	Dojezd s rekuperací [km]	Rozdíl [%]	Spotřeba [kWh/100 km]	Spotřeba s rekuperací [kWh/100 km]
NEDC (90 km/h)	158,25	201,20	+27,14	6,79	5,34
WLTC Class 2	167,10	214,99	+28,66	6,43	5
WLTC Class 3 (90 km/h)	142,46	185,15	+29,97	7,55	5,81
WMTC Class 2 (90 km/h)	136,43	172,69	+26,58	7,88	6,23
Průměrná hodnota	151,06	186,76	35,73 km +28,09 %	7,16	5,6

Tabulka 4 Výsledky simulace – vliv rekuperace

Z hodnot v tabulce 4 byl nejdelší dojezd docílen v cyklu WLTC Class 2, který činil 167 km bez rekuperace a s ní 215 km. NEDC bývá označován za méně přesný kvůli jeho průběhu, který neodpovídá skutečnému provozu.

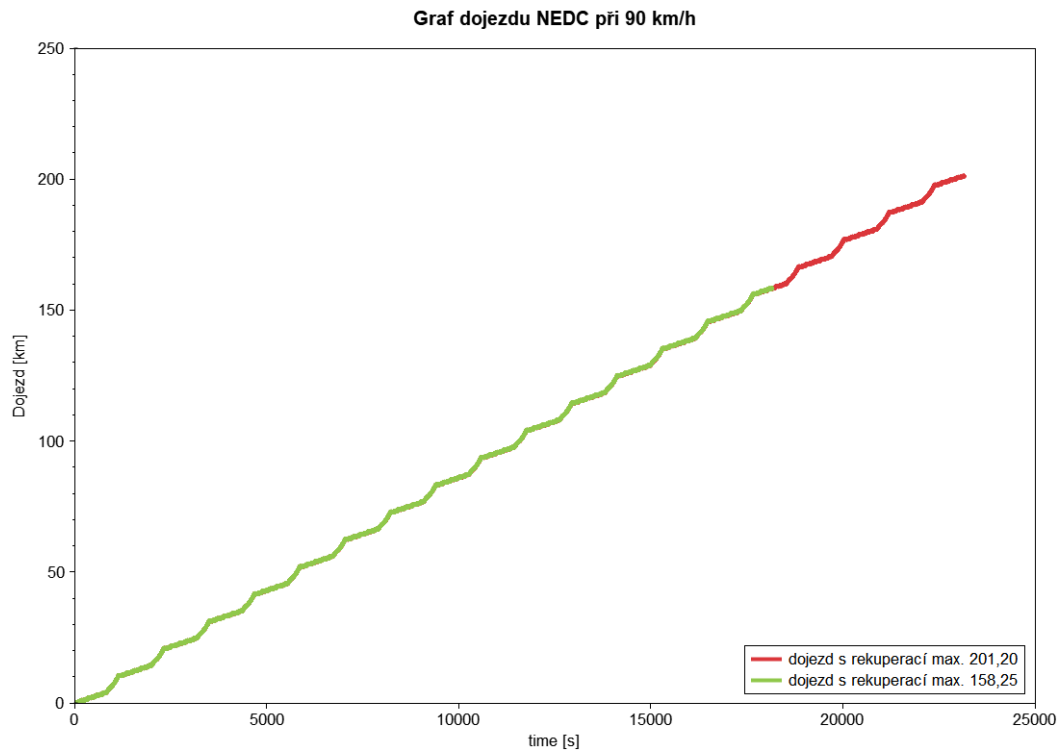
V tomto případě cyklus WLTC Class 2 vyšel s delším dojezdem o 9 km z toho důvodu, že ani jednou se nepřiblížil k nejvyšší možné hranici, tedy 90 km/h, zatímco NEDC s maximální rychlostí 90 km/h určitou dobu jel, což má za následek lehce vyšší spotřebu, která se ve výsledku projevila. Nejnižší dojezd byl dosažen v cyklu WMTC Class 2 s dojezdem 136,43 km, kdy tento cyklus je náročnější oproti ostatním cyklům. Rekuperací se v rámci např. cyklu NEDC získalo 2,62 kWh a WMTC 2,73 kWh.



Obrázek 35 Graf stavu nabití NEDC – rekuperace

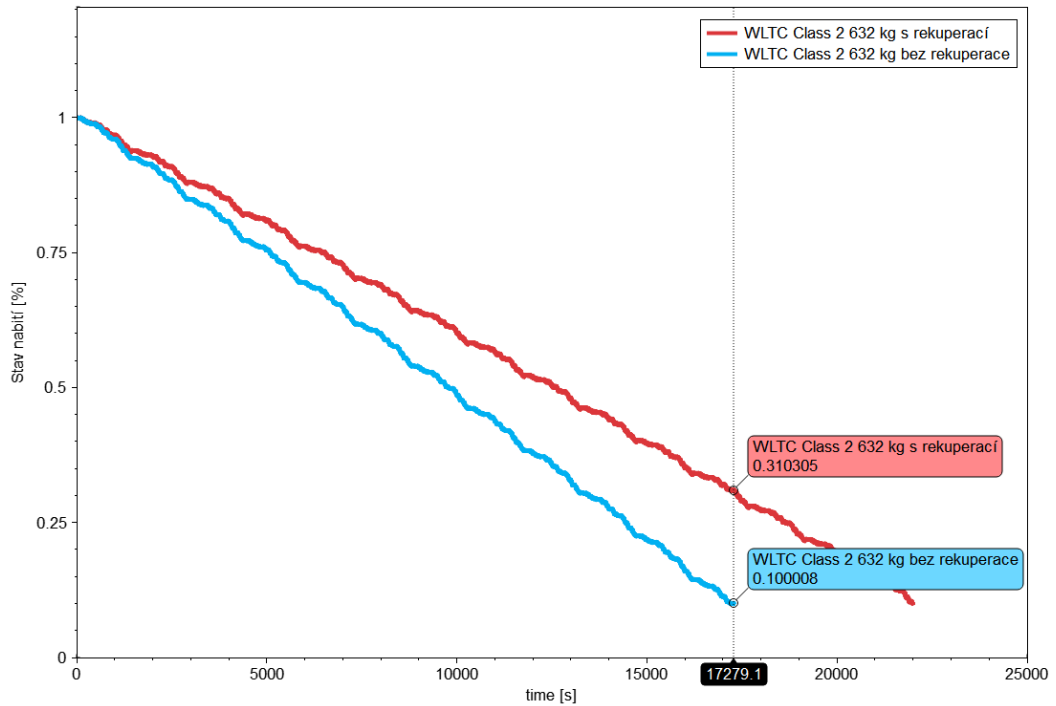
Na obrázku 35 je znázorněn stav nabití baterie, kde lze poznat rozdíl, kdy s rekuperací se dosáhlo úspory téměř 20 % na konci simulace.

Obrázek 36 zobrazuje dojezdovou vzdálenost v cyklu NEDC, kdy s rekuperací dojezd dosáhl dojezdu 201,20 km, zatímco bez rekuperace pouze 158,25 km.



Obrázek 36 Graf dojezdu NEDC – rekuperace

Stav nabití baterie v čase při cyklu WLTC Class 2

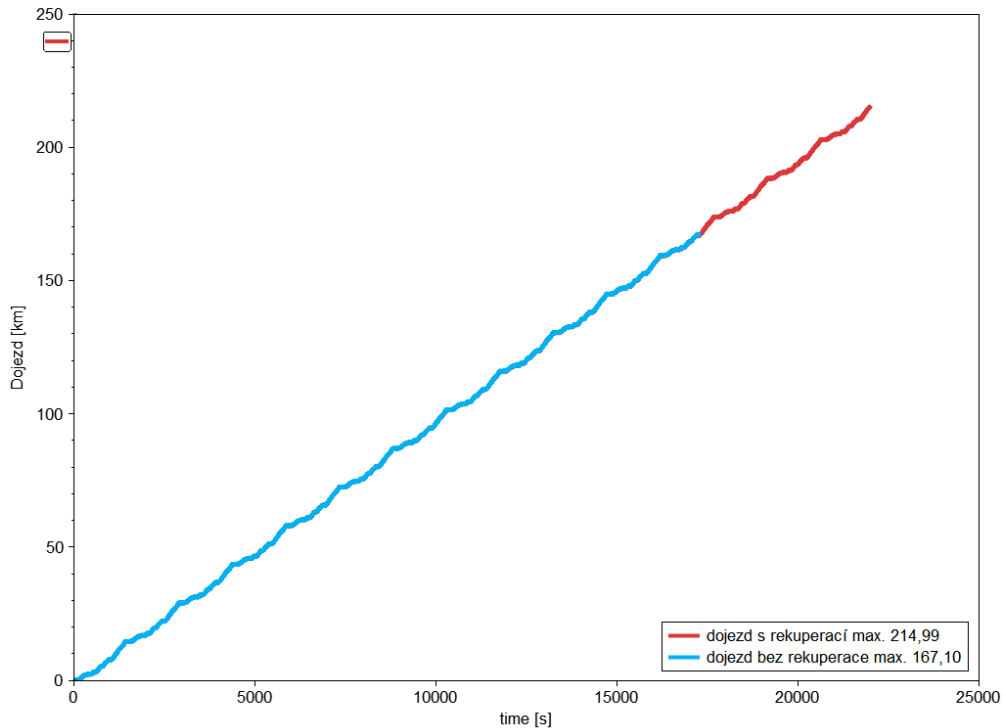


Obrázek 37 Graf stavu nabití WLTC Class 2 – rekuperace

Na obrázku 37 je znázorněn stav nabití baterie, tentokrát v cyklu WLTC Class 2, při němž rekuperační brzdění dosáhlo úspory 21 % na konci testu.

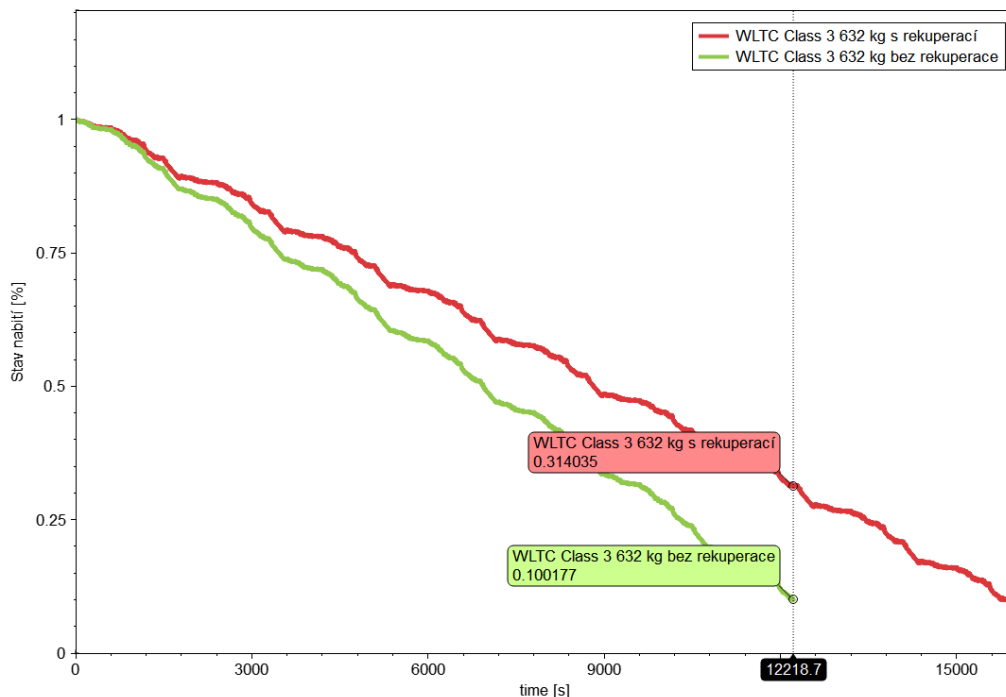
Obrázek 38 zobrazuje dojezdovou vzdálenost v tomto cyklu, kdy s rekuperací dojezd dosáhl dojezdu 214,99 km, zatímco bez rekuperace pouze 167,1 km.

Graf dojezdu WLTC Class 2



Obrázek 38 Graf dojezdu WLTC Class 2 – rekuperace

Stav nabití baterie v čase při cyklu WLTC Class 3 při rychlosti 90 km/h

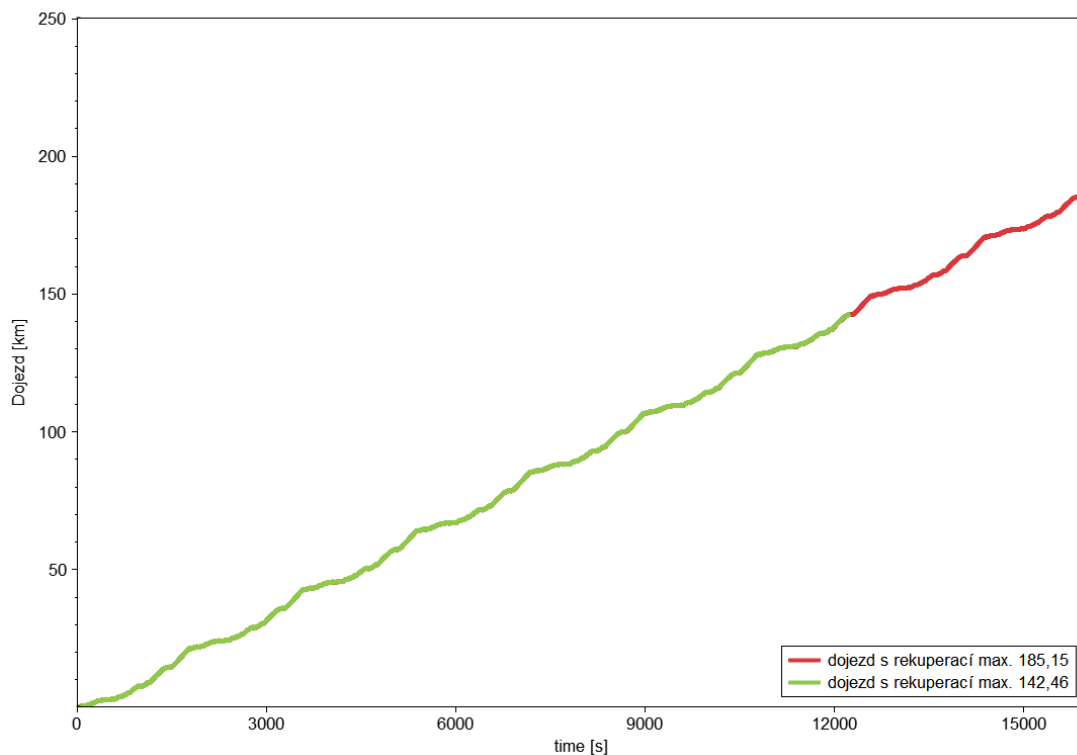


Obrázek 39 Graf stavu nabití WLTC Class 3 – rekuperace

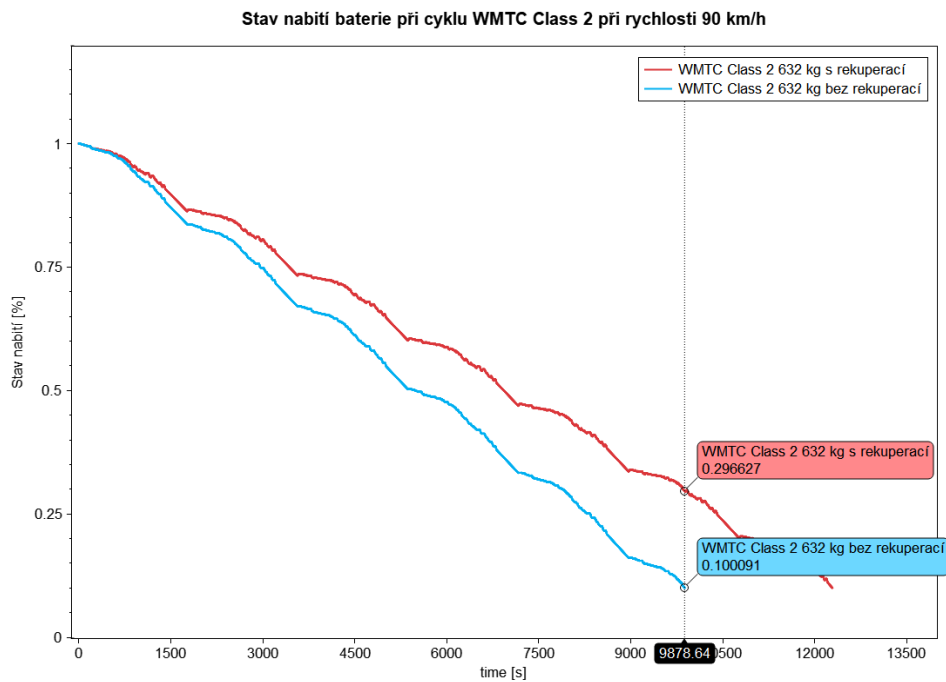
Na obrázku 39 je znázorněn stav nabití baterie při cyklu WLTC Class 3. Je zde patrný rozdíl oproti Class 2, který není tak náročný, neboť je určen pro méně výkonné motory.

Obrázek 40 zobrazuje dojezdovou vzdálenost dosahující hodnoty 185,15 km s rekuperací a bez ní 142,46 km.

Graf dojezdu WLTC Class 3 při rychlosti 90 km/h



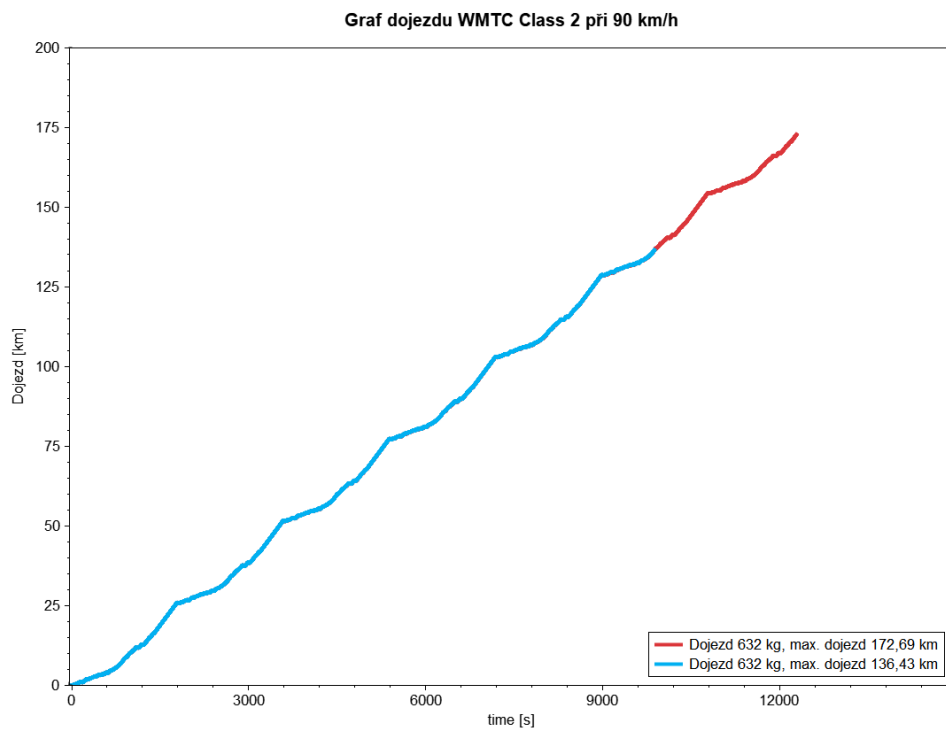
Obrázek 40 Graf dojezdu WLTC Class 3 – rekuperace



Obrázek 41 Graf stavu nabití WMTC Class 2 – rekuperace

Obrázek 41 znázorňuje stav nabití baterie při cyklu WMTC Class 2, který je pro vozidlo nejnáročnější kvůli častému zrychlování.

Na obrázku 42 lze vidět nejnižší dojezdovou vzdálenost ze všech cyklů, kdy s rekuperací dojezdová vzdálenost dosáhla 172,69 km, zatímco bez rekuperace pouze 136,43 km.



Obrázek 42 Graf dojezdu WMTC Class 2 – rekuperace

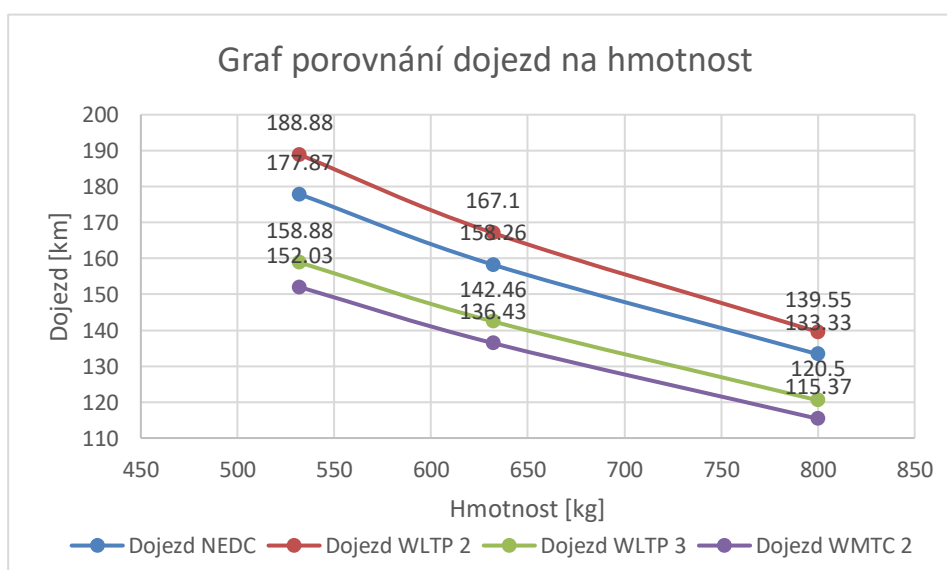
3.3.4.9.2 Vliv hmotnosti na délku dojezdu

Druhá série simulací se bude odvíjet od vlivu hmotnosti na dojezd. V jednom případě se vypustí spolujezdec a řidič bude vážit 60 kg. Celková hmotnost klesne na 537 kg, což vytvoří rozdíl 100 kg. V druhém případě se měření bude blížit k teoretickému extrémnímu zatížení, které by vozidlo mělo zvládnout. Hmotnost se stanoví jako vozidlo s bateriemi (472 kg) a dvě osoby i s nákladem 328 kg, tedy celková hmotnost činí 800 kg. Měření vzdálenosti bude probíhat bez rekuperace.

Hmotnost Cyklus	Dojezd při 632 kg [km]	Dojezd při 532 kg [km]	Dojezd 532 kg oproti 632 kg [%]	Dojezd při 800 kg [km]	Dojezd 800 kg oproti 632 kg [%]
NEDC (90 km/h)	158,26	177,87	+12,39	133,33	-15,75
WLTC Class 2	167,10	188,88	+13,03	139,55	-16,49
WLTC Class 3 (90 km/h)	142,46	158,88	+11,53	120,50	-15,41
WMTC Class 2 (90 km/h)	136,43	152,03	+11,43	115,37	-15,44
Průměrná hodnota	151,06	169,39	18,33 km +12,09 %	127,19	-23,87 km -15,77 %

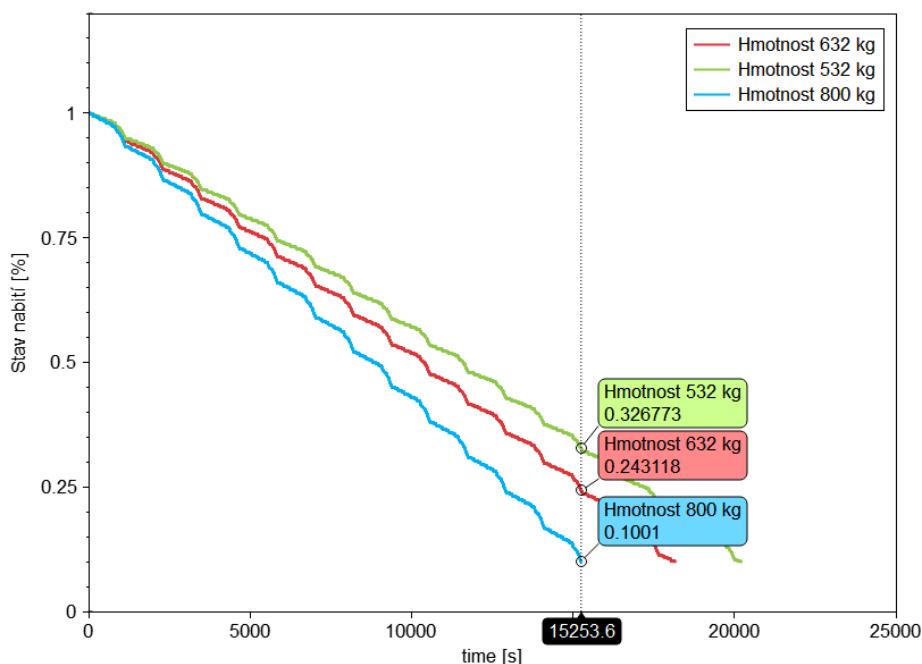
Tabulka 5 Vliv hmotnosti na dojezd

Jak lze z výsledků v tabulce 5 vidět, rozdíl hmotnosti u varianty s hmotností 532 kg způsobí nárůst v dojezdové vzdálenosti přibližně o 18,3 km, tedy 12% nárůst. Oproti tomu těžší varianta o 168 kg způsobí dojezd nižší v průměru o 23,86 km, nebo -15,77 %. Na obrázku 43 lze vidět grafické zobrazení závislosti dojezdu na hmotnosti.



Obrázek 43 Graf porovnání dojezdu na hmotnosti

Stav nabití baterie při cyklu NEDC při rychlosti 90 km/h

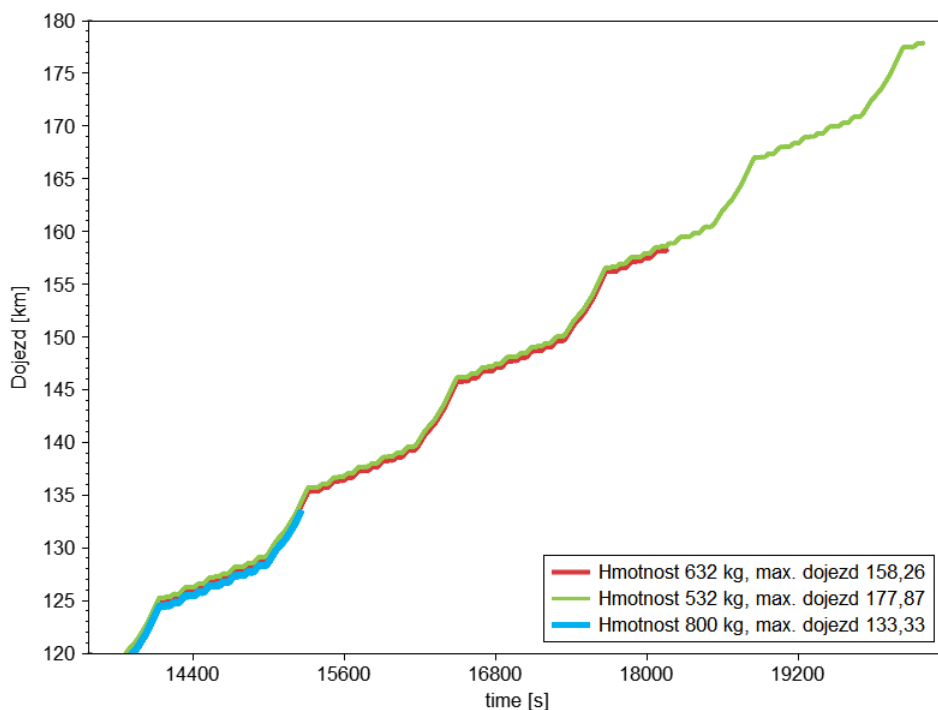


Obrázek 44 Graf stavu nabití NEDC – hmotnost

Graf 44 zobrazuje porovnání stavu nabití při různých hmotnostech, kdy lze vidět, že nejtěžší varianta má nejvyšší spotřebu a rozdíl v nabití při konci simulace činí více než 22 %.

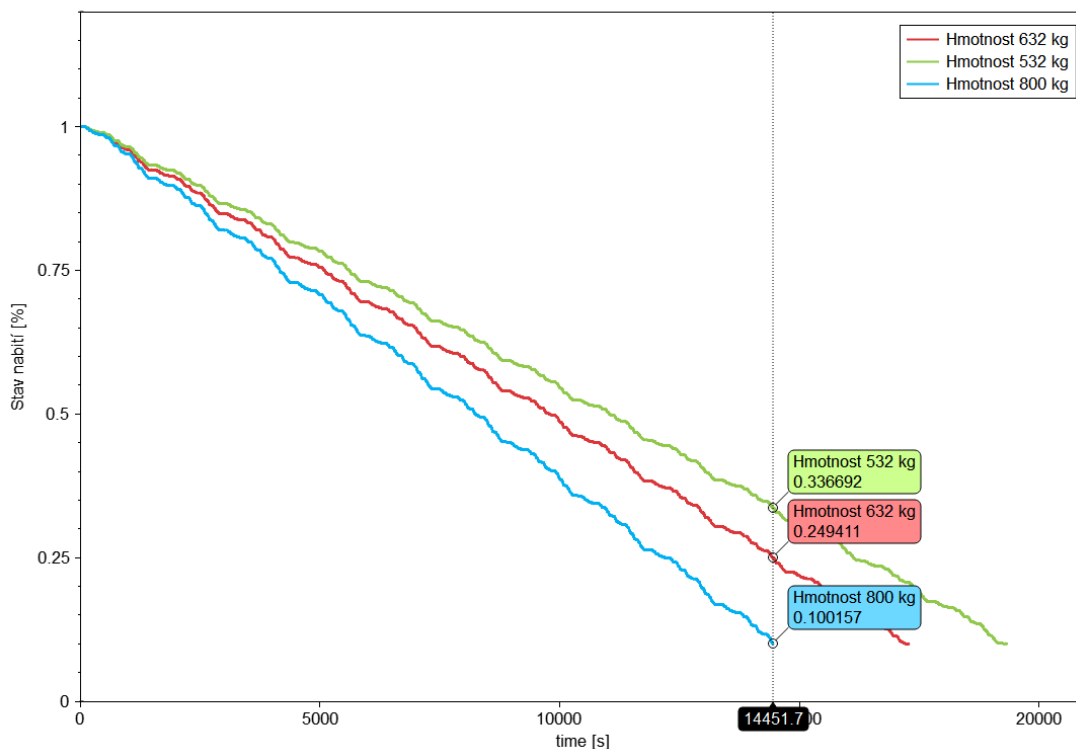
Při cyklu NEDC se porovnání dojezdu lišilo v nejkrajnějších variantách o 44,5 km, jak ukazuje obrázek 45.

Graf dojezdu NEDC při rychlosti 90 km/h



Obrázek 45 Graf dojezdu NEDC – hmotnost

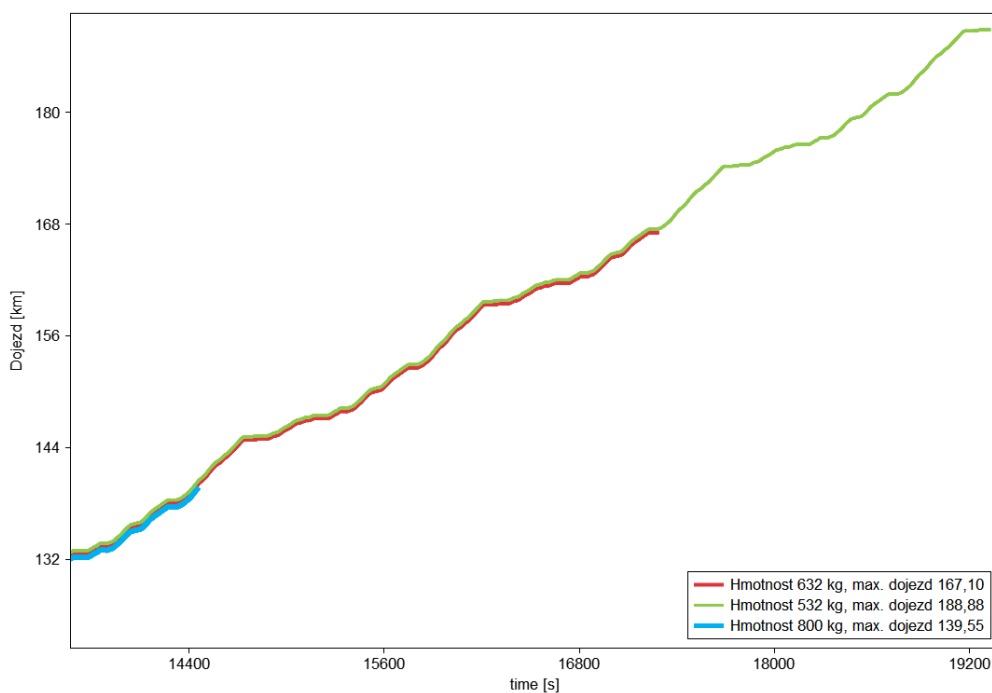
Stav nabití baterie při cyklu WLTC Class 2



Obrázek 47 Graf stavu nabití WLTC Class 2 – hmotnost

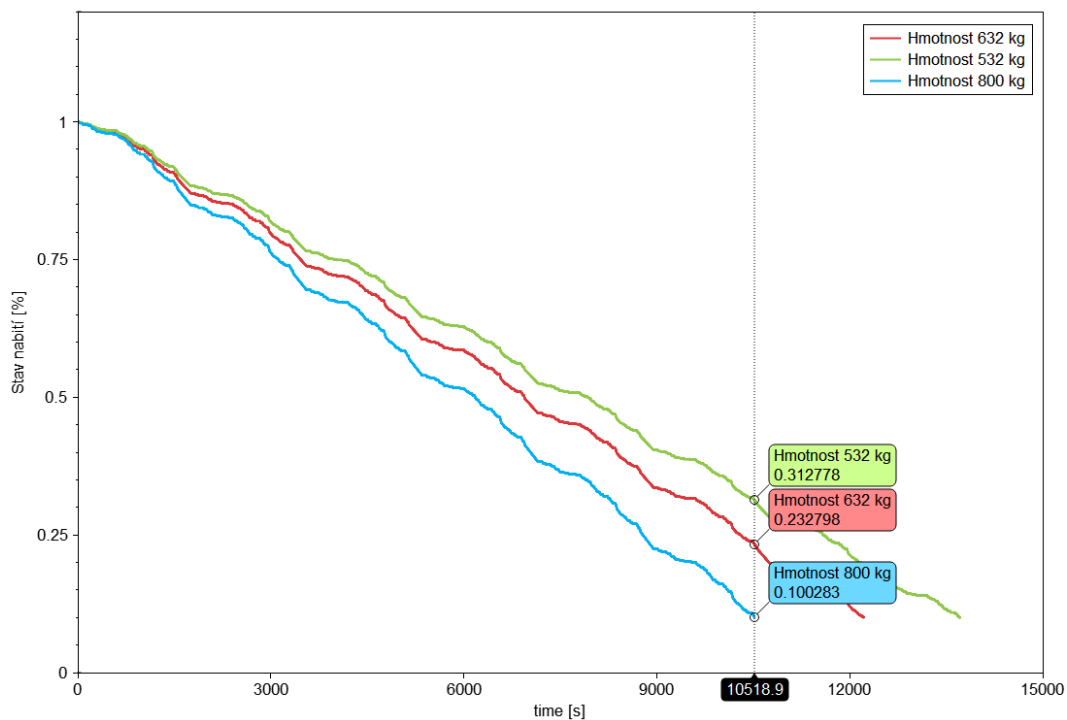
Cyklus WLTC Class 2 zaznamenal lehce vyšší úsporu oproti cyklu NEDC. Procentuální rozdíl činí zhruba 23 %, jak lze vidět na obrázku 46. Rozdíl v dojezdu, který je zobrazen na obrázku 47, dosáhl v nejlehčí variantě 188,88 km, zatímco v 800 kg variantě pouze 139,55 km, což tvoří rozdíl 49 km.

Graf dojezdu WLTC Class 2



Obrázek 46 Graf dojezdu WLTC Class 2 – hmotnost

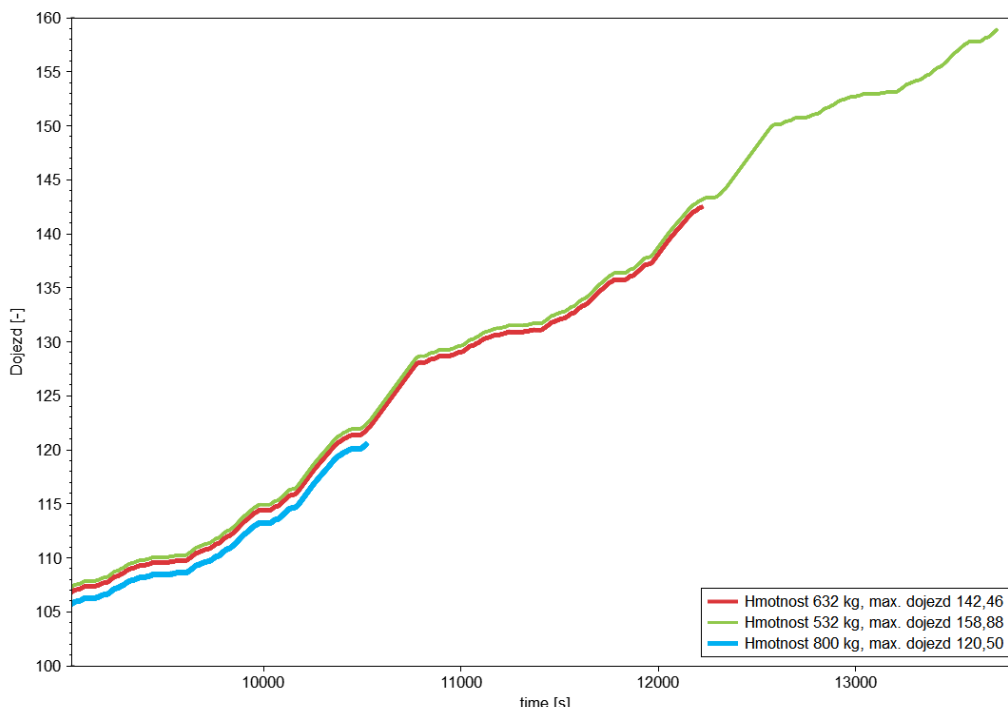
Stav nabití baterie při cyklu WLTC Class 3 při rychlosti 90 km/h



Obrázek 48 Graf stavu nabití WLTC Class 3 – hmotnost

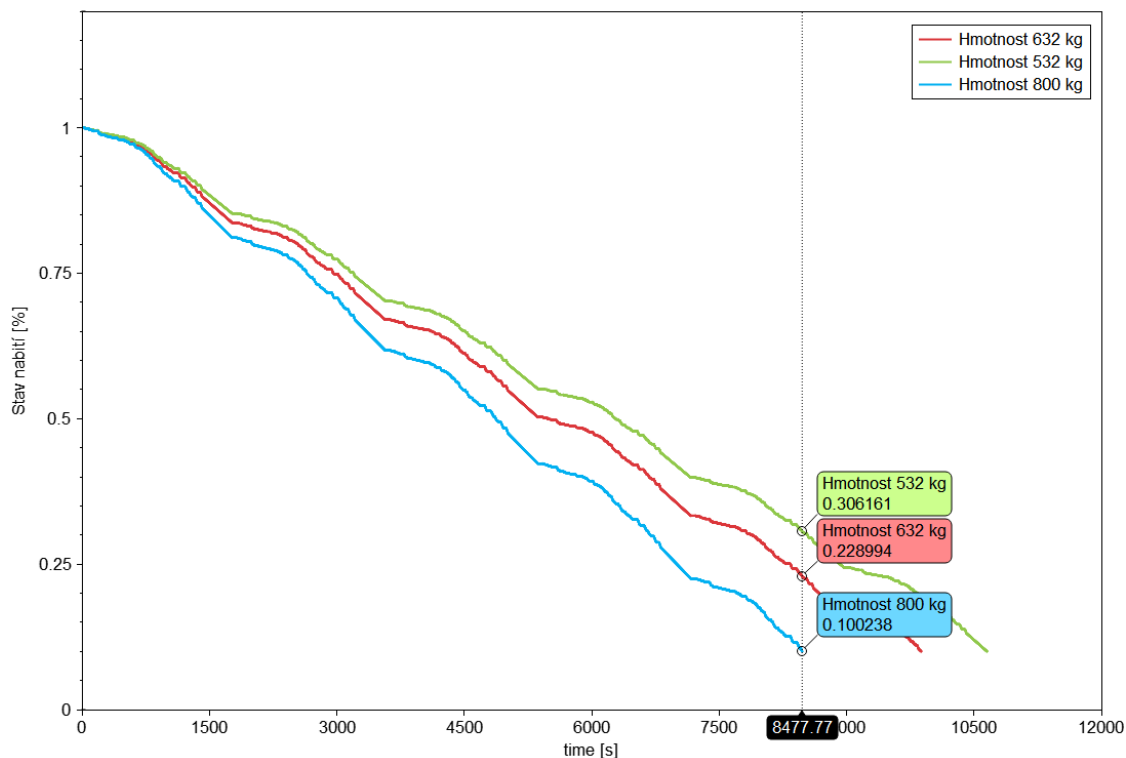
Na obrázku 48 lze vidět stav při cyklu WLTC Class 3. Rozdíl dosáhl hodnoty 21 %. Hodnoty dojezdu dosáhly nižších hodnot než předchozí cykly. Varianta s 532 kg dosáhla dojezdu 158,88 km, 800 kg varianta ujela 120,5 km, jak ukazuje obrázek 49.

Graf dojezdu WLTC Class 3 při rychlosti 90 km/h



Obrázek 49 Graf dojezdu WLTC Class 3 – hmotnost

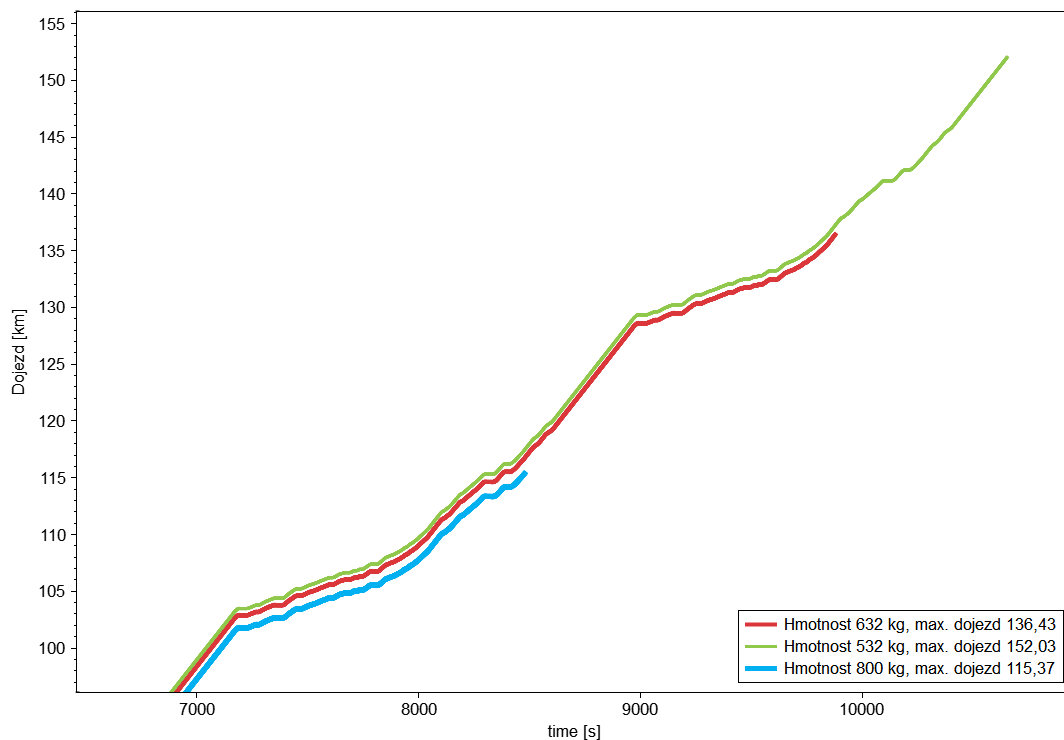
Stav nabití baterie při cyklu WMTC Class 2 při rychlosti 90 km/h



Obrázek 50 Graf stavu nabití WMTC Class 2 – hmotnost

Na obrázcích 50 a 51 s cyklem WMTC Class 2 byl rozdíl ve stavu nabití baterie 20 %, což činilo v dojezdové vzdálenosti 21 km.

Graf dojezdu WMTC Class 2 při rychlosti 90 km/h



Obrázek 51 Graf dojezdu WMTC Class 2 – hmotnost

Na grafech 44, 46, 48, 50 lze vidět, že v době, kdy vozítku s 800 kg nastala hranice pro konec simulace, v nejlehčí variantě zbývalo navíc průměrně 21,6 % kapacity. Na grafech 45, 47, 49 a 51 je vidět rozdíl v dojezdu, kdy nejtěžší vozidlo skončilo v 148,5 km, zatímco nejlehčí varianta dojela o 29,3 km více. U těchto porovnání lze vidět vcelku široké rozpětí hodnot, které dané veličiny nabývají. Toto rozpětí je způsobeno dvěma veličinami. První je hmotnost, kdy vyšší hmotnost způsobuje větší hodnoty v jízdních odporech. Druhou je daný cyklus, kdy cykly s častou a proměnlivou akcelerací budou mít větší spotřebu než cykly s konstantní rychlostí.

Ve skutečném provozu může hodnota dojezdu dosahovat nižších hodnot než hodnot daných od výrobce. To je způsobeno tím, že cykly se provádějí v laboratořích, kde se zanedbávají atmosférické podmínky, které mají vliv na dojezdovou vzdálenost a také rozdílnost kvality vozovky, kdy vyšší valivý koeficient způsobí vyšší spotřebu. Zvýšení dojezdu se může docílit snížením vlivů jízdních odporů.

3.3.5 Další fáze

Po návrhu bateriového boxu bude následovat jeho konstrukce, poté jeho uložení a uchycení do malého elektromobilu. Poté bude následovat optimalizace kabelového vedení, zda veškeré kabely mají dostatek místa a zda dosáhnou k daným komponentám, dále kontrola teploty baterií za provozu, která nesmí překračovat maximální dovolenou teplotu 55 °C. Dále kontrola vodotěsnosti, aby se do boxu nedostala žádná nežádoucí voda.

Možností do budoucna je rozšíření celkové kapacity baterie přidáním dalších boxů do paralelní větve. Optimalizace hmotnosti boxu provést změnou materiálu či ztenčením stěn. Další možností je rozšíření elektrovýbavy vozidla, jako je např. klimatizace, infotainment apod. Nabízí se také návrh v podobě přidání měniče napětí pro nabíjení z veřejných nabíjecích stanic.

4 ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo navrhnout bateriový box malého městského elektromobilu. EV bude sloužit jako pojízdná laboratoř pro testování sdílených baterií a akumulátorů pro městskou mobilitu. Bateriový box bude navrhován s ohledem na jeho použití a na základě zpracování komerčních boxů.

Začátek teoretické části se zabýval elektromobilitou a jejími specifiky pro provoz. Je zde vysvětleno, proč je elektromobilita na vzestupu, možnosti dalších řešení, jaké jsou výhody a nevýhody elektromobilů oproti vozidlům se spalovacím motorem, načež je navázáno rozdělením typů elektrických vozidel.

Teorie pokračuje v popisu baterií, jak fungují a jaké byly první používané baterie ve světě. Baterie jsou rozděleny podle tvaru, ve kterých se vyrábějí, podle materiálu na elektrodách, jež ovlivňuje jejich vlastnosti a napětí. V rámci tohoto dělení jsou ještě rozděleny podle toho, zda se používají v automobilovém průmyslu. U těch, které se používají, se provedl bližší popis, protože ty mohou být eventuelně pro elektromobily využity, resp. dále vyvíjeny. Parametry baterií jsou poté porovnány v tabulce a v grafu. Z těchto rešerší se došlo k závěru, že Li-ion baterie jsou v současnosti nejlepší volbou pro BEV.

Baterie se v provozu neobejde bez elektrické energie, kterou je nutné do baterie načerpat. Další stránky jsou proto věnovány typům nabíjení, jaké existují módy, výkony jednotlivých nabíječek a konektorů, které se ve světě využívají. Ve spojení s elektromobilitou je také vytvářena legislativa, která poskytuje rámec pro schvalování a provoz elektromobilů. Zde se zjistilo, že tvorba ucelené infrastruktury pro provoz EV je důležitá.

V rámci výpočtu spotřeby a dojezdu jsou vyzdvihnuty jízdní cykly NEDC a WLTC. Dále se zmínila výroba, bezpečnost a likvidace baterií. V oblasti bezpečnosti elektromobilů, a především baterií, jsou zde popsány systémy BMS, které kontrolují stav jednotlivých článků v bateriové sadě.

Stěžejní částí této práce je návrh bateriového boxu, který bude následně implementován do fakulního městského elektromobilu. Box je navržen jako kvádr, který bude vysouvatelný pomocí kolejnic. Kolejnice budou sloužit ke snadnější manipulaci a budou udržovat směrovou stabilitu. Pro návrh velikosti boxu se vycházelo z velikostí jednotlivých článků a kvůli hmotnosti i rozdělení do menších boxů. V další části je vyobrazena bezpečnostní technika, která je

na bateriové sadě použita a její schematické zobrazení. Tvorba funkčního bateriového boxu je pro vývoj BEV nezbytná.

V druhé polovině praktické části se práce zaměřuje na simulaci dojezdu elektrického vozidla, které se svými specifikacemi snaží co nejvíce přiblížit budoucímu elektromobilu. Provedeny byly dvě varianty simulace v programu IGNITE, a to s vlivem rekuperace a s vlivem hmotnosti.

Aby bylo možné provést simulace, bylo nutné nejprve vytvořit model elektromobilu, resp. všech jeho částí, jako baterie, motor, převodové ústrojí apod. Parametry jednotlivých komponent byly nadefinovány podle skutečných nebo přibližných hodnot. Obě varianty simulace byly provedeny ve 4 cyklech, NEDC, WLTC Class 2, WLTC Class 3 a WMTC Class 2. Žádný cyklus není pro malé elektromobily ideální, a ne všechny automobilky používají stejný cyklus, proto se simulace provedly ve více cyklech. Následně byly do tabulky zaneseny všechny naměřené hodnoty a porovnány mezi sebou.

Nejnižšího výsledku se dosáhlo při cyklu WMTC Class 2 s dojezdovou vzdáleností 136,41 km bez rekuperace a s ní 172,66 km. Tento cyklus má nejvíce proměnnou křivku zatížení. Nejvyššího dojezdu se dosáhlo v cyklu WLTC Class 2, který dosáhl s rekuperací hodnoty 214,99 km a bez ní 167,1 km. Největšího rozdílu s rekuperací a bez ní, se dosáhlo u cyklu WLTC Class 2 s hodnotou 47,89 km. EVgen bude provozován převážně v městských oblastech Prahy. Značné množství světelně řízených křižovatek, jízd do svahů a vysoké dopravní špičky vytváří prostředí, které se svými vlastnostmi provozu podobá cyklu WMTC.

U hmotnostní varianty se simulovala různá zatížení bez rekuperačního brzdění, a to ve všech výše zmíněných cyklech. Z měření se došlo k závěru, že s rostoucí hmotností klesá dojezdová vzdálenost. Při porovnání s ostatními malými elektromobily se dojezd EVgena pohybuje v průměrných až nadprůměrných hodnotách.

Nejvyššího dojezdu se dosáhlo s 532 kg v cyklu WLTC Class 2 a to 188,88 km. Nejnižší vzdálenost dojezdu činila 115,37 km v cyklu WMTC Class 2 se zatížením 800 kg. Rozdíl mezi prázdným a plně naloženým bude přibližně 250 kg, což je hmotnost baterií a osob, který bude způsobovat nižší dojezd, jak ukázaly simulace.

Při řešení praktické části se použil Autodesk Inventor pro tvorbu boxu a článků a pro simulace byl použit program Ricardo IGNITE.

Doufám, že veškeré poznatky získané při tvorbě bakalářské práce a navržená řešení využiji i v budoucím studiu a práci.

REFERENCE

- [1] ZVĚŘINOVÁ, Iva, Milan ŠČASNÝ, Zuzana MARTÍNKOVÁ a Vojtěch MÁCA. Rozvoj trhu s elektromobily v České republice: veřejná podpora a zkušenosti ze zahraničí. In: *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzbinfo.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici>
- [2] OA M1,N1, N2 emise EURO final. 1. leden 2019. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Silnicni-doprava/Schvalovani-vozidel/Metodiky/OA-final-str-1.pdf.aspx?lang=cs-CZ>
- [3] NA, BUS emise EURO final. 1. leden 2019. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Silnicni-doprava/Schvalovani-vozidel/Metodiky/NA-final-str-1.pdf.aspx?lang=cs-CZ>
- [4] MOKŘÍŠ, Jakub. Emise automobilů a jejich povolená hodnota. In: *Portál řidiče* [online]. Pardubice: DF SOLUTIONS, s.r.o. [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/emise-automobilu-a-jejich-povolena-hodnota>
- [5] Škoda Octavia zážehové motory. In: *Škoda Storyboard* [online]. ŠKODA AUTO a.s. [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: <https://cdn.skoda-storyboard.com/2019/08/TD-OCTAVIA-cz.pdf>
- [6] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor* [online]. 1. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012 [cit. 2022-07-13]. ISBN 978-80-247-7694-1. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=iiBgAgAAQBAJ&pg=PA14&hl=cs&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q=%25&f=false
- [7] VAN MIERLO, Joeri, Kenneth LEBEAU, Maarten MESSAGIE a Cathy MACHARIS. Electric Vehicles: Environmental friendly and affordable?. *Revue e tijdschrift* [online]. Brussel, 2013, **129**(4), 6-10 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/262764842_Electric_Vehicles_Environmental_friendly_and_affordable
- [8] GOEDKOOP, Mark a Ellen MEIJER. Life cycle assessment and cradle to cradle: friends or foes?. In: *PRé* [online]. Amersfoort: PRé Sustainability [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://pre-sustainability.com/articles/lca-and-c2c-friends-or-foes/>
- [9] Cradle to grave. In: *European Environment Agency* [online]. Kodaň: European Environment Agency [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/cradle-to-grave>
- [10] Well-to-Wheels Analyses. In: *European Commission* [online]. 1995 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/jec-activities/well-wheels-analyses_en

- [11] Carsharing. In: *Autonapůl.cz: první český autosharing* [online]. Brno: IMCerny, 2018 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.autonapul.cz/carsharing/>
- [12] DOSTÁL, Dalibor. Firemní auta najedou denně jen 96 kilometrů, na to elektromobily bohatě stačí. In: *Businessinfo.cz* [online]. Praha: CMI News s.r.o., c1997-2022 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/firemni-auta-najedou-denne-jen-96-kilometru-na-to-elektromobily-bohate-staci/>
- [13] ŠUTA, Miroslav a Miroslav PATRIK. *Aby se ve městě dalo dýchat: příklady efektivních opatření ke zlepšení kvality ovzduší*. 1. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2010. ISBN 978-80-87308-02-8.
- [14] How Do All-Electric Cars Work?. In: *Alternative Fuels Data Center* [online]. Washington: U.S. Department of Energy [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- [15] LARMINIE, James a John LOWRY. *Electric Vehicle Technology Explained* [online]. 2. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2012 [cit. 2022-08-07]. ISBN 978-1-119-94273-3. Dostupné z: <http://www.iqytechnicalcollege.com/BAE%20685-Electric%20Vehicle%20Technology.pdf>
- [16] Parts of an EV: Recap. In: *TU Delft: OpenCourseWare* [online]. Delft: TU Delft [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/2-1-2-lecture-notes-parts-of-an-ev-recap/>
- [17] Princip palivového článku. In: *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001-2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [18] Toyota Mirai. In: *Toyota* [online]. Plano: Toyota Motor Sales, U.S.A., Inc., 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.toyota.com/mirai/>
- [19] Hydrogen Basics. In: *Alternative Fuels Data Center* [online]. Washington: U.S. Department of Energy [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_basics.html
- [20] BIČÁKOVÁ, Olga a Pavel STRAKA. Production of hydrogen from renewable resources and its effectiveness. *International Journal of Hydrogen Energy*. Amsterdam: Elsevier, 2022, **47**(57), 11563-11578. ISSN 0360-3199. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.05.047](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.05.047)
- [21] SUN, Xiaoli, Zhengguo LI, Xiaolin WANG a Chengjiang LI. Technology Development of Electric Vehicles: A Review. In: *MDPI* [online]. c1996-2022 [cit. 2022-07-19]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/90/htm>
- [22] Types of EV. In: *TU Delft: OpenCourseWare* [online]. Delft: TU Delft [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/2-2-2-lecture-notes-types-of-ev/>
- [23] Sítě se připravují na půl milionu elektromobilů. Nové rozvodny a baterie jsou velkým tématem. In: *E15* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER a.s., c2001-2022 [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/tematicke-specialy/elektromobilita/site-se-pripravuji-na-pul-milionu-elektromobilu-nove-rozvodny-a-baterie-jsou-velkym-tematem-1381198#>
- [24] SHINE, Ian. The world needs 2 billion electric vehicles to get to net zero. But is there enough lithium to make all the batteries?. In: *World Economic Forum* [online]. Ženeva: World Economic

- Forum, 2005-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/electric-vehicles-world-enough-lithium-resources/>
- [25] LI, Fangyi, Rui OU, Xilin XIAO, Wu XIE, Dawei MA, Kunpeng LIU a Zhuo SONG. Regional comparison of electric vehicle adoption and emission reduction effects in China. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. Elsevier, 1988, **2019**(149), 714-726 [cit. 2022-08-03]. ISSN 0921-3449. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.038>
- [26] HOLMBERG, Kenneth a Ali ERDEMIR. The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars. *Tribology International* [online]. Elsevier, 1975-2022, **2022**(175), 389-396 [cit. 2022-08-03]. ISSN 0301-679X. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.024>
- [27] *Electricity maps* [online]. Kodaň: Electricity Maps, 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://app.electricitymaps.com/map>
- [28] Informace. In: *Battery.cz* [online]. Jesenice: Battery.cz, 2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.battery.cz/informace/>
- [29] Sériové a paralelní zapojení. In: *E-manuel* [online]. E-manuel, 2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/elektricke-obvody/vyklad/seriove-a-paralelni-zapojeni/>
- [30] KRÁLOVÁ, Magda. Práce a výkon elektrického proudu. In: *Techmania Science Center* [online]. Plzeň: Techmania Science Center, c2007-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektricky-proud/prace-vykon-elektrickeho-proudu>
- [31] BIRKE, Peter Kai. *Modern Battery Engineering: A Comprehensive Introduction*. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2019. ISBN 978-981-3272-15-6.
- [32] Baterie LiFePO4. In: *Resacs* [online]. Otrokovice: Resacs, 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/www.resacs.cz/user/shop/detail/49-3_baterie-lifepo4-3-2v-280ah.jpg?62226569
- [33] *Plochý článek Li-pol* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/cs/1008370_LB_00_FB/image.jpg
- [34] *Electric Vehicle Database* [online]. 2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: ev-database.org
- [35] Voltův článek. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. c2006-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1704-voltuv-clanek>
- [36] Alkalický článek. In: *Battex* [online]. Slaný: BATTEX, spol. s r.o., c2009-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkove-primarni-clanky/alkalicke-baterie>
- [37] Leclancheův článek. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. c2006-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1706-leclancheuv-clanek>
- [38] Baterie oxid stříbrný-zinek. In: *Battex* [online]. Slaný: BATTEX, spol. s r.o., c2009-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <http://www.battex.info/?p=slovnicek-a-pojmy&id=112>

- [39] ŠPINA, Martin. Ni-Cd baterie. In: *O energetice* [online]. Třebíč: OM Solutions s.r.o. [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/technicky-historicke-okenko-ni-cd-baterie>
- [40] Lithium polymer battery. In: *Techopedia* [online]. Techopedia Inc., 2022 [cit. 2022-07-19]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/8093/lithium-polymer-battery-lipo-battery>
- [41] MASIAS, Alvaro, James MARCICKI a William PAXTON. Opportunities and Challenges of Lithium Ion Batteries in Automotive Applications. *ACS Energy Letters* [online]. American Chemical Society, 2016, 6(2), 621-630 [cit. 2022-08-03]. ISSN 2380-8195. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1021/acsenerylett.0c02584>
- [42] CATHERINO, Henry Alves. *A Perspective on Nickel Zinc Battery Technology* [online]. Oakland, 2015 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/340539835_A_Perspective_on_Nickel_Zinc_Battery_Technology. Technický report. Oakland University.
- [43] Everything you should know about electric vehicle charging. In: *EVBox* [online]. Amsterdam: EVBox B.V., c [cit. 2022-07-19]. Dostupné z: <https://evbox.com/en/ev-charging-guide>
- [44] Cyklus NEDC. In: *Fiat* [online]. Praha: FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES ČR s.r.o. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://www.fiat.cz/content/dam/fiat/cross/wltp/02_Content/320/img.jpg
- [45] Cyklus WLTC Class 3. In: *Autoforum* [online]. MotorCom s.r.o., c1996-2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://www.autoforum.cz/tmp/magazin/ws/WLTP_cyklus_Class_3_prehled_01_213_0.jpg
- [46] MALKOVSKÝ, Zdeněk, Jan KARL, Ondřej SUCHÝ a Pavel THIN. *Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR*. Praha, 2020. Dostupné také z: https://www.hasici-vzdelavani.cz/sites/default/files/download/soubory/201007%20Komentovan%C3%BD%20v%C3%BDklad%20k%20MU%20s%20EV-H_0_0.pdf
- [47] A closer look at Audi's new R8 e-tron EV and battery. In: *Green Car Congress* [online]. BioAge Group, LLC., c2004-2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2015/06/20150612-r8etron.html>
- [48] What is a battery electric vehicle. In: *X-engineer* [online]. x-engineer.org, 2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/battery-electric-vehicle-bev/>
- [49] Tesla X. In: *Tesla* [online]. Austin: Tesla, 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://tesla-cdn.thron.com/delivery/public/image/tesla/bef82e45-25be-4980-bd53-ad4a1159c92a/bvlatuR/std/1920x900/mx-performance-dual-motor-desktop_carousel-new
- [50] Toyota Corolla Cross. In: *AutoBuzz* [online]. Selangor: BIG BUZZ MEDIA, 2013 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://autobuzz.my/2021/11/11/toyota-corolla-cross-hybrid-has-lower-horsepower-figures-than-standard-1-8-but-why/>
- [51] Mazda Skyactiv Hybrid. In: *Green Car Congress* [online]. BioAge Group, LLC., c2004-2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2013/11/20131122-mazada.html>

- [52] MASON, Hannah. Designing a versatile, multi-material EV battery enclosure. In: *CompositesWorld* [online]. Gardner Business Media, Inc., 2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.compositesworld.com/articles/designing-a-versatile-multi-material-ev-battery-enclosure>
- [53] Audi e-tron. In: *Autoprova* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://autoprova.be/2019/04/01/focus-on-the-high-voltage-battery-system-of-the-audi-e-tron-95-kwh-of-energy/>
- [54] What is a Battery Management System?. In: *Synopsys* [online]. Synopsys, Inc., 2022 [cit. 2022-07-30]. Dostupné z: <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-a-battery-management-system.html>
- [55] REINDL, Andrea, Hans MEIER a Michael NIEMETZ. Scalable, Decentralized Battery Management System Based on Self-organizing Nodes. *Architecture of Computing Systems – ARCS 2020* [online]. 2020, **33**(1), 171184 [cit. 2022-08-07]. ISSN 0302-9743. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-52794-5_13
- [56] ELASSER, Youssef, Yenan CHEN, Ming LIU a Minjie CHEN. A Multiway Bidirectional Multiport-Ac-Coupled (MAC) Battery Balancer with Online Electrochemical Impedance Spectroscopy. In: *Annual IEEE Conference on Applied Power Electronics Conference and Exposition* [online]. New Orleans: IEEE, 2020 [cit. 2022-07-30]. ISBN 978-1-7281-4829-8. ISSN 2470-6647. Dostupné z: doi:[10.1109/APEC39645.2020.9124422](https://doi.org/10.1109/APEC39645.2020.9124422)
- [57] YANG, Yue, Emenike OKONKWO, Guoyong HUANG, Wei SUN a Yinghe HE. On the sustainability of lithium ion battery industry – A review and perspective. *Energy Storage Materials* [online]. Elsevier BV, 2015, **2022**(52), 186-212 [cit. 2022-08-02]. ISSN 2405-8297. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.12.019>
- [58] *Specifikace produktu Baterie LiFePO4 3,2V 105Ah*. Otrokovice, 2021. Dostupné také z: https://www.resacs.cz/user/related_files/3_2v_105ah_cz.pdf
- [59] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9.
- [60] Supercharger. In: *Tesla* [online]. Austin: Tesla, 2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/supercharger>
- [61] NIO Power. In: *NIO* [online]. 2018 [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://www.nio.com/nio-power>
- [62] Electrical consumers in cars – how much power do they use?. In: *Varta* [online]. CPS Technology Holdings, LLC. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://batteryworld.varta-automotive.com/en-gb/electrical-consumers-in-cars-how-much-power-do-they-use>
- [63] PRACHAŘ, Roman. *JÍZDNÍ ODPORY VOZIDEL*. Brno, 2010. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [64] Configurator MINIMAX. In: *Tazzari EV: zero emission mobility* [online]. Imola: Tazzari Holding S.r.l. [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://configurator.tazzari-zero.com/en/car-configurator/configure/36857/>

- [65] Configurator Zero City. In: *Tazzari EV: zero emission mobility* [online]. Imola: Tazzari Holding S.r.l. [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://configurator.tazzari-zero.com/en/car-configurator/configure/11419/>
- [66] *Renault Twizy* [online]. In: . s. 14 [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://cdn.group.renault.com/ren/cz/pdf/brochures/twizy-brochure.pdf>
- [67] Aixam e City. In: *Aixam* [online]. [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://www.aixam.cz/cs/e-city/pack#fiche-technique>
- [68] SAJDL, Jan. Aerodynamika. In: *Autolexicon* [online]. autolexicon.net, 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/aerodynamika/>

RICARDO Software, IGNITE help [Online] Dostupné z: [https:// https://rdesk-help.rs-apps.com](https://rdesk-help.rs-apps.com)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma BEV	12
Obrázek 2 Schéma palivového článku	13
Obrázek 3 Vodíkové ústrojí Toyoty Mirai.....	13
Obrázek 4 Porovnání emisí CO ₂ u EV a vozidel se spalovacím motorem	16
Obrázek 5 Schéma sériovo-paralelního zapojení.....	17
Obrázek 6 Různé válcové baterie	18
Obrázek 7 Knoflíkové baterie	19
Obrázek 8 Hranatý LiFePO ₄ článek	19
Obrázek 9 Plochý článek	20
Obrázek 10 Porovnání Nikl-metalové baterie a olovněné baterie	25
Obrázek 11 Graf porovnání akumulátorů	27
Obrázek 12 Cyklus NEDC.....	31
Obrázek 13 Cyklus WLTC kategorie 3	31
Obrázek 14 Audi R8 e-tron	33
Obrázek 15 Tesla Model X.....	34
Obrázek 16 Toyota Corolla Cross Hybrid.....	34
Obrázek 17 Hybridní ústrojí Mazda Skyactiv-hybrid.....	35
Obrázek 18 Audi eTron bateriový box.....	36
Obrázek 19 Bateriový box s články – první návrh	42
Obrázek 20 Bateriové články v rozložení pro umístění do podlahy	43
Obrázek 22 Bateriový box – pohled na průchodku na kabely	44
Obrázek 21 Bateriový box – druhý návrh	44
Obrázek 23 BMS ve fakultní bateriové sadě	45

Obrázek 24 Modul BMS	45
Obrázek 25 Pohled na bateriovou sadu	45
Obrázek 26 Schéma bateriové sady	45
Obrázek 27 Schéma zapojení bateriové sady – BMS, články, relé.....	46
Obrázek 28 Výřez z aplikace – sledování hodnot.....	47
Obrázek 29 Výřez z aplikace – nastavování hodnot.....	47
Obrázek 30 Model v IGNITE	52
Obrázek 31 Cyklus NEDC – upravený	52
Obrázek 32 Cyklus WMTC – upravený	53
Obrázek 33 Cyklus WLTC Class 2.....	53
Obrázek 34 Cyklus WLTC Class 3 – upravený	53
Obrázek 35 Graf stavu nabití NEDC – rekuperace	57
Obrázek 36 Graf dojezdu NEDC – rekuperace	57
Obrázek 37 Graf stavu nabití WLTC Class 2 – rekuperace.....	58
Obrázek 38 Graf dojezdu WLTC Class 2 – rekuperace.....	58
Obrázek 39 Graf stavu nabití WLTC Class 3 – rekuperace.....	59
Obrázek 40 Graf dojezdu WLTC Class 3 – rekuperace.....	59
Obrázek 41 Graf stavu nabití WMTC Class 2 – rekuperace.....	60
Obrázek 42 Graf dojezdu WMTC Class 2 – rekuperace.....	60
Obrázek 43 Graf porovnání dojezdu na hmotnosti	61
Obrázek 44 Graf stavu nabití NEDC – hmotnost.....	62
Obrázek 45 Graf dojezdu NEDC – hmotnost.....	62
Obrázek 46 Graf dojezdu WLTC Class 2 – hmotnost.....	63
Obrázek 47 Graf stavu nabití WLTC Class 2 – hmotnost	63
Obrázek 48 Graf stavu nabití WLTC Class 3 – hmotnost	64
Obrázek 49 Graf dojezdu WLTC Class 3 – hmotnost.....	64
Obrázek 50 Graf stavu nabití WMTC Class 2 – hmotnost	65
Obrázek 51 Graf dojezdu WMTC Class 2 – hmotnost.....	65