

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Diplomová práce

**Analýza faktorů ovlivňující provozní parametry baterií
elektrovozidel**

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Autor práce: Bc. David Gärtner

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Gärtner

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza faktorů ovlivňující provozní parametry baterií elektrovozidel

Název anglicky

Analysis of factors influencing the operating parameters of electric vehicle batteries

Cíle práce

Cílem práce je analýza faktorů, které zásadním způsobem ovlivňují provozní parametry trakčních baterií. Základem bude analýza současného stavu a rozbor faktorů ovlivňující provozní parametry bateriových modulů. Na závěr bude realizována praktická část práce zaměřená na analýzu vlivu vybraných faktorů na okamžité parametry bateriových modulů.

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků experimentů budou formulovány závěry diplomové práce.

Práce bude zpracována dle osnovy:

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Praktická část práce
6. Výsledky a diskuse
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

nabíjecí proud, elektromobil, baterie, nabíjecí stanice

Doporučené zdroje informací

BERG, Helena Berg. Batteries for electric vehicles: materials and electrochemistry. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. ISBN 9781316090978

DENTON, Tom. Electric and hybrid vehicles. 2. London: Routledge, 2020. ISBN 9780367273231

HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. Fyzika – Elektřina a magnetismus 3. část. 1. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 8021418680

IQBAL, Husain. Electric and hybrid vehicles : design fundamentals. 3. London, 2021. ISBN 9780367693930

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2022

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "**Analýza faktorů ovlivňující provozní parametry baterií elektrovozidel**" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinovi Kotkovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a cenné připomínky. Dále bych rád poděkoval společnosti Škoda Auto a.s. obzvláště panu Ing. Janu Petrákovi a Ing. Janu Dvořákovi za vstřícnost, cenné rady a možnost spolupráce na praktické části v podobě informační a materiálové podpory.

Analýza faktorů ovlivňující provozní parametry baterií elektrovozidel

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá elektromobilitou, konkrétně elektrovozidly neboli EV a bateriemi elektrovozidel. Cílem bylo uvést základní rozdělení a principy baterií EV, dále v praktické ukázce charakterizovat vybrané parametry baterií EV. V první části práce je uvedena krátká historie EV a baterií. Poté jsou zde popsány typy EV, princip a jejich vývoj registrací za posledních deset let. Další kapitoly se zabývají bateriemi EV nejen základními pojmy jako je dělení podle tvaru, porovnání chemického složení, ale také výrobci baterií EV a vývojem ceny baterií. V praktické části diplomové práce jsou podrobeny testování dva typy bateriových modulů, rozdílné v konstrukci zapojení uvnitř modulu. Byl sledován průběh samovybití modulů a vliv dlouhodobého skladování při nízké hodnotě nabití na kapacitu modulu neboli zda došlo při nevhodném skladování k degradaci a poklesu reálně uložené energie. Pro vyhodnocení bylo klíčové spolu s analýzou dlouhodobě skladovaných neboli starých modulů, provést analýzu parametrů nových modulů a vzájemně naměřené hodnoty porovnat.

Klíčová slova: elektrovozidlo, články baterie, nabíjení, bateriové moduly

Analysis of factors influencing the operating parameters of electric vehicle batteries

Abstract

This thesis deals with electromobility, specifically electric vehicles (EV) and electric vehicle batteries. The aim was to present the basic classification and principles of EV batteries, as well as to characterize selected parameters of EV batteries in a practical demonstration. In the first part of the thesis, a short history of EVs and batteries is presented. Then, the types of EVs, their principle and a comparison of the number of their registrations over the period are described. The next chapters dealt with EV batteries not only with basic concepts, division by shape, comparison of chemical composition, but also with EV battery manufacturers and battery price development. In the next part of the thesis, two types of battery modules are tested, differing in the design of the circuitry inside the module. The self-discharge behaviour of the modules and the effect of long-term storage at low charge on the module capacity or whether degradation and decrease of real stored energy occurred during improper storage were investigated. For the evaluation, it was crucial, together with the analysis of the long-term stored or old modules, to analyse the parameters of the new modules and compare the measured values with each other.

Keywords: electric vehicles, battery cell, charging, battery modules

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce.....	3
3 Metodika práce.....	3
4 Teoretická východiska	5
4.1 Historie elektrovozidel	5
4.1.1 Vznik a úpadek	5
4.1.2 Návrat elektrických vozidel	6
4.1.3 Vývoj baterií pro elektrovozidla	8
4.2 Elektrovozidla	10
4.2.1 Druhy elektrovozidel	11
4.3 Vývoj počtu registrovaných elektrovozidel	20
4.3.1 Celosvětový vývoj počtu registrovaných elektrovozidel.....	20
4.3.2 Vývoj počtu registrovaných elektrovozidel v ČR.....	21
4.4 Bateriové systémy v elektrovozidlech	22
4.4.1 Systém správy baterií (BMS).....	23
4.4.2 Základní parametry baterií pro elektrická vozidla	24
4.4.3 Struktura zapojení	25
4.4.4 Typy článků baterií elektrovozidel dle konstrukce.....	27
4.4.5 Druhy technologie článků baterií.....	29
4.4.6 Metody nabíjení baterií	35
4.4.7 Výrobci bateriových modulů	37
4.4.8 Vývoj ceny baterií.....	40
5 Praktická část práce.....	42
5.1 Testované bateriové moduly a jejich technické parametry	42
5.1.1 Typ 1 modul.....	45
5.1.2 Typ 2 modul.....	46
5.2 Měřicí technika.....	47
5.2.1 Multimetr Fluke	47
5.2.2 Vysokonapěťový zdroj Keysight N8954A	47
5.2.3 Bateriová zátěž Torkel 860	47
5.2.4 Software PowerDB Lite.....	48
5.3 Příprava měření	48
5.3.1 Základní výpočty	48
5.3.2 Nastavení Multimetru	49
5.3.3 Nastavení Vysokonapěťového zdroje	49

5.3.4	Nastavení Bateriové zátěže	50
6	Výsledky měření.....	51
6.1.1	Samovybíjení modulů	51
6.1.2	Kapacitní test	54
6.1.3	Stanovení degradace starých modulů	59
7	Závěr.....	61
8	Seznam použitých zdrojů	63
8.1	Seznam obrázků	71
8.2	Seznam tabulek	73
8.3	Seznam grafů.....	74

1 Úvod

Technologie jdou stále dopředu skrz všemi odvětvími. Díky výzkumu objevení nového využití materiálů, inovativních technologií, zdokonalení postupů, je možné vylepšení, zefektivnění již stávajících technologií. Posledních desítky let je kladen stále větší důraz na snížení negativních vlivů, které dopadají na životní prostředí. Právě díky vývoji nových technologií je stále možné posouvat tuto hranici v budoucnu až k minimálním neboli nulovým dopadům na životní prostředí.

Při snaze o nulové emise, zejména na evropském kontinentu je stále více zmiňován vliv konvenčních spalovacích vozidel a jejich výfukových emisí. Nicméně nejnovější prozatím návrh emisní normy Euro 7 bere v potaz nejen kontrolu výfukových emisí u vozidel se spalovacím motorem, ale také poprvé je normou uvedeno, že se bude týkat vozidel s elektrickým pohonem. Konkrétně se budou kontrolovat emise brzd a otěru pneumatik, které vznikají u všech vozidel bez ohledu na pohon a vznik výfukových emisí. V této době nejsou zcela známi předpisy a jak se tyto nově měřené emise brzd a otěru pneumatik budou měřit a jaké mají splňovat hodnoty. Vše je zatím předmětem jednání a bude zajímavé sledovat kam se tato situace vyvine, jak se případně norma v budoucnu změní oproti návrhu a jak se automobilový průmysl konkrétně výrobci a jejich vývojová centra vypořádají s těmito normami.

Nejslabším článkem z celého systému elektrických vozidel je stále baterie. Zejména u plně elektrických bateriových vozidel, kde je k pohonu využívána výhradně energie z trakční baterie. S přispěním nových technologií je stále posouvána bezpečnost, podíl recyklace, životnost a kapacita baterií tudíž celkový dojezd vozidla na jedno nabití. Velké téma je také samotná výroba bateriových článků a samotná těžba materiálů, která je složena z drahých kovů jako je grafit, mangan, měď, hliník, lithium, nikl, kobalt.

Na začátku se bude tato práce zabývat elektrovozidly, podle druhu a stupně elektrifikace bude uveden, jejich princip, výhody, nevýhody a následné srovnání. Poté budou popsány trendy ve vývoji počtu registrovaných elektrovozidel globální a v České republice s tím spojený procentuální podíl EV ku celkově nově registrovaným vozidlům. Dále se už bude

zaobírat jen bateriemi elektrovozidel. Nejdříve bude představen bateriový systém, jeho základní pojmy a části. Následně se přejde k bateriovým článkům, od jejich tvaru, chemického složení, struktury zapojení, metod nabíjení po největší výrobce baterií a vývoje ceny baterií za posledních deset let. Po získání přehledu o problematice bude možné se věnovat konkrétním bateriovým modulům a analýze jejich parametrů.

2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je uvést parametry baterií elektrických vozidel, toho bude dosaženo pomocí následujících dílčích cílů.

Pro teoretickou část:

- získat celkový přehled vozidel využívající elektrickou energii ať už jako hlavní, vedlejší nebo kombinovaný stupeň elektrifikace,
- popsat bateriovou technologii elektrovozidel, jejich druhy, vlastnosti, nabíjení, použití, jednotlivé výhody a nevýhody, s ohledem na praktickou část práce.

Pro praktickou část:

- analýza samovybíjení bateriových modulů,
- vliv dlouhodobého skladování při nízkém stavu nabití, zjištění stupně degradace modulů,
- porovnání výsledků procenta samovybíjení a snížené kapacity neboli degradace bude shrnut v závěru.

3 Metodika práce

Metodika diplomové práce popisuje postup, jakým způsobem bylo dosaženo stanovených dílčích cílů:

- teoretická část práce bude zpracována na základě odborného literárního rozboru,
- k analýze parametrů baterií elektrovozidel v praktické části budou využity dva typy bateriových modulů,
- nejdříve dojde k základním výpočtům stavu nabití (SOC) vůči hodnotám napětí pro oba typy modulů,
- pro analýzu samovybíjení bude využit multimetr, měření bude probíhat v předem daných časových intervalech, moduly budou skladovány při teplotě 23 °C,
- pro určení vlivu dlouhodobého skladování při nízkém stavu nabití, na degradaci, množství energie, které bude modul schopen dodat po ukončení skladování, bude

využito vysokonapěťového zdroje k nabití modulů na hodnotu SOC 95 %, dle předem stanovených výpočtů,

- po časovém intervalu nutném k ustálení napětí modulu, bude modul dle vypočtených hodnot vybit díky bateriové zátěži na 5 % SOC,
- dlouhodobě skladované (staré) moduly budou porovnány s novými stejného typu, poté bude vypočítán stav zdravý a určeno procento degradace.

4 Teoretická východiska

4.1 Historie elektrovozidel

Elektricky poháněné automobily nejsou záležitostí poslední dekády, na silnicích pohybují téměř dvě století. Po delší odmlce, několika změnách a evoluci v technologiích jsou dnes tato vozidla považována za další velký krok k udržitelnější a ekologičtější mobilitě.

4.1.1 Vznik a úpadek

Elektromobily vznikly v důsledku řady faktorů. Jedním z největších pokroků po vynálezu parního stroje na konci 18. století byla železnice, která usnadnila přepravu na velké vzdálenosti. Individuální přeprava osob však byla stále odkázána na používání koňských povozů, což přimělo tehdejší průmyslníky a inženýry investovat čas a úsilí do hledání nových řešení. V 19. století navíc došlo k velké revoluci s nástupem elektřiny, která zcela proměnila průmysl a později bydlení, dopravu i veřejný prostor. [1]

První elektrické vozidlo bylo vystaveno na průmyslové konferenci v roce 1835. Tento vůz britského vědce Roberta Andersona využívalo pouze jednorázovou baterii bez možnosti opětovného nabití. Velký zlom přišel s prvním sériově vyráběným elektromobilem, byl postaven Thomasem Parkerem v roce 1884, který používal jeho vlastní vyvinutou dobíjecí baterii. [2, 3]

Vozidla s elektrickým pohonem byla určena zejména pro vyšší třídy kvůli jejich vysoké ceně. Byly tiché, nevydávaly žádný zápach ani výpary, které by zašpinily obyvatele, jejich dojezd jim umožňoval pokrýt každodenní cesty a elektřina se začala dostávat do většiny světa. V Paříži již na počátku 20. století jezdily autobusy na baterie. Brzy byly uvedeny i v dalších městech, včetně Berlína, Londýna a New Yorku. Na přelomu století bylo pouze 22% vozidel na silnici poháněno fosilními palivy, 40 % bylo poháněno párou a 38 % (33 842 vozidel) všech vozidel na silnici byla elektrická vozidla. Počínaje rokem 1914 například společnost Detroit Taxicab and Transfer Company vybuďovala a provozovala flotilu téměř 100 elektrických taxíků. [4, 5]

Nicméně jak rychlý měly elektrovozidla nástup, tak počátkem 20. století začínaly ztrácet se svými vznikajícími rivaly se spalovacími motory. Ford přišel s Model T, který začal být mnohem dostupnější a stále levnější i právě díky nově zavedené pásové výrobě. Cena Modelu T byla v roce 1923 pod 300 dolarů a mnoho elektromobilů bylo 10krát dražších. V roce 1910 stála moderní baterie Detroit Electric (s Edisonovými nikl-železnými články) sama o sobě 600 dolarů a většina výrobců elektromobilů buď přešla na spalovací motory, nebo ukončila činnost. [6]

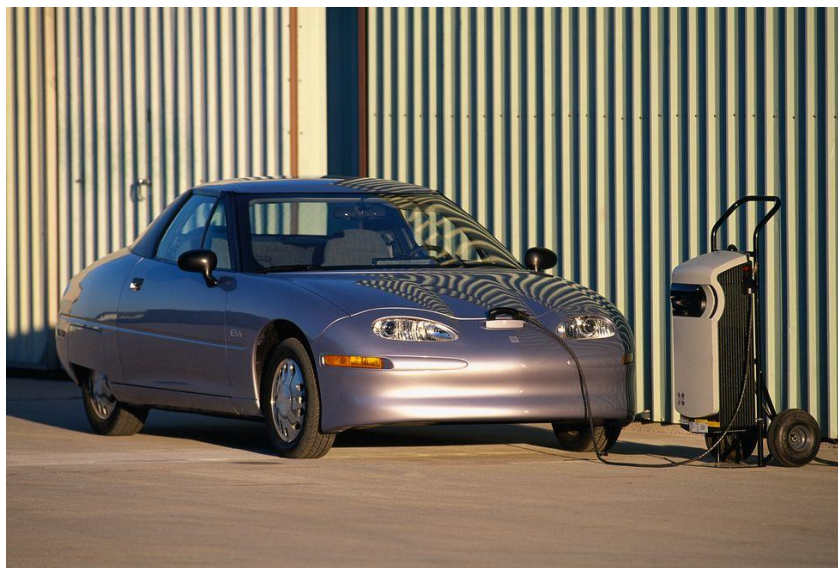
4.1.2 Návrat elektrických vozidel

Po druhé světové válce se objevil nový druh elektrických vozidel. Většinou šlo o upravené verze aut na fosilní paliva. Elektrovozidla té doby jako Henry Kilowatt z roku 1959, který používal podvozek a karoserii Renault Dauphine, a Lectric Leopard z let 1979-80, vyrobený US Electricar Corporation, založený na Renaultu 5. Cena ropy v 70. letech 20. století dosáhla nového maxima, pomyslným vrcholem se stalo arabské ropné embargo v roce 1973, čímž vzrostl zájem o snížení závislosti společnosti na ropě. Výrobci automobilů, kterými byl tento společenský posun pocíťován, začali zkoumat možnosti vozidel na alternativní paliva, včetně elektromobilů. Například General Motors vyvinul prototyp městského elektrické vozidla Electrovair (obr. 1), dokonce i NASA pomohla zvýšit povědomí o této technologii, když se jejich elektrický lunární rover stal prvním pilotovaným vozidlem na Měsíci. Elektrická vozidla však stále trpěla několika nevýhodami ve srovnání s vozy na spalovací pohon, včetně omezeného dojezdu, nízké maximální rychlosti, bezpečnosti, tudíž spotřebitelé o ně neměli zájem. [7]



Obr. 1 Elektromobil značky GM Eletrovair [8]

Jedním z nejpoblárnějších elektrovozidel byl Citicar, postavený v letech 1974 až 1976 společností Sebring-Vanguard Company na Floridě, který držel rekord v počtu vyrobených elektromobilů v USA (4 444), dokud jej nepřekonal Tesla Model S. Koncem 80. let v Kalifornii vznikla podmínka pro sedm hlavních výrobců automobilů prodávajících auta ve Spojených státech v podobě nutnosti výroby a prodeje vozidel s nulovými výfukovými emisemi, aby mohly pokračovat dále na trhu. To vše kvůli zvyšujícím se emisím a znečištění ovzduší. Na základě této podmínky vyvinula automobilka GM (General Motors) koncept Impact z něj poté vzniklo elektrovozidlo EV1 (obr. 2). Byl to první sériově vyráběný a účelově navržený elektrický vůz moderní éry od velké automobilky. Vůz bylo možné pořídit pouze na leasing. První generace se dočkala modernizace, zvýšení dojezdu díky olovným bateriím Panasonic na 240 km nicméně brzy poté byla výroba ukončena. Když Kalifornie po neustálém průmyslovém lobování ze strany výrobců automobilů zrušila přísný emisní požadavek. [9, 10]



Obr. 2 General Motors EV1 [11]

Zatímco všechny pokusy elektrických vozidel ve druhé polovině 20. století pomohly ukázat světu příslib této technologie, ke skutečnému průlomů elektrických vozidel došlo až na začátku 21. století. Jedna z událostí, které vyvolaly zájem o elektrická vozidla se stala v roce 2000, když Toyota oznámila model Prius a uvedla tak na trh první sériově vyráběný hybridní vůz na celém světě. Byl vybaven speciálně navrženým 1,5 litrovým benzínovým motorem VVT-i a elektromotorem spolu s baterií z nikel-metal hydrid článků Panasonic. Další událostí, která pomohla přetvořit elektrická vozidla, byla v roce 2006, kdy start-up ze Silicon Valley s názvem Tesla oznámil, že bude vyrábět luxusní elektrická vozidla s dojezdem přes 300 km na jedno nabití. V roce 2010 Tesla obdržela půjčku ve výši 465 milionů dolarů od Úřadu pro úvěrové programy ministerstva energetiky, kterou Tesla splatila o celých devět let dříve a využila ji na zřízení výrobního závodu v Kalifornii. Tento fakt výrazně přispěl k rychlému vývoji a následně se stala přední automobilkou v e-mobilitě tak jak je známa dnes. [12]

4.1.3 Vývoj baterií pro elektrovozidla

První baterie byla představena Alessandrem Voltou v roce 1801. Jednalo se o designově poměrně jednoduché řešení, které se skládalo z elementárních předmětů: tenký proužek mědi, lepenky a zinku, oddělený vlhkou kůží. Nicméně první elektromobily, které se objevily již na začátku 20. století, využívaly k pohonu olověné baterie. Hlavní nevýhodou

olověných baterií bylo, že by se nikdy neměly vybíjet pod 50 % a také je vyžadována pravidelná kontrola hladiny elektrolytu. Zároveň byly poměrně těžké a tvořily 35-50 % celkové hmotnosti elektromobilu. Životnost olověných baterií byla přibližně tři roky. První opravdový konkurent olověných akumulátorů přišel na přelomu 20 století v podobě nikl-camidové baterie (Ni-Cd) Waldemara Jungnera a Thomase Edisona které poté na dlouhou dobu představovaly jediný typ dobíjecí baterie. Ni-Cd baterie byly odolné vůči přebíjení, nadměrnému vybíjení se zlepšenou měrnou hustotou energie (Wh/kg) a delší životností, pokud byly správně udržovány. Nicméně přetrvávala vysoká míra samovybíjení, a především značné finanční náklady. Byly nabízeny jako volitelná vylepšení pro některá elektrická vozidla, např. jako Detroit Electric Model 47 (obr. 3). [9, 13, 14]



Obr. 3. Edisonova baterie s 54 nikl-železnými články, elektrovozidlo Detroit Electric Model 47 [15]

Později se objevila nikl-metal baterie. Měla lepší měrnou energetickou hustotu než olověné baterie, a navíc se u nich prokázala velmi dlouhá životnost. Baterie umístěná v prvních hybridních vozech Toyota RAV4. Výhodou oproti Ni-Cd byla absence paměťového efektu a jejich menší ekologická zátěž. Nevýhodou byla vysoká rychlost samovybíjení a špatné vlastnosti za chladného počasí. Poté byly vynalezeny baterie zvané Zebra (sodík-nikl-chloridová baterie). Pro jejich použití bylo nutné zahřát elektrolyt na 270 °C, která je nutná

pro chemickou reakci. Potřeba počátečního zahřátí byla nebezpečná. A hlavním problémem bylo udržet baterii nabitou.[14]

V roce 1979 byla poprvé představena lithium-iontová baterie, vyvinuta díky John B. Goodenough a Koichi Mizushim. Lithiový článek s 4 volty, který používal jako kladnou elektrodu oxid lithný a kobaltnatý. Problémy prvního prototypu byly především v teplotní citlivosti, jejich deformaci při vysoké teplotě, nízkém výkonu při nízkých teplotách a brzké degradaci. Nová generace lithium-iontových baterií obětovala část své energie a výkonu ve prospěch delší životnosti, ochrany životního prostředí, snížení rizika požáru a zvýšení rychlosti nabíjení. Díky tomu je možné je nabít za pár minut. Lithium-fosfátové baterie vydrží více než 10 let a 7 000 nabíjecích cyklů. Mezi lety 2008 a 2020 klesla cena bateriových sad o 80 %. Díky tomu se elektrická vozidla stala životaschopnou alternativou k autům poháněným fosilními palivy, zejména pokud vládní politika povzbuzovala spotřebitele k přechodu. Na trzích, kde taková politika platí, je posun k elektromobilitě značný. [14]

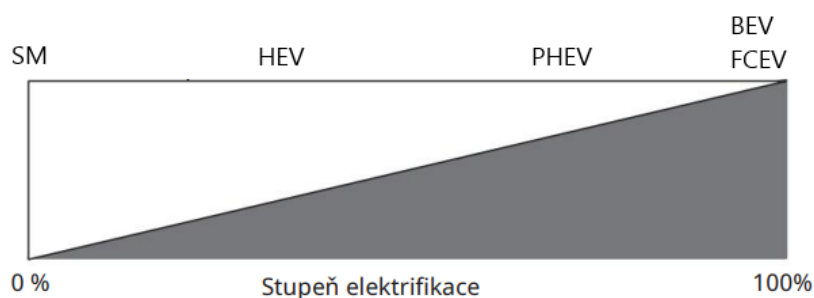
4.2 Elektrovozidla

Za elektrické vozidlo (EV) je obvykle označováno jakékoli vozidlo, které používá elektromotor poháněný elektřinou z baterií nebo palivového článku. Existují čtyři hlavní typy elektrických vozidel, klasifikovaných podle rozsahu, v jakém je elektřina využívána jako zdroj energie, a to bateriová elektrická vozidla (BEV), plug-in hybridní elektrická vozidla (PHEV), hybridní elektrická vozidla (HEV) a elektrická vozidla s palivovými články (FCEV). [16]

Primární výhody elektrických vozidel jsou: snížená spotřeba, závislost na fosilních palivech, s tím i emise CO₂, a snížené znečištění a hladina hluku ve městech. Integrace elektrického vozidla může být navíc zjednodušena, protože není potřeba žádná mechanická spojení mezi elektrickým pohonným systémem a baterií. Další výhodou je schopnost rekuperace brzděné energie, což je volná energie, která je využívána v celkových strategiích energetického managementu vozidla. [17]

4.2.1 Druhy elektrovozidel

Elektrická vozidla mohou mít různé stupně elektrifikace. Pro jednotlivé typy je určitá část energie spotřebovávána v podobě elektrické a zbytek ze spalovacího motoru (SM), jak je znázorněno na (obr.4). [17]

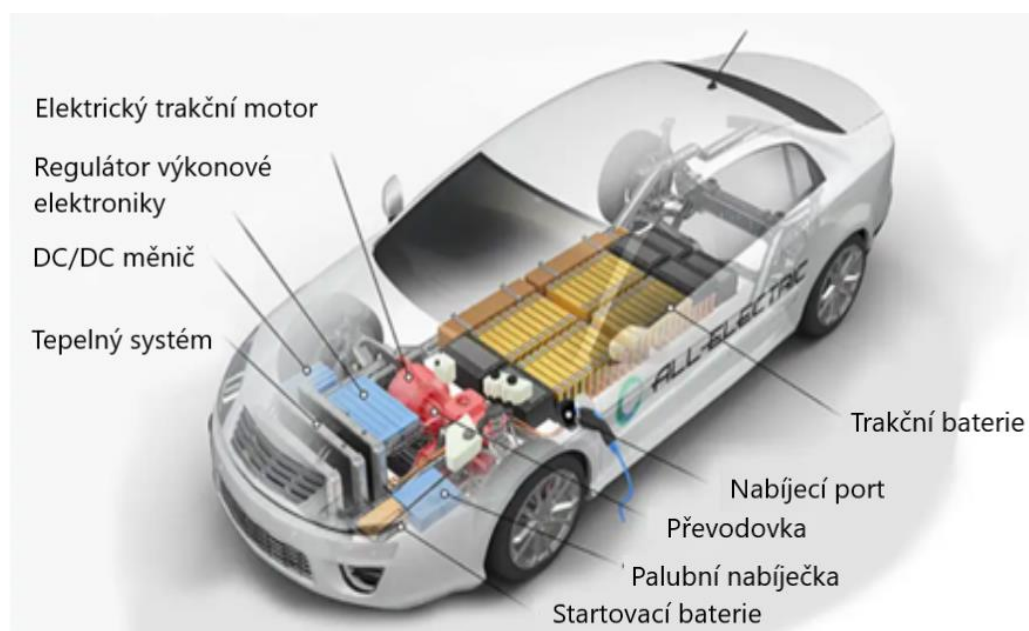


Obr. 4 Stupeň elektrifikace pro různé druhy vozidel [17]

a) Bateriová elektrická vozidla (BEV)

Označována také jako plně elektrická vozidla, která jezdí výhradně na elektřinu bez spalovacího motoru. BEV jsou vybaveny jedním nebo více elektromotory, energie potřebná k pohonu elektromotoru je brána z trakční baterie. Většina dnešních BEV využívá lithiové baterie, jejich dobíjení lze realizovat několika způsoby od domácí zásuvky 230 V, z wallboxu, ale i veřejných dobíjecích stanic nebo pomocí rekuperace. Na jedno dobití jsou schopná ujet 300 až 500 kilometrů. Vzhledem k tomu, že vozidlo je poháněno na elektřinu, nevypouští žádné výfukové plyny z výfuku a neobsahuje typické součásti na kapalná paliva, jako je palivové čerpadlo, palivové potrubí nebo palivová nádrž. [18–20]

Klíčové součásti plně elektrického vozidla BEV jsou zobrazeny na obr.5:



Obr. 5 Schéma klíčových komponentů BEV [18]

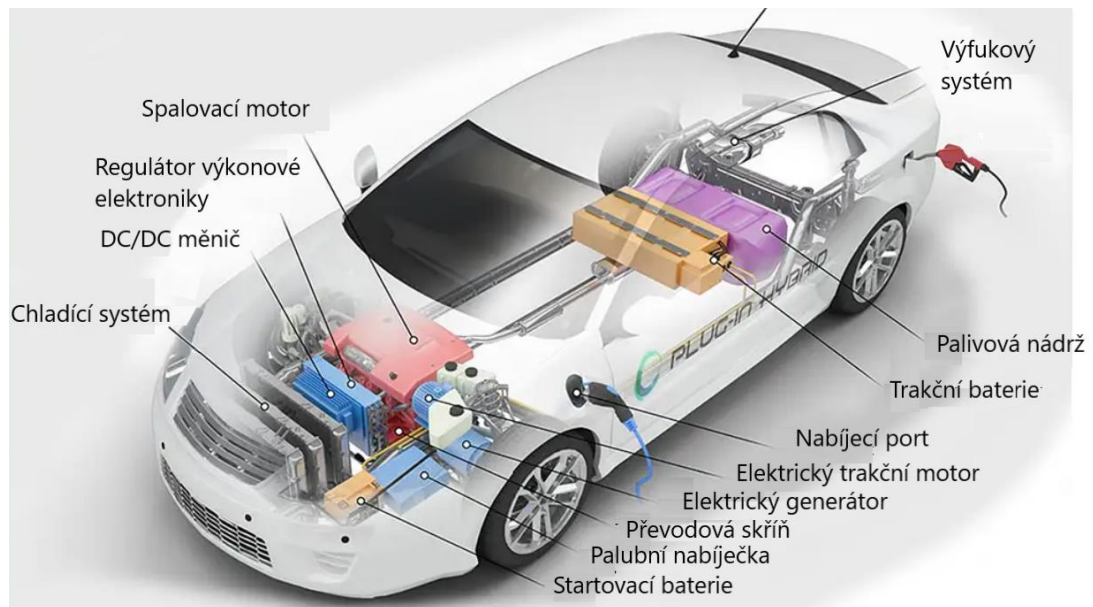
BEV jsou energeticky účinná, je přeměňováno 80 % energie na pohyb vozu. Oproti tomu u aut se spalovacím motorem dochází k energetické účinnosti jen asi z 20 %, zbývajících 80% energetického vstupu je přeměněno na teplo. Další výhodou je tichý provoz, protože nedochází k hluku od spalovacího prostoru a také nulové výfukové emise. Naopak jako jedna z nevýhod je doba nabíjení, která může trvat od 30 minut po několik hodin v závislosti na kapacitě baterie a dobíjecím výkonu a vyšší pořizovací cena. Příklady současných bateriových elektrických vozidel: Audi e-tron, BMW i3, Hyundai Kona, Tesla Model 3, Škoda Enyaq, Volvo XC40. [18, 20]

b) Plug-in hybridní elektrická vozidla (PHEV)

Je používána trakční baterií k napájení elektromotoru a palivo k pohonu spalovacího motoru. Trakční baterii lze nabíjet pomocí rekuperace nebo externího nabíjecího portu připojeného k externímu zdroji. Dojezd vozidla čistě na energii uloženou v trakční baterii činí od 20 do 80 kilometrů v závislosti na kapacitě baterie. Vozidlo se obvykle provozuje v režimu na elektrický pohon, dokud není baterie téměř vybitá, a poté se auto automaticky přepne na

používání spalovacího motoru a může ujet dalších několik stovek kilometrů na nádrž paliva. To výrazně snižuje spotřebu paliva a vnikající emise, zejména na krátkých trasách. PHEV není provozně závislé na elektrické energii v trakční baterii, tudíž když není k dispozici, může jezdit pouze na palivo z nádrže. Všechny typy PHEV vozidel lze nabíjet ze zásuvky 230V, wallboxů nebo veřejně dobíjecích stanic. Příklady současných hybridních elektrických vozidel PHEV: Toyota Prius, Škoda Octavia iV, Audi A7 TFSIe, Mercedes C300e, Hyundai Sonata. [18, 19, 21]

Klíčové součásti plně elektrického vozidla PHEV jsou zobrazeny na obr.6:



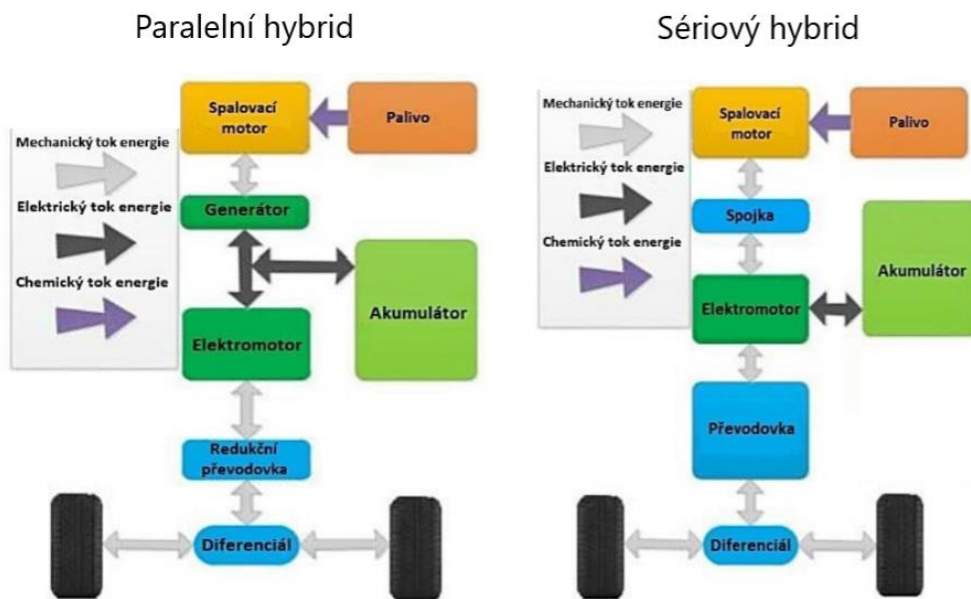
Obr. 6 Schéma klíčových komponentů PHEV [18]

Výhodou jsou nulové emise výfukových plynů při provozu PHEV vozidla v elektrickém režimu jízdy, z toho plynoucí ekologický a úsporný provoz. Jako zvýhodnění lze považovat bezplatný vjezd do center některých měst, která jinak vybírají mýtné nebo prominutí dálničních či parkovacích poplatků. Na druhou stranu nevýhodou je často vyšší pořizovací cena, drahé náklady na údržbu, zejména při výměně trakční baterie. [22]

c) Hybridní elektrická vozidla (HEV)

Jsou poháněny spalovacím motorem a jedním nebo více elektromotory, které využívají energii uloženou v trakční baterii. Veškerá energie pro baterii je získávána prostřednictvím spalovacího motoru a rekuperačního brzdění, které vrací jinak ztracenou energii do baterie a pomáhá spalovacímu motoru při akceleraci. V tradičním vozidle se spalovacím motorem se tato brzdná energie normálně ztrácí v podobě tepla na brzdových destičkách a rotorech. HEV nedisponují nabíjecím portem, nemohou tedy dobíjet trakční baterii z externího zdroje. Extra výkon poskytovaný elektromotorem může potenciálně umožnit menší motor. Baterie může také napájet pomocné zátěže a snížit volnoběh motoru při zastavení. Společně tyto vlastnosti vedou k menší spotřebě paliva bez snížení výkonu. Hybridní elektrická vozidla se dělí do několika podskupin podle dvou kritérií, uspořádání hnacího ústrojí a stupně hybridizace. [18, 19, 23]

Podle uspořádání hnacího ústrojí existují různé způsoby, jak může HEV kombinovat výkon elektromotoru a spalovacího motoru. Nejběžnějším typem je paralelní hybrid (obr. 7), který je poháněn jak spalovacím motorem, tak elektromotorem spojeným s mechanickou převodovkou. Rozdělení výkonu mezi elektromotorem a spalovacím motorem je různé, takže oba se provozují co nejvíce ve své optimální provozní oblasti. V paralelním hybridu není žádný samostatný generátor. Kdykoli je potřeba provoz generátoru, motor funguje jako generátor. V paralelním mild-hybridu nemůže vozidlo nikdy jezdit v čistě elektrickém režimu. Elektromotor se zapíná pouze v případě, že je potřeba dočasně zvýšit výkon vozidla. [18, 24]

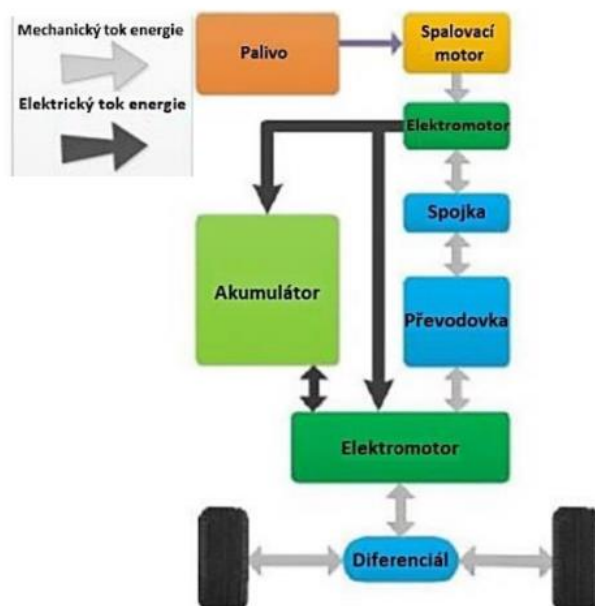


Obr. 7 Schéma paralelního a sériového pohonu hybridních vozidel [25]

Sériové hybridy (obr.7) jako další druh HEV se svým designem podobné jako bateriové elektrické vozidlo (BEV). Zde spalovací motor pohání elektrický generátor namísto přímého pohonu kol. Generátor nabíjí baterii a pohání elektromotor, který pohání vozidlo. Když je potřeba velké množství energie, elektromotor odebírá elektřinu z baterie i generátoru. Sériové hybridy mohou být také označovány jako elektrická vozidla s prodlouženým dojezdem (EREV) nebo (REEV). Mezi moderní příklady se řadí Cadillac ELR, Chevrolet Volt. [24]

K dispozici jsou také sériově paralelní hybridy (obr.8), kde vozidlo může být poháněno jen spalovacím motorem, samotným elektromotorem nebo oběma jednotkami pracujícími společně. Rozdělení výkonu mezi spalovacím motorem a elektromotorem je navrženo tak, aby motory mohly pracovat v co nejvíce optimálním provozním rozsahu. [24]

Séριο-paralelní hybrid



Obr. 8 Schéma sériově paralelního pohonu hybridních vozidel [25]

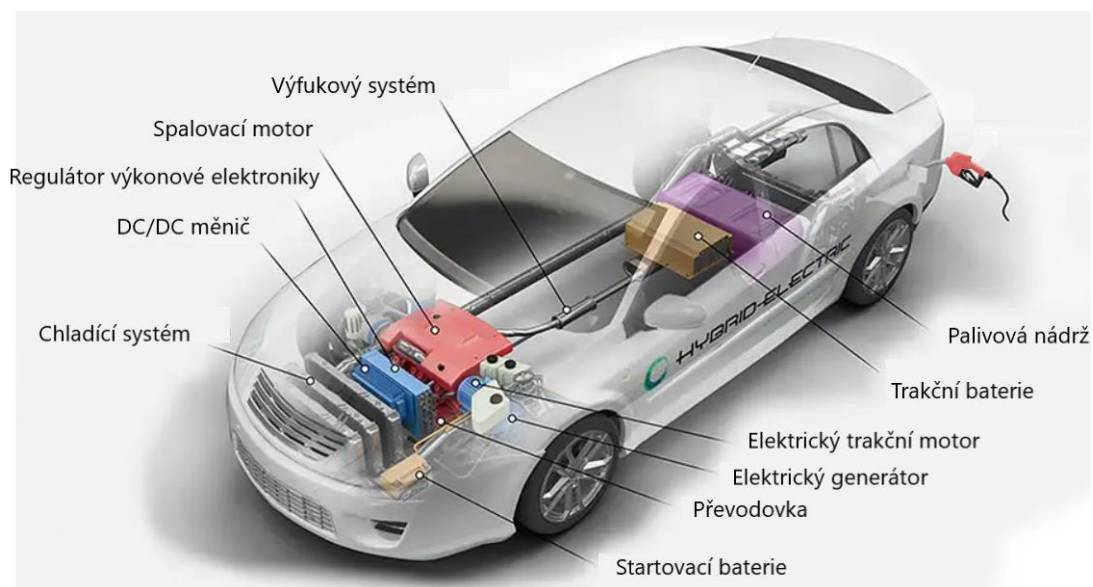
Podle stupně hybridizace lze rozdělit do několika skupin. Nejběžnější mikro hybrid, je považováno každé vozidlo vybavené systémem start-stop. Zpočátku manuální systém, nyní plně automatický, vypíná motor, když vozidlo stojí. Motor je startován automaticky uvolněním brzdy a sešlápnutím pedálu plynu nebo spojky v závislosti na typu převodovky, jen tímto systémem byly vybaveny micro hybridy první generace, u následující byla přidána funkce částečné rekuperace brzděné energie, která se jinak přeměňuje a ztrácí jako teplo během brzdění vozidla. Tato energie je přiváděna zpět do nabíjecího systému k dobíjení baterie. Jedná se o nejjednodušší stupeň hybridizace a jde spíše o marketinkový tah výrobců automobilů. Vozidlo je poháněno výhradně spalovacím motorem. Úroveň úspory paliva je velmi nízká. Příklady mikro hybridů jsou dnes BMW řady 1 a 3, Fiat 500, Peugeot Citroen C3, Ford Focus a Transit a Mercedes-Benz třídy A. [26–28]

Na rozdíl od předchozího druhu mild hybridy (MHEV) mají v systému pohonu elektromotor, ten však není určen k výkonu funkce hlavní pohonné jednotky nýbrž pouze dočasně zvyšuje výkon vozidla, například při akceleraci, nelze tedy vozidlo pohánět jen elektrickým pohonem. Kromě obvyklé 12 V baterie mají mild hybridy také 48 V baterii. Díky vyššímu

napětí baterie může mild hybrid rekuperovat více brzdné energie než mikro hybrid. Vozidla s mírným hybridním pohonem spotřebují až o 15 % méně paliva než vozy s konvenčními spalovacími motory. Mezi příklady mild HEV na trhu je uvedeno BMW řady 7 ActiveHybrid, Chevrolet Malibu eAssist, Honda Civic Hybrid a Mercedes-Benz S400 BlueHybrid. [28, 29]

U plně hybridního vozidla (FHEV) spolupracuje elektromotor a spalovací motor flexibilně, tím je umožněna jízda čistě na elektřinu, ale obvykle pouze na krátké vzdálenosti o délce několika kilometrů. Na rozdíl od mild hybridů nemají full hybridy přídavnou 48 V baterii, ale mají vysokonapěťovou trakční baterii s několika stovkami voltů. Výkon elektromotoru je také vyšší než u mild hybridu. Úspora paliva je možná o více než 20 % ve srovnání s vozidlem vybaveným čistě spalovacím motorem. Příklady full hybridů i jsou dnes Chevrolet Tahoe Hybrid, Toyota Prius a Camry Hybrid, Ford C-Max, Honda CR-Z a Kia Optima Hybrid.[28, 29]

Klíčové součásti hybridního elektrického vozidla HEV jsou zobrazeny na obr.9:



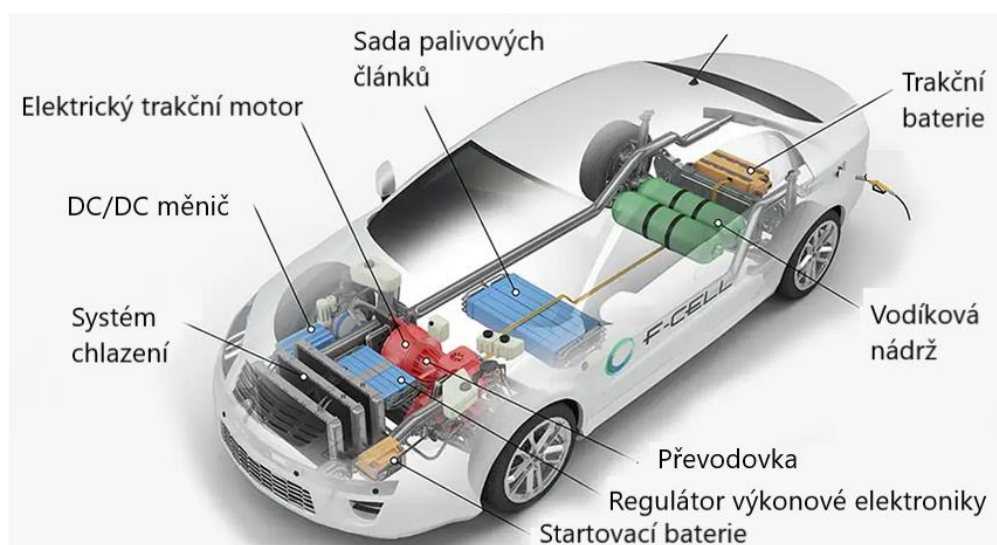
Obr. 9 Schéma klíčových komponentů HEV [18]

Jednou z výhod hybridních elektrických vozidel je úspora paliva, snížená závislost na fosilních palivech spolu s menšími emisemi oxidu uhličitého. Dále za výhodu lze považovat zvýšení výkonu vozidla pomocí elektromotoru, rekuperační brzdění, které dobíjí baterii. Na druhé straně nevýhodou je vysoká pořizovací cena, nákladná údržba vozu díky složitosti systému. Kvůli závislosti na spalovacím motoru, stálá produkce oxidu uhličitého. [30]

d) Elektrická vozidla s palivovými články (FCEV)

Stejně jako u bateriových elektrických vozidel (BEV) tak u elektrických vozidel s palivovými články (FCEV) je využívána elektrická energie k pohonu elektromotoru. Na rozdíl od jiných elektrických vozidel je elektrická energie pro pohon vozidla vyráběna pomocí palivového článku, poháněného vodíkem, který je čerpán z nádrží uložených v zadní části vozu. Palivový článek se skládá ze dvou elektrod a membrány. Kladně nabitým molekulám vodíku je umožněno pronikat přes membránu. Dále tyto protony vodíku jsou slučovány s atomy kyslíku a měněny na vodu, elektrony převedeny do elektrického obvodu, čímž dochází ke vzniku elektrického proudu potřebného k pohonu vozidla. U vodíkových automobilů není na rozdíl od hybridních použit spalovací motor. Elektrická vozidla s palivovými články jsou vybaveny vodíkovou nádrží, kde je ukládán čistý vodík, nádrž může být dotankována během několika minut, podobně jako u konvenčních vozidel se spalovacími motory. FCEV mohou dosahovat dojezdu přibližně 500 km na jednu nádrž čistého vodíku. Je také využita technologie rekuperačního brzdění, získaná energie je uložena ve vysokonapěťových bateriích. Příklady elektrických vozidel s palivovými články: Toyota Mirai, BMW iX5, Honda Clarity, Hyundai Nexo, Kia FK, Range Rover FCEV. [18, 19, 31]

Klíčové součásti hybridního elektrického vozidla HEV jsou zobrazeny na obr.10:



Obr. 10 Schéma klíčových komponentů FCEV [18]

Výhodou elektromobilů s palivovými články jsou nulové emise oxidu uhličitého ve srovnání s konvenčními vozy, další výhodou je snížená závislost na fosilních palivech a časově rychlé naplnění vodíkové nádrže podobné konvenčním vozům se na spalovací motory. Naopak řada nevýhod jako je vysoká pořizovací cena, nedostatečná infrastruktura vodíkových čerpacích stanic, s tím související obtížná přeprava, skladování vodíku a neekologická výroba tohoto prvku, která vzniká na fosilních palivech, dělají tato vozidla méně dostupná. [22]

Dále je v tab. 1 shrnuto porovnání typů elektrických vozidel:

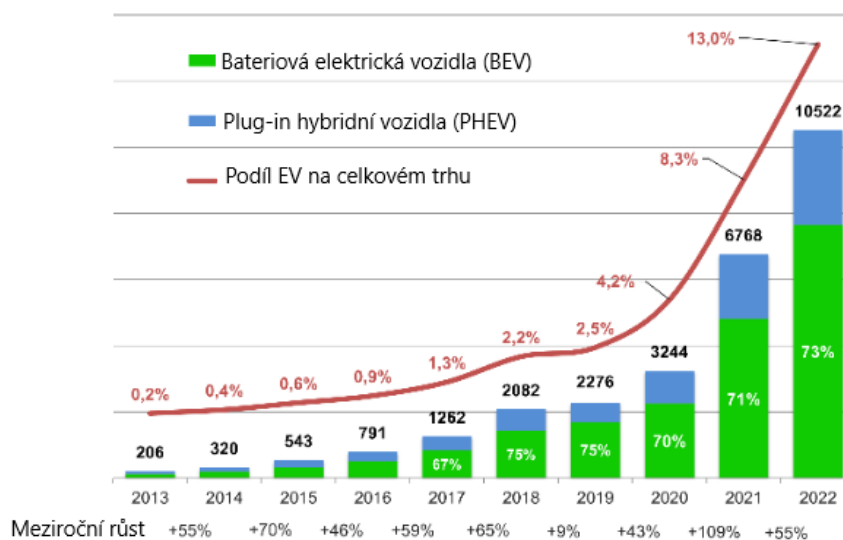
Tab. 1 Porovnání druhů elektrických vozidel

	BEV	PHEV	HEV	FCEV
Pohonná jednotka	Elektromotor	Spalovací motor, elektromotor	Spalovací motor, elektromotor	Elektromotor
Zdroj energie	Elektrická energie	Fosilní paliva, elektrická energie	Fosilní paliva, elektrická energie	Vodík
Výfukové mise	Ne	Ano	Ano	Ne
Nabíjecí port	Ano	Ano	Ne	Ne
Stanice pro nabíjení	Nabíjecí stanice	Nabíjecí, čerpací stanice	Čerpací stanice	Čerpací stanice

4.3 Vývoj počtu registrovaných elektrovozidel

4.3.1 Celosvětový vývoj počtu registrovaných elektrovozidel

Z globálního pohledu na trh s elektrickými vozidly byl zaznamenán v posledním desetiletí obrovský skok vpřed a očekává se, že tento trend bude exponenciálně zrychlovat. V roce 2013 se po celém světě prodalo kolem 206 000 elektrických vozidel (EV). O 10 let později v roce 2022 se toto číslo zvýšilo na 10,5 milionů vozidel BEV a PHEV, což činí meziroční nárůst o 55 % ve srovnání s rokem 2021. Na automobilových trzích je stále zvyšován podíl EV k roku 2022 činil 13 % z toho 9,5 % BEV a 3,5 PHEV (Graf.1). [32, 33]



Graf. 1 Globální přehled prodeje BEV, PHEV uvedený v tisících [32]

Regionální model růstu se však mění. Po 2 letech strmého nárůstu prodeje v Evropě během roku 2022 byl oproti předchozímu roku pro elektromobily získán nárůst pouze o 15%. Celkově slabé trhy s vozidly a přetrvávající nedostatek součástek si vybraly svou daň, kterou ještě zhoršila válka na Ukrajině. Čínou jakožto po několik let nejsilnější trh s EV, za minulý rok bylo dosaženo vzrůstu o dalších 82 %. Navíc čínskou automobilkou BYD došlo na více než ztrojnásobnění prodeje na 1,85 milionu kusů, což z ní dělá číslo 1 v celosvětovém žebříčku prodeje, pokud se započítají jejich prodeje 944 500 PHEV. Pokud jsou počítány pouze BEV, Tesla je stále umístěna s velkým náskokem 1,31 milionu kusů dodaných v roce 2022. Prodej FCEV zůstává pro elektrifikaci lehkých vozidel irelevantní, jejich počty za

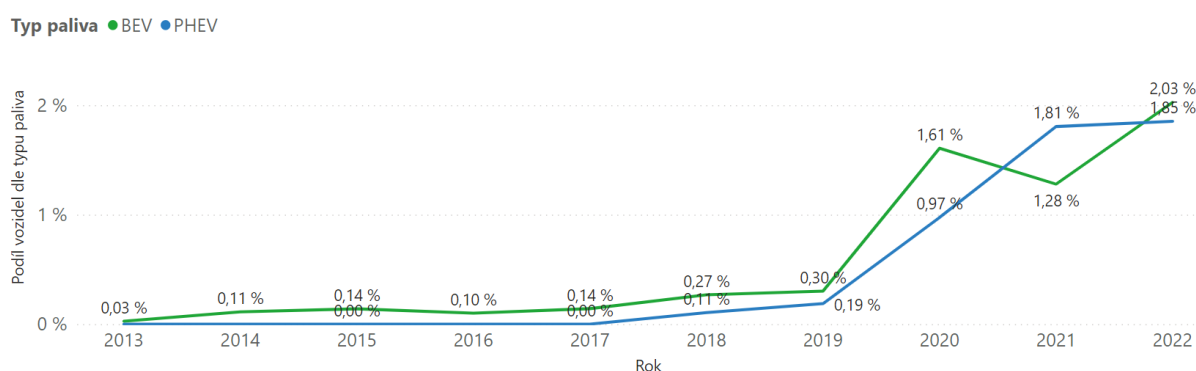
posledních pět let spíše stagnují a s 15 400 kusy v roce 2022, je jimi tvořen jen 0,02 % celosvětového počtu EV. [32, 33]

Za celý rok 2023 se očekává prodej 14,3 milionů EV, což je nárůst o 36 % oproti roku 2022, přičemž BEV dosáhne 11 milionů vozidel a PHEV 3,3 milionů vozidel. Do konce roku 2023 se očekává, že bude v provozu 40 milionů EV, z toho 73 % budou BEV a 27 % PHEV.

Z dlouhodobého časového hlediska při scénáři k 100 % celosvětovému prodeji vozidel s nulovými emisemi v roce 2045, by měl dosáhnout celkový počet BEV v provozu 1,1 miliardy. Očekává se, že v mnoha rozvinutých zemích bude podíl prodeje EV výrazně přesahovat 80 %. [34]

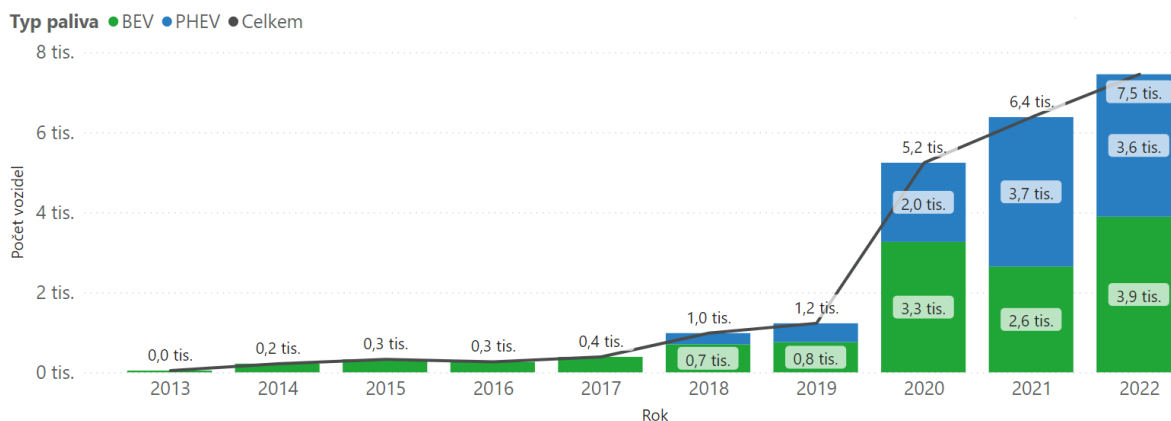
4.3.2 Vývoj počtu registrovaných elektrovozidel v ČR

Z pohledu vývoje počtu registrovaných elektrovozidel v ČR byl zaznamenán v posledním desetiletí posun vpřed a očekává se, že tento trend bude nadále zrychlovat, nicméně při srovnání s globálním růstem je řazen dosavadní vývoj registrovaných EV v ČR spíše do skupiny s pomaleji se rozvíjející elektrifikací vozového parku. To lze usuzovat z vývoje podílu registrací nových vozidel, kdy EV se podílí necelými 4 % všech registrovaných vozidel, z toho 2,03 % BEV a 1,85 % PHEV (Graf. 2), při srovnání s globálním měřítkem kde 13 % odpovídá nově registrovaným EV na trhu. [35, 36]



Graf. 2 Vývoj registrací EV v ČR [35]

Zlomovým bodem byl rok 2020 kdy došlo k akceleraci nárustu registrací EV oproti předchozímu roku, a to až pětinasobně (Graf. 3).



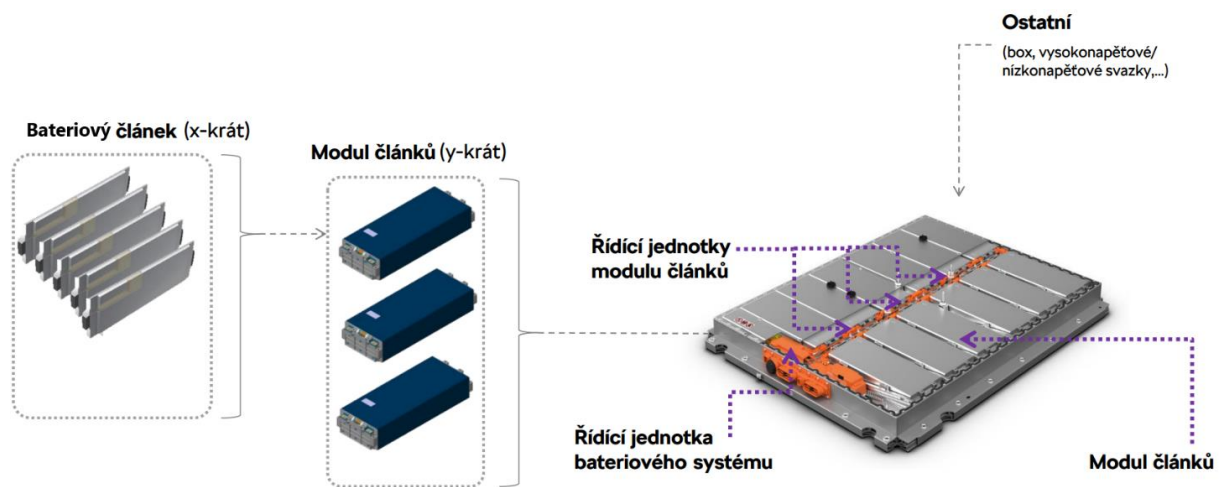
Graf. 3 Vývoj registrací nových BEV, PHEV [35]

Ke konci roku 2022 bylo v ČR registrováno 7 500 EV z toho 3 900 BEV a 3 600 PHEV elektromobilů, což je nárůst o 900 elektrických vozidel s předchozím rokem a také úbytek registrovaných PHEV o 1000 vozidel. Z celkového počtu nových registrací EV tvořila ojetá vozidla 25 % očekává se, že tento trend se bude postupně zvyšovat, hlavně v kategorii ostatní a fyzické osoby, které představují 33 % registrovaných EV, zbylých 77 % je registrováno na firmy. Vozidly typu FCEV, v kterých je využívána vodíková technologie, je tvořeno zanedbatelné procento celkových registrací EV v ČR. Dlouhodobě s nejvíce registrovanými EV je na první pozici Škoda Auto následovaná koncernovým Volkswagenem, Mercedes, BMW, Hyundai a na šesté pozici Tesla. Nicméně při srovnání pouze BEV je Tesla posunuta na třetí pozici, jinak pořadí zůstává neměnné. [35, 36]

4.4 Bateriové systémy v elektromobilích

Různá vozidla mají různé potřeby a tím odpovídající požadavky na baterii. Nelze vyrobit baterii, která by splňovala všechny funkční a provozní požadavky všech typů elektromobilů. Z hlediska vozidla by baterie měla být schopna dodávat a přijímat elektrickou energii podle podmínek použití, ale také být spolehlivá, mít dlouhou životnost, vyžadovat minimální servis a údržbu. Také konstrukce a druh použité technologie baterie je ovlivněn výkonem vozidla. [16, 37, 38]

Bateriový systém je složen z bloku modulů článků, řídicích jednotek BMS, úložné konstrukce v podobě boxu a vysokonapěťové či nízkonapěťové svazky kabeláže (obr.11). Samotné moduly jsou složeny z bateriových článků. Jednotlivé moduly mohou být odlišovány nejen podle tvaru článků (Válcové, Prismatické, „Pouch“) a použité technologie článku (olověné, nikel-metal hydridové – NiMH, lithiové), ale také různou architekturou zapojení, a to buď sériově, paralelně nebo sério-paralelně. [16]



Obr. 11 Schéma složení bateriového systému [39]

4.4.1 Systém správy baterií (BMS)

Pod pojmem baterie je uloženo více než jen samotné články. Aby baterie bezpečně plnila funkci ve vozidle, musí obsahovat řídicí jednotku. Jedná se o technologický systém, který je navržen tak, aby byla maximalizována životnost baterie elektrického vozidla a plně využity její vlastnosti. Důrazně je doporučováno, aby ve všech elektrických vozidlech napájených bateriemi byla instalována jednotka BMS. Cílem je zajistit, aby baterie plnila svou funkci v ideálních provozních parametrech. Některé použité technologie baterií, jako je olověná kyselina, jsou celkem tolerantní vůči nesprávnému použití, ale lithium i NiMH články mohou být trvale poškozeny nesprávným používáním, jako je nadměrné nabíjení, nadměrné vybíjení nebo přehřátí. Instalací BMS jsou tyto důležité parametry hlídány a tím je baterie provozována v optimálních provozních podmínkách. [40, 41]

Funkce systému správy baterie BMS jsou určeny pro vyvažování nabíjení, aby se zajistilo, že všechny články baterie dokončují nabíjení na předem danou vypínací hodnotu napětí, čímž se zabrání poškození přebíjením. Jednou z nejdůležitějších funkcí se stává monitorování teploty, aby se zabránilo poškození v důsledku přehřátí. Stejné principy jako při nabíjení jsou uplatňovány i při vybíjení. Když kterýmkoli článkem je dosaženo doporučeného minimálního napětí, jednotkou BMS je tento stav rozpoznán a vybíjení článku pod danou mez není umožněno, tím se zabraňuje poškození v důsledku nadměrného vybití. Dále je sledován stav nabití (SOC) všech bateriových článků pro elektromobily. Prostřednictvím monitorování napětí a proudu se vypočítává zbývající kapacita každého článku. [40, 41]

4.4.2 Základní parametry baterií pro elektrická vozidla

Výdrž baterie:

Tento parametr je zásadní pro dojezd elektrovozidla. Čím nižší je výdrž udávaná výrobcem, tím je dán kratší dojezd elektrovozidla. Výdrž baterie je obvykle vyjadřována ve watt hodinách (Wh) nebo kilowatt hodinách (kWh). Tedy po časový úsek jedné hodiny, jaký maximální výkon je baterií schopno dodávat. [42]

Kapacita baterie:

Tento parametr souvisí s výdrží baterie, nicméně je udáván v ampér hodinách (Ah), převodní vztah mezi kapacitou a baterií dle vzorce (4.4): [42]

$$Kapacita (Ah) = \frac{Výdrž (Wh)}{Jmenovité napětí (V)} \quad (4.4)$$

Specifická hustota energie:

Jedno z klíčových měřítek pro baterie EV. Je jím představováno, kolik energie baterie obsahuje v poměru k její hmotnosti. Obvykle se uvádí ve wathodinách na kilogram (Wh/kg). [43]

Stav nabití – SOC:

Tímto stavem je dokazováno množství elektrického náboje zbývajících v baterii. Je vyjadřován jako procento, které se pohybuje od 0 % do 100 % v závislosti na úrovni nabití. Při pohledu na indikátor stavu nabití je uživatelem rozpoznáno, kdy je třeba baterii dobít. SOC je úzce svázána s kapacitou baterie a může být také určena jako poměr zbývajících kapacity k jmenovité nebo maximální kapacitě stanovené výrobcem. [44, 45]

Stav zdravý – SOH:

S přibývajícím časem je každá baterie podrobena stárnutí a degradaci, v důsledku toho klesá SOH pod svou počáteční úroveň. Stará baterie se špatným SOH je vybita mnohem rychleji než nová baterie. Je to důsledek poklesu jmenovité kapacity, ke kterému dochází v průběhu času. Přesný odhad zdravotního stavu baterie může poskytnout včasné varování před zhoršením stavu a nutností výměny baterie. Je definován jako poměr maximálního nabití baterie k její jmenovité kapacitě a je vyjádřen v procentech. [44, 45]

Hloubka vybití – DOD:

Je definován jako poměr množství náboje vybitého z baterie ku celkovému množství nabití, které lze uložit do této baterie, obvykle vyjádřeno v procentech. [44]

4.4.3 Struktura zapojení

a) Sériové zapojení

Pokud je připojen kladný (+) pól článku k zápornému (-) a záporný pól ke kladnému pólu, jak je znázorněno na obr. 12 níže, konfigurace článků by byla v sérii. [46, 47]



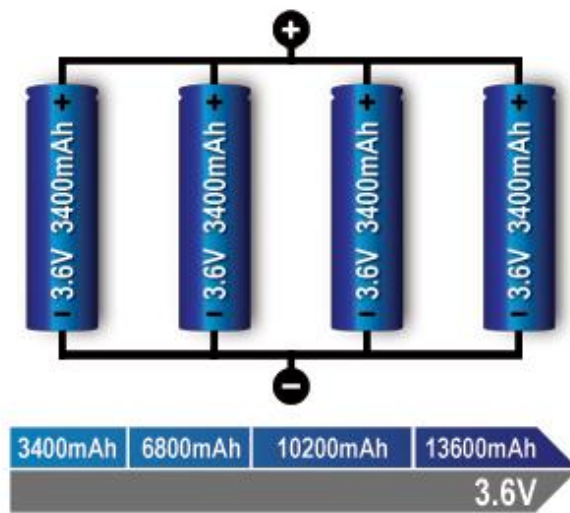
Obr. 12 Sériové zapojení čtyř článků (4S) [47]

Při zapojení dvou nebo více článků dohromady, se zvyšuje napětí celého systému, ale při zachování stejné kapacity ampérhodinového hodnocení. U sériových zapojení

je důležité, aby každá články byl stejného jmenovitého napětí a kapacity, jinak může dojít k poškození článků. [46, 47]

b) Paralelní zapojení

Pokud je připojen kladný pól (+) článku ke kladnému pólu a záporný pól (-) k zápornému pólu. Pak by konfigurace baterií byla paralelní (obr.13). U paralelního zapojení článků se zvyšuje kapacita [Ah] a je prodloužena doba, po kterou je umožněno napájení zařízení, zatímco napětí zůstává stejné. [46, 47]



Obr. 13 Paralelní zapojení čtyř článků (4P) [47]

c) Sériově paralelní zapojení

Pokud jsou zapojeny dva páry dvou článků do série a poté tyto sériově zapojené články zapojené paralelně, pak by se tato konfigurace baterií nazývala sériově paralelní zapojení baterií (obr.14). Tímto konceptem je umožněna flexibilita návrhu a je dosahováno požadovaného jmenovitého napětí a proudu.[46, 47]

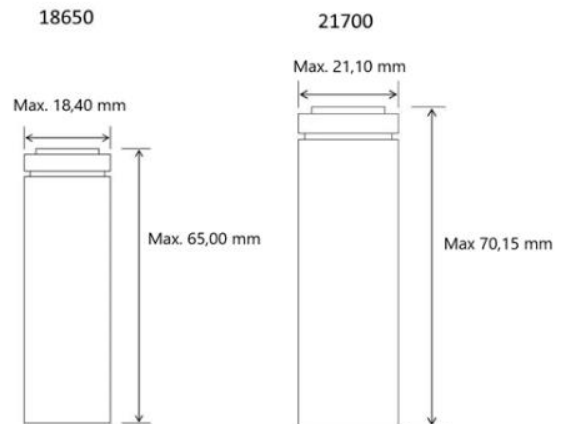
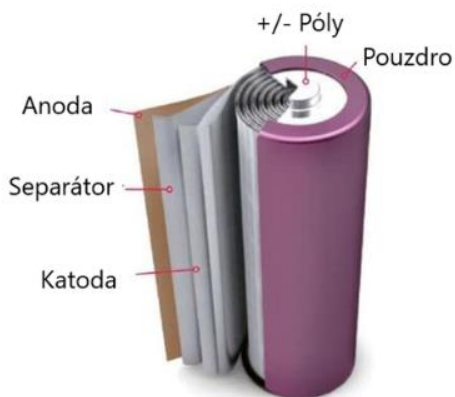


Obr. 14 Sériově paralelní zapojení čtyř článků (2s2p) [47]

4.4.4 Typy článků baterií elektrovozidel dle konstrukce

a) Válcová konstrukce

Tento válcový tvar je složen z anody, katody separátoru a pouzdra, s vývodem kladného pólu na jedné straně a záporného na druhé (obr.15), běžně o kapacitě kolem 4 Ah.



Obr. 15 Design válcového článku [48]

Obr. 16 Válcové články 18650 a 21700 [49]

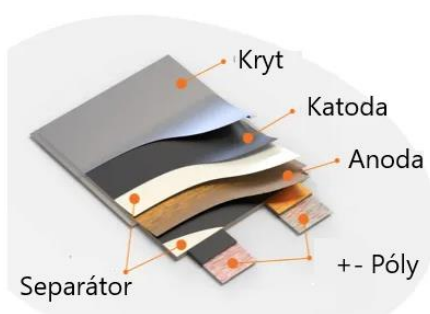
Tvar vysokého cylindrického válce je typický pro formy baterie označované jako 18 650 a 21 700 (obr.16). Toto číselné označení není náhodné a je za ním skryto průměr baterie, tedy 18 milimetrů a délka 650 milimetrů. [49]

Jelikož se jedná o standardizovaný tvar článku, je často využíván v automobilovém průmyslu v sadě bateriových modulů, pro jeho zaměnitelnost, tedy když články od jednoho výrobce již nejsou k dispozici je umožněno použít články od jiného, nebo je umožněno použití kombinace článků od různých výrobců, což není umožněno u dalších dvou typů

článků. Další z výhod se jeví obecně nižší cena, z důvodu velkokapacitní výroby. Na druhou stranu díky válcovému tvaru je odvod tepla obtížnější než u jiných forem. Také uspořádání v bateriovém modulu je nevhodné a vznikají mezi články mezery, nezbytné právě z důvodu kruhového tvaru, tímto je snižováno množství hustoty energie v objemovém prostoru. Těchto článků je využito například v elektromobilech Tesla. [48–50]

b) „Pouch“ konstrukce

Jde o poměrně tenkou konstrukci článku, kde je několik vrstev anod a katod naskládaných na sebe s kladným i záporným pólem na jedné straně (obr.17) nebo s kladným pólem na jedné a záporným na druhé straně o kapacitě článku kolem 20 Ah. [51]

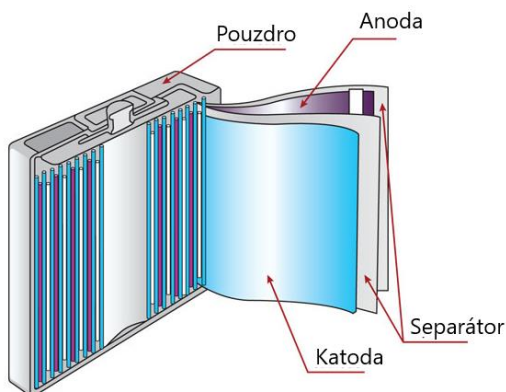


Obr. 17 Design „Pouch“ článku [51]

Obecně jedna z výhod této konstrukce článku je mírně vyšší hustota energie a také vyšší dosažitelná hustota energie v modulovém uspořádání. Výhoda je dána obdélníkovým tvarem což umožňuje montáž článků dohromady bez zbytečných mezer, jak je tomu u válcových článků. Dále je mnohem jednodušší odvod tepla z článku, například mezi několika na sebe naskládaných článků lze vložit chladicí žebra, desky, aby došlo k odvodu tepla. Na druhou stranu tento typ článků není rozměrově standardizován, takže i při stejné kapacitě článku je rozměrem často odlišný. Další nevýhodou je změna tloušťky článku v průběhu nabíjení, vybíjení v závislosti na životním cyklu, se kterou je třeba počítat při návrhu architektury modulu.[51, 52]

c) Prismatická konstrukce

Tvarově kvádrovité články jsou vybaveny mnohem větší kapacitou kolem 96 Ah než válcové, ale i „Pouch“ články, zejména díky svým větším rozměrům. Oba póly se nacházejí na horní straně článku. Oproti válcovým článkům se nejedná o standardizovaný rozměr a jsou navrhovány výrobcí nezávisle na sobě. Jeho obdélníkový tvar umožňuje efektivní ukládání více jednotek v bateriovém modulu. Prismatické články se používají především v systémech skladování energie a elektrických vozidlech. Jejich větší velikost z nich dělá špatné kandidáty pro menší zařízení, jako jsou elektrokola a mobilní telefony. Proto se lépe hodí pro energeticky náročné aplikace (obr.18). [48–50, 52]



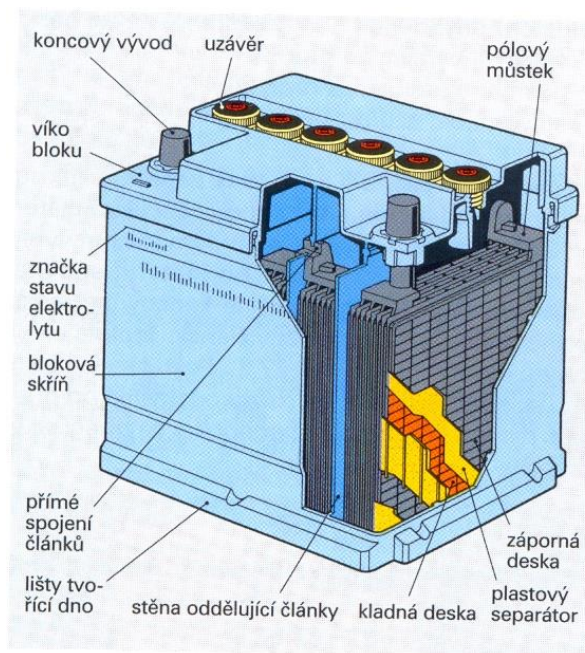
Obr. 18 Design prismatického článku [53]

4.4.5 Druhy technologie článků baterií

Typ baterie se může lišit v závislosti na tom, zda je vozidlo plně elektrické (BEV) nebo plug-in hybridní (PHEV). Současný trend technologie baterií je navržen tak aby životnost dosahovala obvykle 8 let nebo 160 000 km. Některé baterie mohou vydržet 12 až 15 let v mírném podnebí nebo 8 až 12 let v extrémním podnebí. V elektromobilech jsou využívány tři hlavní druhy článků: lithium-iontové, nikl-metal hydridové a olověné. Nicméně nejoblíbenější používanou baterií pro elektromobily je lithium-iontová baterie. [37, 38]

a) Olověné baterie (Pb-acid)

Jde o nejstarší a nejpoužívanější dobíjecí baterii v automobilovém průmyslu. Používá se jako zdroj energie pro startování spalovacích motorů a v elektrických vozidlech k doplnění jiných zátěží hlavní baterie. Katoda (záporná elektroda) je v nabitém stavu tvořena čistým olovem, anoda (kladná elektroda) kysličníkem olova (obr.19). Základní konstrukce nominálního 12 V olověného akumulátoru je složena ze šesti článků zapojených do série. [16]



Obr. 19 Olověná baterie v řezu [54]

Baterie musí být skladovány v nabitém stavu, aby se zabránilo znehodnocení materiálu kladné elektrody. Samovybíjení článku bude mít značný vliv na sulfataci článku. Během procesu sulfatace článku se ztrácí schopnost nabíjení a dojde ke snížení kapacity akumulátoru. [16]

Tyto baterie jsou vysoce výkonné, levné, bezpečné a spolehlivé, ale jejich krátká kalendářní životnost a nízká výkonnost při nízkých teplotách ztěžují jejich použití v elektrických vozidlech. Protože je olovo těžký kov (11,3 kg/dm³), samotná technologie se stává těžkou a objemnou, vzhledem k jejich dopadu na životní prostředí je použití olova a dalších těžkých

kovů v mnoha aplikacích víceméně zakázáno. To však vedlo k tomu, že olovené baterie jsou jedním z nejvíce recyklovaných produktů na světě. Samotná hmotnost a výkonové možnosti této technologie ji činí nejvhodnější pro elektromobily mikro hybridních konfigurace.

[17, 37, 38]

b) Nikl-metal hydridová baterie (NiMH)

Technologie nikl-metal-hydridových (NiMH) baterií byla uvedena na trh až v roce 1989 pro přenosné počítače a mobilní telefony. Během 90. let 20. století dominovaly na trhu mobilních telefonů NiMH baterie, ale zaznamenaly rychlý pokles, protože byl představen Lithium-ion koncept baterie. NiMH je stále široce používán ve spotřebitelských aplikacích a jako systémy pro skladování energie v hybridních elektrických vozidlech. Tato technologie byla vyvinuta z ekologických důvodů, lze ji považovat za další vývoj technologie nikl-kadmia (NiCd), kterou je nyní zakázáno používat ve vozidlech kvůli obsahu kadmia těžkých kovů. Materiály používané v bateriích NiMH jsou však šetrné k životnímu prostředí, snadno recyklovatelné ačkoli mnoho použitých kovů je vzácných. Tato vlastnost je způsobena vysokým množstvím niklu v těchto bateriích. Na druhé straně mají nikl-metal hydridové baterie nízkou hustotu energie, přibližně o 40 % nižší než u lithium-iontových baterií. Aby se předešlo nedostatku energie, mnoho baterií Ni-MH má velké rozměry, což pomáhá s napájením, ale ne s hmotností. Kvůli nabíjecím cyklům mají tendenci se zahřívat, takže je potřeba samostatný chladicí systém. NiMH jsou více používány hybridními elektrickými vozidly (HEV) (obr.20), ale jsou také úspěšně používány v některých vozech BEV. [55–57]

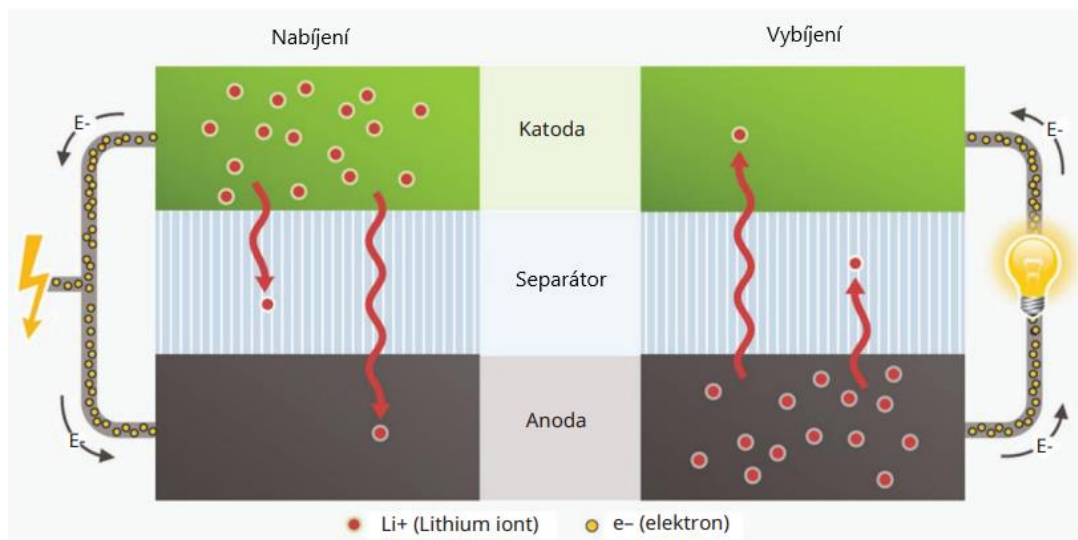


Obr. 20 Třetí generace NiMH baterie Toyota [55]

c) Lithium-ion baterie (Li-ion)

Li-ion jsou technologií baterií, která se nejčastěji používá jako systém pro ukládání energie v elektrických vozidlech (BEV) a plug-in hybridních EV. Hlavní předností použití lithium-iontových baterií je, že mají lepší poměr energie k hmotnosti, což znamená, že mohou pojmout více energie a váží méně než jejich protějšky NiMH. Li-ion baterie se také rychleji nabíjejí a nemají žádné problémy s pamětí. To znamená, že u Li-ion baterie nedochází ke snižování maximální nabíjecí kapacity s každým cyklem. [17, 58, 59]

V Li-ion baterii jsou procesy nastaveny následovně. Záporný pól (anoda) a kladný pól (katoda) jsou součástí jednotlivých článků lithium-iontové baterie spolu s elektrolytem a separátorem (obr.21). Anoda je tvořena grafitovou strukturou a katodou je vrstvený oxid kovu. Mezi těmito vrstvami se ukládají lithium-ionty. Když je baterie nabíjena, lithium-ionty se pohybují od anody ke katodě a přijímají elektrony. Během vybíjení nastává opačný proces a elektrony jsou spotřebovány pro pohon zátěže (obr.15). [16]



Obr. 21 Nabíjecí a vybíjecí procesy Li-ion článku [60]

Největší nevýhodou použití lithium-iontové baterie je cena. Výroba Li-ion baterií je přibližně o 40 % dražší než baterie Ni-MH, a proto vozy jimi vybavené bývají dražší.

Přestože se Li-ion baterie vybíjejí pomaleji než ostatní, mají také kratší životnost (kolem 10 let), pokud nejsou správně skladovány. Náklady na baterie EV jsou však stále vysoké a mají silný dopad na celkové náklady vozidla. Je tedy nutné další snižování nákladů, při které by životnost baterie měla být stejně vysoká jako očekávaná životnost vozidla. Protože Li-ion baterie je elektrochemický systém, nevyhnutelně dochází k vedlejším reakcím, které vedou k poklesu kapacity v průběhu času. I když vozidlo není provozováno, trakční baterie stárne. V nejmodernějších bateriích EV jsou použity materiály, jako je na straně anody: grafit, uhlík, křemík, na straně katody: Lithium kobalt, Lithium mangan, Lithium nikl mangan kobalt, Lithium železo fosfát, Lithium nikl kobalt aluminium. [16, 17, 37]

Dále jsou uvedeny druhy Li-ion článků:

1) Lithium mangan oxid (LMO):

Nízký vnitřní odpor článku umožňuje rychlé nabíjení a vybíjení vysokým proudem. Článek lze vybíjet vysokými proudy 20-30 A s mírným nárůstem tepla. Je také možné aplikovat jednosekundové zátěžové impulsy až 50 A. Trvalé vysoké zatížení při tomto proudu by způsobilo nahromadění tepla a nezvratné poškození. Teplota článku nemůže překročit 80 °C. Lithium-mangan se používá pro elektrické nářadí, lékařské nástroje a také hybridní a elektrická vozidla. Specifická hustota energie je dána 110 až 120 Wh/kg. [58, 59, 61]

2) Lithium železo fosfát (LFP):

Hlavními výhodami jsou vysoký jmenovitý proud, dlouhá životnost a dobrá tepelná stabilita. U LFP je výrazně sníženo riziko přehřátí a požáru ovšem za cenu mnohem menší objemové kapacity. Použití je tedy především u elektrického nářadí a lékařských zařízeních. Disponuje nižší specifickou hustotou energie kolem 95-140 Wh/kg. [58, 59, 61]

3) Lithium nikl mangan kobalt oxid (NMC):

Jedním z nejúspěšnějších Li-ion systémů je katodová kombinace nikl-mangan-kobalt. NMC technologii je poskytována velmi dobrou měrnou elektrickou energií a nejnižší rychlost ohřevu při zatížení ze všech běžných katodových metod, což z něj

činí preferovanou volbu pro automobilové baterie. Tato technologie je někdy označovaná jako 1-1-1, protože obvykle je složena z 33 % niklu, 33 % manganu a 33 % kobaltu. Anoda s nabíjením a vybíjením roste a zmenšuje se, čímž se článek stává mechanicky nestabilním. Stává se oblíbenou volbou pro sériově vyráběné články v aplikacích vyžadujících časté cyklování jako jsou automobily, uložení energie. [61–63]

4) Lithium-nikl-kobaltový oxid hlinitý (NCA):

Byl objeven roku 1999 pro speciální aplikace. Technologií NCA je sdílána podobnost s NMC tím, že je poskytována vysoká měrná elektrická energie (Wh/kg), přiměřeně dobrý elektrický výkon (Wh) a dlouhá životnost. Nevýhodou je nízká bezpečnost a nákladné minerály z kterých je technologie složena. Vysoká měrná elektrická energie je dána 200 až 260 Wh/kg. [61, 63]

5) Titanát lithný (LTO):

Výhoda oproti konvenčnímu li-ion článku s příměsí kobaltu a grafitovou anodou je, že není vytvářeno žádné lithiové pokovování při rychlém nabíjení a nabíjení ani nízké teplotě. Tepelná stabilita při vysokých teplotách je také lepší než u jiných Li-ion systémů, na druhou stranu vysoká cena baterie a nízká měrná elektrická energie 50 až 80 Wh/kg dělají z této technologie její hlavní nevýhody. [61, 63]

Na následujícím tab. 2 je porovnáno pět nejvýznamnějších druhů li-ion bateriových technologií:

Tab. 2 Souhrn parametrů Li-ion článků [61]

Označení	LMO	NMC	LFP	NCA	LTO
Anoda	Grafit	Grafit	Grafit	Grafit	Lithium titan oxid
Katoda	Lithium-manganový oxid	Lithium-nikl mangan kobalt oxid	Lithium železo fosfát	Lithium- nikl kobalt hliník oxid	Lithium nikl mangan cobal oxid
Jmenovité napětí (V)	3,7	3,6 - 3,7	3,2 - 3,3	3,6	2,4
Měrná elektrická energie (Wh/kg)	100 - 150	150 - 220	90 - 120	200-260	50-80
Životnost cyklu	300 - 700	1000 - 2000	2000 a vyšší	500	3000 - 7000
Použití výrobci vozidel	Nissan, Chevrolet, Fiat, Renault, Volvo, Mitsubishi	VW, BMW, Daimler	Chevrolet, Coda EV	Tesla	Honda

4.4.6 Metody nabíjení baterií

Existují tři běžné způsoby nabíjení baterie: konstantní napětí, konstantní proud a kombinace konstantní napětí/konstantní proud (tab.3).

Tab. 3 Přehled nabíjecích metod baterií [64]

Metoda	Výhody	Nevýhody	Klíčové parametry
Konstantní proud (CC)	Snadná implementace	Využití kapacity baterie je nízké	Stupeň nabíjecího proudu
Konstantní napětí (CV)	Snadná implementace	Nebezpečí přebíjení baterie	Stupeň nabíjecího napětí
Konstantní proud/napětí (CC-CV)	Snadná implementace Rychlé nabíjení	Není v porovnání CC,CV	Stupeň nabíjecího proudu v režimu CC Stupeň nabíjecího napětí v režimu CV

a) Metoda nabíjení konstantním napětím (CV):

Principem metody nabíjení konstantním napětím je nabíjení baterie zdrojem konstantního napětí, což má výhody jednoduché struktury obvodu a snadného návrhu

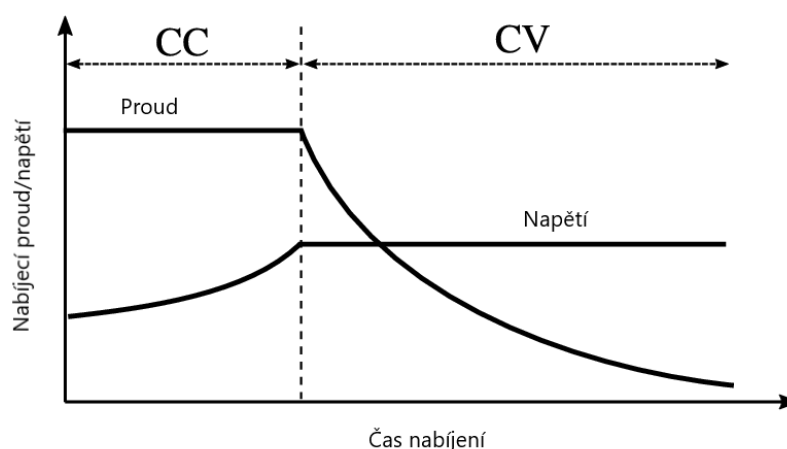
ovládacího obvodu. V režimu nabíjení konstantním napětím je nabíjecí proud snižován až k hodnotám desetin voltů proti stále konstantní hodnotě napětí. [64–66]

b) Metoda nabíjení konstantním proudem (CC):

Baterie je nabíjena proudem o stále stejné velikosti. Ve srovnání s metodou nabíjení konstantním napětím může tato metoda plně nabít baterii v krátkém čase, ale musí být věnována pozornost stupni nabití baterie, protože zdroj proudu bude stále poskytovat konstantní proud pro nabíjení baterie, takže když se baterie plně nabije, je třeba aby zdroj byl okamžitě odpojen nebo přepnuto do režimu udržovacího nabíjení. Jinak dochází k přebíjení, poškození baterie a snížení životnosti. [64–66]

c) Metoda smíšeného nabíjení konstantním proudem / konstantním napětím (CCCV):

Z výše uvedeného je známo, že metody nabíjení konstantním napětím a konstantním proudem mají své výhody i nevýhody. Pro zlepšení nedostatků těchto dvou metod je navržena metoda nabíjení konstantním proudem / konstantním napětím. Tento způsob nabíjení může výrazně zkrátit dobu nabíjení a díky metodě nabíjení konstantním napětím má také funkci samoregulace proudu a tím nezpůsobuje přebíjení baterie. Jak je znázorněno na obr.22, na začátku nabíjení se používá režim konstantního proudu (CC), dokud se nedosáhne napětí baterie. Když je dosaženo stanoveného napětí, nabíječka se přepne do režimu konstantního napětí, aby pokračovala v nabíjení. V tomto okamžiku se nazývá režim vyrovnání. Po úplném nabití baterie se nabíječka automaticky přepne do plovoucího režimu, aby byla baterie plně nabitá. [64–66]



Obr. 22 Nabíjecí metoda konstantního proudu a napětí [67]

4.4.7 Výrobci bateriových modulů

CATL

Na vrcholu trhu s bateriemi pro EV je čínský výrobce Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL), výrobce baterií a technologická společnost založena v roce 2011. Společnost se specializuje na výrobu lithium-iontových baterií pro elektrická vozidla a systémy pro skladování energie. V roce 2022 se stala již pátým rokem po sobě největším světovým výrobcem baterií pro elektromobil s celkovým podílem na trhu 34 %. Hlavními výrobci EV jako jsou Tesla a koncern Volkswagen, je odebíráno baterií společnosti CATL. Kromě samotné výroby baterií, byla vyvinuta další technologie sodíkovo iontové baterie a také uvedena značka EVOGO pro výměnu baterií pro EV. Jako příklad bateriového modulu společnosti CATL může být uveden modul o kapacitě 120 Ah skládající se z lithium iontových článků, konkrétně je využito technologie NCM prizmatických článků. Uvnitř je uspořádání zapojeno v konfiguraci 8S2P s jmenovitým napětím 3,7 V na článek (obr.23). [68, 69]



Obr. 23 Bateriový modul CATL 8S2P [68]

LG Energy Solution

Jihokorejská společnost, kterou je uvedeno 14 % celosvětového trhu s bateriemi pro EV, tím se z ní stává druhá největší firma hned po čínském CATL. Společností je tradičně využíváno technologie článků NCM, pro automobilky Tesla, Volkswagen, Hyundai a Honda. Jako jedním z příkladů sortimentu bateriových modulů může být uveden module o kapacitě 234 Ah skládající se z článků NCM, konstrukce „Pouch“. Články s jmenovitým napětím 3,7V, jsou zapojeny v konfiguraci 8S3P (obr.24). [69, 70]



Obr. 24 Bateriový module LG 8S3P [70]

BYD

Mezi čínskými a jihokorejskými společnostmi probíhá neustálý boj v sektoru bateriové výroby pro EV, přičemž BYD jako jeden z čínských výrobců stále posiluje svou pozici a za rok 2022 se stal třetí největší výrobcem s 12 % celosvětového trhu a druhým v domácí čínské konkurenci. Jako příklad bateriového modulu společnosti BYD může být uveden modul o kapacitě 50 Ah skládající se z lithium iontových článků, konkrétně je použita technologie NCM prizmatických článků. Uvnitř je uspořádání zapojeno v konfiguraci 12S1P s jmenovitým napětím 3,6 V na článek (obr.25). Tato technologie je využívána u elektrovozidel Nissan Leaf. [69]



Obr. 25 Bateriový module BYD 12S1P [71]

Panasonic

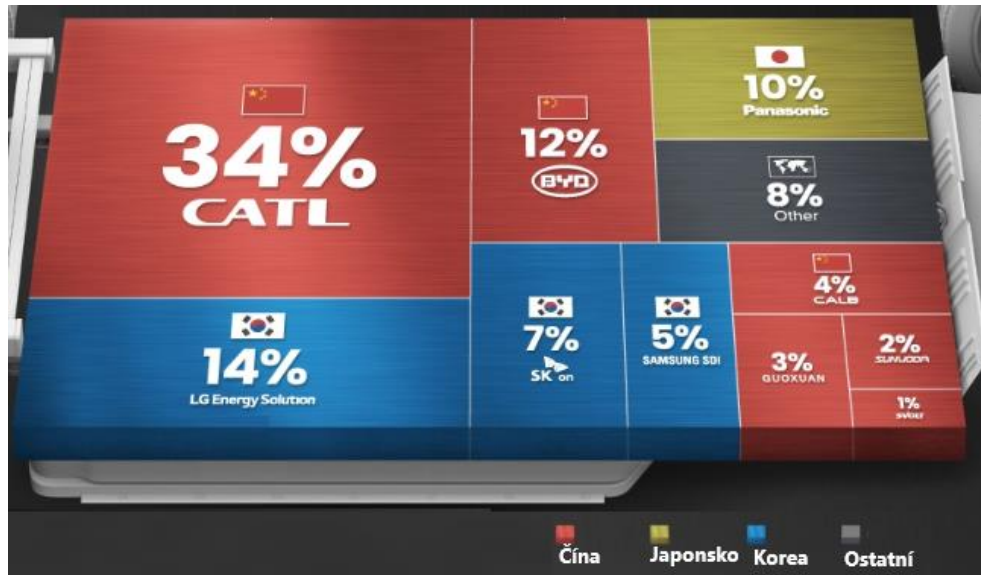
Jedná se o japonskou nadnárodní společnost, kterou je dodáváno článků pro hybridní, plug-in hybridní a plně elektrická vozidla. Za rok 2022 byla posunuta na čtvrté místo s 10 % podílu na trhu. Společnost Panasonic se stala hlavním výrobcem baterií pro automobilku Tesla. [69]



Obr. 26 Bateriový module Panasonic 76P6S [72]

Jako příklad může být uveden 5,3 kWh modul pocházející z vozidel Tesla Model S a Model X, kde jsou používány v konfiguraci pro 85 kWh trakční baterii, který zahrnuje 16 těchto bateriových modulů. Základem je standardizovaný válcový článek typu 18650, značky Panasonic NCR18650B (obr.26). Konstrukce modulu je složena z 444 článků v konfiguraci zapojení 74p6s. Modul je provozován při jmenovitém napětí 22,8 V, nabíjen na maximální horní hranici napětí 24,9 V a vybíjen na minimální hodnotu 18,6 V. Celková kapacita modulu je 230 Ah. [72]

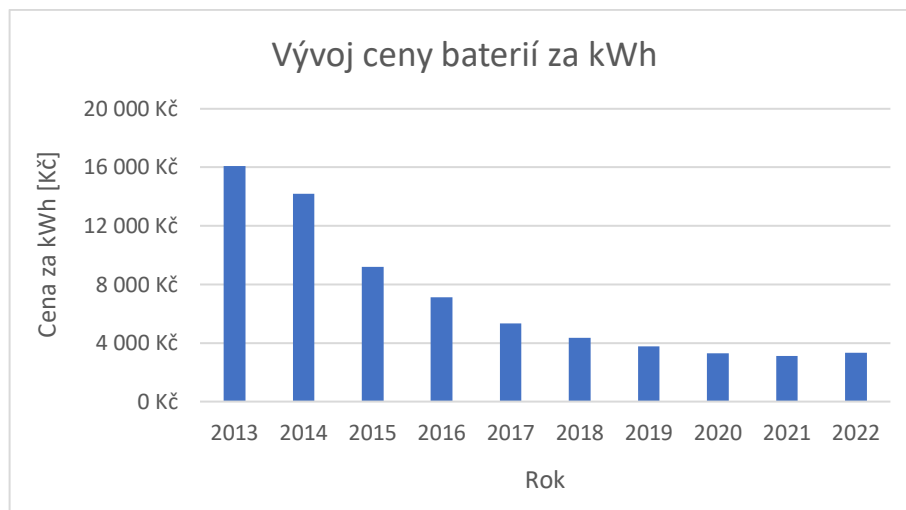
Na obr. 27 byl shrnut přehled předních výrobců baterií pro EV, dle jejich původu a podílu na trhu, z čehož vyplývá, že drtivou většinu trhu s bateriemi ovládají výrobci z Číny, Jižní Koreji a Japonska.



Obr. 27 Přední výrobci baterií pro elektrická vozidla za rok 2022 [73]

4.4.8 Vývoj ceny baterií

Klesající ceny baterií jsou jedním z nejkonzistentnějších trendů v odvětví elektrických vozidel za poslední desetiletí. Cena byla snížena z více než 16 000 Kč za kilowatthodinu v roce 2013 na 3 000 Kč za kWh v roce 2021 kdy se stala cena zatím dosavadně nejnižší v celé své historii. Tímto skokem byl odstartován jeden z největších posunů v automobilovém průmyslu tohoto století a podnítil automobilky, aby bylo investováno miliardy dolarů do elektromobilového odvětví. Tento trend se v roce 2022 zastavil, každoroční průzkum cen lithium-iontových baterií ukázal 7% nárůst průměrných cen za kWh v roce 2022 (Graf.4). [74, 75]



Graf. 4 Vývoj ceny baterií za kWh [76]

K nárůstu přispívá několik faktorů, ale tím nejdůležitějším jsou rostoucí náklady na materiály včetně kobaltu, niklu a lithia. Každý z těchto materiálů má stále vyšší cenu než v předchozích letech. To je způsobeno rostoucí poptávkou po bateriích a zpožděním v logistice, tedy jak rychle lze nové dodávky dopravit k odběrateli. Průměrná cena baterií by byla ještě vyšší, nebýt přechodu na levnější lithium-železo-fosfátové (LFP) baterie, které neobsahují nikl ani kobalt. Baterie LFP získaly v posledních třech letech významný podíl na trhu, přičemž z průzkumů lze očekávat, že v roce 2023 budou tvořit přibližně 40 % celosvětového prodeje elektrických vozidel. Marže výrobců baterií jsou za rok 2022 také nižší, což naznačuje, že byla absorbována část rostoucích nákladů na materiály a komponenty. Průměrné ceny jsou stanoveny rozdílně podle regionu. Dle toho byly ceny za kWh nejlevnější v Číně kolem 3 000 Kč, naopak v USA byly o 24 % a v Evropě o 33 % vyšší. [75]

5 Praktická část práce

V této části práce byly uvedeny testované bateriové moduly, poskytnuté společností Škoda Auto a.s., na kterých proběhla analýza vybraných parametrů. Jako první jsou popsány technické parametry modulů. Též je popsána měřicí technika, na které bylo provedeno testování. Dále je zde seznámeno s ovládáním a prostředky, které byly zvoleny pro získání dat, představeno nastavení softwaru zátěžové jednotky. Následně v této kapitole jsou uvedeny informace získané z testování, které mezi sebou budou porovnány. Na základě těchto výsledků jsou stanoveny hodnoty samovybití a vlivu dlouhodobého skladování bateriových modulů na dostupnou kapacitu.

5.1 Testované bateriové moduly a jejich technické parametry

V této části práce byly zvoleny pro měření dva typy (druhy) bateriových modulů elektrovozidel BEV od stejného výrobce. K testování bylo využito celkem osm modulů baterií, vždy od každého typu byly testovány 4 (dva staré/dva nové). Staré moduly byly odlišné datem nabití z výroby, které se pohybovalo v rozpětí od 16.4. do 27.10 roku 2021. Naopak nové moduly byly poskytnuty z výroby od posledního nabití, které se datovala v rozmezí od 1.11. do 16.11. roku 2022. Oba typy byly složeny ze stejných 24 „Pouch“ článků. Kapacita jednoho NMC článku byla 78 Ah (obr.28). [39]

Ke stavu SOC neboli množství elektrického náboje zbývajících v článku, vyjádřeného v procentech, odpovídá určitá hodnota napětí, znázorněna v tab. 4. Hodnoty vždy odpovídají pro teplotu 23 °C.

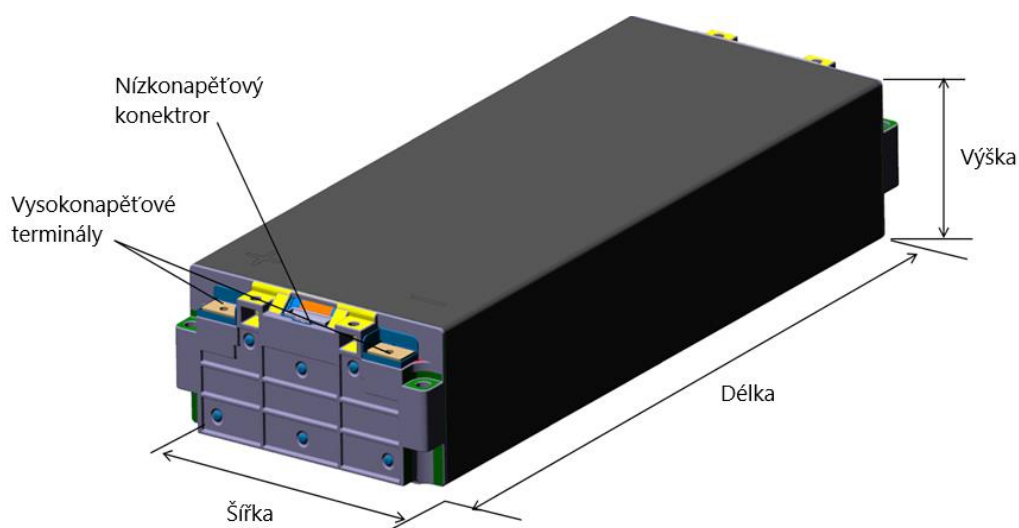
Tab. 4 Stav SOC k danému napětí článku při 23 °C [39]

Článek										
SOC	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Napětí	3,43 V	3,47 V	3,52 V	3,56 V	3,59 V	3,61 V	3,63 V	3,64 V	3,67 V	3 V
	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
	3,75 V	3,80 V	3,85 V	3,90 V	3,95 V	4,00 V	4,06 V	4,11 V	4,17 V	4,23 V



Obr. 28 „Pouch“ článek testovaného modulu [39]

Standardizované byly i rozměry modulů, které jsou pro oba typy shodné o délce 590 mm, šířce 222 mm, výšce 108 mm a hmotnosti 31,2 kg (obr.29). Oba moduly obsahovaly terminály vysokého napětí neboli připojení k elektrodám (anoda, katoda), dále nízkonapěťový konektor, jehož pomocí je modul připojen k jednotce BMS, ze které jsou hlídány hodnoty napětí článků, ale také teplot, pomocí dvou NTC termistorů. Funkce jednotky BMS byla popsána ve výše uvedené kapitole systém správy baterií (BMS). Naopak rozdílnost u obou typů modulu se naskýtala v zapojení článků uvnitř modulu 12S2P a 8S3P, z toho vyplývající rozdílná kapacita modulu, jmenovité napětí a rozsah maximálního, minimálního napětí modulu. [39]

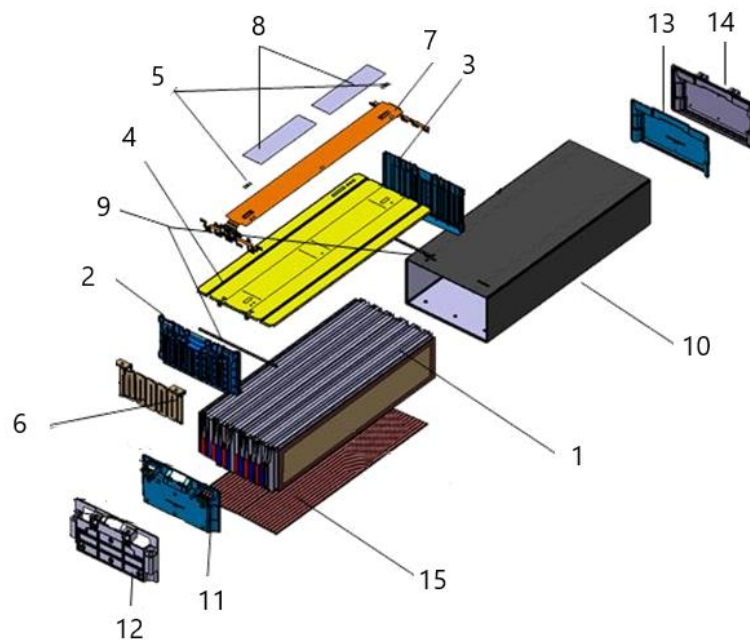


Obr. 29 Vnější schéma měřeného modulu [39]

Vnitřní konstrukce modulů je poskládána z komponentů, které byly uvedeny v tab. 5 a zobrazeny na obr. 30.

Tab. 5 Komponenty obsažené v modulu [39]

Číslo dílu	Název dílu
1	Článek
2	Přední část rámu
3	Zadní část rámu
4	Krycí deska
5	Termistor
6	Přípojnice terminálu vysokého napětí
7	Obvodová deska FPCB
8	Obvodová deska FPC
9	Podložka
10	Rám modulu
11	Přední izolační kryt
12	Přední koncová deska
13	Zadní izolační kryt
14 <td Zadní koncová deska	
15	Tepelná pryskyřicová deska



Obr. 30 Schéma vnitřního uspořádání komponentů modulu [39]

5.1.1 Typ 1 modul

Jedná se o typ používaný v konfiguraci 12 modulů (obr. 31), pro trakční baterii o výdrži 82kWh využívanou elektrovozidly Volkswagen ID.3, Enyaq iV. Díky této baterii je dosahováno dojezdu až 542 km (dle WLTP) u Škody Enyaq. [39]



Obr. 31 Trakční baterie 82 kWh [39]

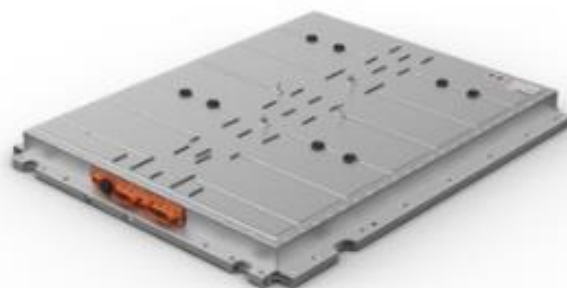
Vnitřní zapojení článků u tohoto typu modulu bylo 8S3P, hustota energie 265Wh/kg, chemie NCM. Jmenovité napětí modulu o hodnotě 29,6 V, horní a dolní hranice napětí pro module byla 33,6 V a 21,6 V. Níže byly shrnuty veškeré parametry modulu typu 1 v tab. 5. [39]

Tab. 6 Parametry modulu Typ 1 [39]

Modul Typ 1	
Zapojení článků	8S3P
Výdrž	6,85 kWh
Kapacita	234 Ah
Specifická hustota energie	228 Wh/kg
Počet článků	24
Kapacita článku	78 Ah
Jmenovité napětí	29,6 V
Max. napětí	33,6 V
Min. napětí	21,6 V

5.1.2 Typ 2 modul

Jedná se o typ používaný v konfiguraci 9 těchto modulů (obr. 32), pro trakční baterii o výdrži 62 kWh využívanou elektrovozidly Volkswagen ID.3, Enyaq iV. Díky této baterii je dosahováno dojezdu až 395 km (dle WLTP) u Škody Enyaq. [39, 77]



Obr. 32 Trakční baterie 62 kWh [39]

Vnitřní zapojení článků u tohoto typu modulu bylo 12S2P, hustota energie 265Wh/kg, chemie NCM. Jmenovité napětí modulu o hodnotě 44,4 V, horní a dolní hranice napětí pro module byla 50,4 V a 32,4 V. Níže byly shrnuty veškeré parametry modulu typu 2 v tab. 7. [39]

Tab. 7 Parametry modulu Typ 2 [39]

Modul Typ 2	
Zapojení článků	12S2P
Výdrž	6,85 kWh
Kapacita	156 Ah
Specifická hustota energie	228 Wh/kg
Počet článků	24
Kapacita článku	78 Ah
Jmenovité napětí	44,4 V
Max. napětí	50,4 V
Min. napětí	32,4 V

5.2 Měřicí technika

5.2.1 Multimetr Fluke

Jedná se o digitální elektronický nástroj používaný k měření napětí, proudu a odporu. Je zajištěna vysoká přesnost měření 0,09 %. Obsahuje podsvícený LCD displej, na kterém je umožněn odečet hodnot, dále obsahuje ručním nebo automatické přepínání rozsahů. Výsledky z měření lze zaznamenávat a ukládat do paměti. [78]

5.2.2 Vysokonapěťový zdroj Keysight N8954A

Jde o stejnosměrný napájecí zdroj s automatickým přepínáním rozsahů, výkonem a funkcemi, které jsou optimalizovány pro automatizované testovací systémy. Je poskytováno automatické nastavení výstupního napětí do 500 V a proudu až 90 A, výkon činí 1500 W. Pomocí ovládacích prvků na předním panelu je úplný přístup k funkcím jako omezení nabíjení konstantním proudem, konstantním napětím. Je umožněno buď použít knoflíky napětí a proudu, nebo zadat nastavení pomocí klávesnice. Může se také nastavit nastavení ochrany, stavy zapnutí a další funkce. Výstupní napětí, proud a výkon lze zobrazit současně ve spodní části displeje zobrazují stav napájení a provozní režimy. Ovládací prvky na předním panelu se mohou uzamknout, aby se ochránili před náhodnými změnami parametrů napájení. [79]

5.2.3 Bateriová zátěž Torkel 860

Jedná se o bateriovou zátěž, kterou je umožněno testovat baterie v režimech konstantní proud, konstantní výkon případně proudovým nebo výkonovým profilem. Jednotka disponovala maximálním napětím 480 V DC a vybíjecím proudem 55 A (max. výkon 15kW). Pro digitální záznam a ovládání jednotky z PC může být využito sériového portu a PC programu PowerDB Lite, kterým může být uskutečněna následná protokolace. Lze provádět testy kapacitní testované baterie, ale může být také zjištěno životní stádium cyklu baterie v které se nachází. [81]

5.2.4 Software PowerDB Lite

Pomocí programu lze přehledně a jednoduše získávat data z bateriové zátěže. PowerDB Lite je bezplatná verze PowerDB určená výhradně pro použití s testovacími přístroji Megger. Obsahuje kolekci testovacích formulářů s vestavěnými rozhraními pro různé testovací přístroje. Dokončené výsledky jsou uloženy v samostatných souborech na PC. Sdružuje výsledky testů s historickými výsledky. [80]

5.3 Příprava měření

5.3.1 Základní výpočty

Jako první byl uskutečněn přepočítav stavu % SOC vůči napětí jednoho článku podle tab.4 v kapitole 5.1 na skutečné moduly obou typů podle struktury zapojení (8S3P, 12S2P). Pro přepočítav napětí Typ 1 platí vzorec (4.3):

$$\text{Napětí}_{\text{Typ 1}} = \text{Napětí}_{\text{článku}} * 8 \text{ [V]} \quad (4.3)$$

Podle uvedeného vzorce (4.1) byla vytvořena tab. 8 s příslušnými hodnotami pro Typ 1.

Tab. 8 Stav SOC k danému napětí modulu Typ 1 při 23 °C

Typ 1										
SOC	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Napětí	27,44 V	27,8 V	28,16 V	28,53 V	28,72 V	28,9 V	29,04 V	29,17 V	29,36 V	29,56 V
	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
	29,99 V	30,41 V	30,81 V	31,21 V	31,62 V	32,03 V	32,47 V	32,9 V	33,32 V	33,8 V

Pro přepočítav napětí Typ 2 platí vzorec (4.2):

$$\text{Napětí}_{\text{Typ 1}} = \text{Napětí}_{\text{článku}} * 12 \text{ [V]} \quad (4.2)$$

Podle uvedeného vzorce (4.2) byla vytvořena tab. 9 s příslušnými hodnotami pro Typ 2.

Tab. 9 Stav SOC k danému napětí modulu Typ 2 při 23 °C

Typ 2										
SOC	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Napětí	41,16 V	41,7 V	42,24 V	42,8 V	43,08 V	43,35 V	43,56 V	43,76 V	44,04 V	44,34 V
	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
	44,99 V	45,62 V	46,22 V	46,82 V	47,43 V	48,05 V	48,71 V	49,35 V	49,98 V	50,7 V

5.3.2 Nastavení Multimetru

Při analýze samovybíjení modulů bylo využíváno měření napětí pomocí multimetru ve stanovených intervalech. Pro správné měření byl přepínač posunut do zvolené polohy pro stejnosměrné napětí. Měřící hrot černý byl připojen do „COM“ a červený do svorky „VΩ“.

5.3.3 Nastavení Vysokonapěťového zdroje

Po ukončení analýzy samovybíjení, uvedené v následující kapitole Výsledky měření, byly všechny moduly nabity na 95 % SOC, pomocí vysokonapěťového zdroje. K dosažení této hodnoty SOC byla využita metoda nabíjení konstantním proudem – konstantním napětím (CCCV), která byla vysvětlena v kapitole 3.4.6 Metody nabíjení baterií. Nastavení podmínek pro nabíjení probíhalo přímo přes analogový ovladač na zdroji. Jako první byl nastaven elektrický proud na 80 A při nabíjení obou typů modulu. Pro nastavení napětí bylo využito přepočítaných hodnot z tab. 8, 9, které byly pro oba typy odlišné. Po dosažení hodnoty napětí, která odpovídala 95 % SOC se zdroj přepnul ze stavu konstantního proudu do stavu konstantního napětí. Elektrický proud byl snižován na desetinu oproti výchozí hodnotě. Byl tedy snižován z 80 A na hodnotu 8 A. Po dosažení této hodnoty byl zdroj odpojen. Všechny nastavené hodnoty byly shrnuty v tab. 10.

Tab. 10 Výchozí hodnoty pro nastavení vysokonapěťového zdroje

Modul	Nastavené napětí [V]	Nabíjecí proud [A]
Typ 1	33,32	80
Typ 2	50	80

5.3.4 Nastavení Bateriové zátěže

Po ukončení nabíjení byl další krok vybití a s tím spojené nastavení bateriové zátěže. K tomu byl použit software PowerDB Lite, jehož obsluha byla jednoduchá a intuitivní. Pomocí softwaru lze obsluhovat a zaznamenávat data z bateriové zátěže a ukládat na PC. Konektivita mezi těmito zařízeními byla zajištěna pomocí sériového portu RS-245 na straně zátěže, pro PC bylo využito USB 2.0 portu. Po připojení proudových a snímacích kabelů k vysokonapěťovým terminálům modulu. Došlo k nastavení podmínek měření v softwaru PowerDB Lite (obr. 33) a spuštění vybití. Bylo vybité metodou konstantního proudu (CC) o hodnotě 50 A, při dosažení 10 % SOC což pro modul Typ 1 bylo 27,8 V, Typ 2 činilo 41,7 V bylo vybití ukončeno.

TEST PARAMETERS						
Capacity Test Method:		Current Rate	IEEE Std 450	Temperature correction using ambient temperature:		1,000
Initial Battery Status:		Charged				
TEST MODE	NOMINAL CURRENT (A)	TEST CURRENT (A)	END CELL VOLTAGE (V)	END BATTERY VOLTAGE (V)	TIME (h)	CORRECTED TIME (h)
Constant I		50,00		0,00		0,00
LIMITS	TIME (HH:MM)	VOLTAGE (volts)		CAPACITY (Ah)	<input checked="" type="checkbox"/> Enter Test Current, End Cell Voltage and Test Time Manually <input checked="" type="checkbox"/> Show Graphs (used for printing) <input checked="" type="checkbox"/> Auto save the form every 10 minutes.	
		CELL	BATTERY			
Warning Limit	00:00 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	28,00 <input checked="" type="checkbox"/>	0,0 <input type="checkbox"/>	Set Limits From Model DB Current Measurement Method: <input type="text" value="Internal"/>	
Stop Limit	00:00 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27,80 <input checked="" type="checkbox"/>	0,0 <input type="checkbox"/>		
TORKEL						
Torkel Status						
<input type="button" value="▶"/> <input type="button" value="✖"/> Start/Stop BVM with Torkel: <input checked="" type="checkbox"/>		Voltage Change to Log: <input type="text" value="0.050"/>		Ah Change to Log: <input type="text" value="10"/>		Show Strap Table: <input checked="" type="checkbox"/>
		Update Interval (Minutes): <input type="text" value="0.25"/>		Preferred Tolerance: <input type="text"/>		Show Test Data: <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Battery readings will be captured based on these settings.</i>						

Obr. 33 Nastavení vybijecích parametrů bateriové zátěže pomocí softwaru PowerDB Lite

6 Výsledky měření

Samotné testování modulů by nebylo možné bez prostředků uvedených v kapitole 5.2 a nastavení podmínek testování uvedených v kapitole 5.3. Bateriové moduly byly skladovány vždy při teplotě 23 °C a nebyly vystavovány nepříznivým okolním vlivům. Jako první byly naměřeny výsledky samovybíjení, které bylo očekáváno u čtyřech starých modulů baterií obou typů, v důsledku dlouhodobého skladování. Dalším provedeným úkonem, z kterého byly odvozeny parametry modulů byl kapacitní test. Z výsledků kapacitního testu byla porovnávána kapacita starého Typu 1 oproti novému Typu 1, to stejné pro Typ 2 a stanoven stav zdraví SOH a degradace modulu vlivem dlouhodobého skladování při nízkém stavu SOC.

6.1.1 Samovybíjení modulů

Pomocí parametru samovybíjení baterie je určována doba skladovatelnosti. Po stanovení výchozích hodnot napětí modulu pro odpovídající stav SOC (tab.8, 9), které byly stěženy pro další postup, bylo měřeno pomocí multimetru napětí na starých modulech. Aby bylo dosaženo přesnější představy o samovybíjení, měření probíhalo ve dvou etapách. Datum měření počátečního napětí, je datum kdy modul byl nabit na počáteční napětí neboli počáteční SOC. První výsledky měření starých modulů byly zaznamenány 14.6. 2022 a uvedeny v tab. 10.

Tab. 11 První měření napětí staré moduly

Starý Modul	Datum měření počátečního napětí	1) Datum měření napětí	Doba samovybíjení [měsíc]	Počáteční napětí [V]	1) Měření napětí [V]
Typ 1	06.11.2021	14.06.2022	7,5	28,53	28,4
Typ 1	07.08.2021	14.06.2022	10,5	28,53	28,34
Typ 2	16.04.2021	14.06.2022	14,5	42,57	42,24
Typ 2	27.10.2021	14.06.2022	8	42,57	42,38

Výsledky prvního měření hodnot napětí byly dále odvozeny podle tab. 8, 9 na stavy SOC. Dle doby samovybíjení se lišil i pokles napětí tudíž i pokles SOC. První měření ukázalo poklesy SOC o 2–3 %, které jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 12 První měření stav SOC staré moduly

Starý Modul	Počáteční SOC% při 23°C	Konečná SOC% při 23°C	Samovybíjení: pokles napětí [V]	Samovybíjení: pokles SOC%
Typ 1	20%	18%	0,13	2%
Typ 1	20%	17%	0,19	3%
Typ 2	18%	15%	0,33	3%
Typ 2	18%	16%	0,19	2%

Druhé výsledky měření starých modulů byly zaznamenány 24.1. 2023 a uvedeny v tab. 13.

Tab. 13 Druhé měření napětí staré moduly

Starý Modul	Datum měření počátečního napětí	2) Datum měření napětí	Doba samovybíjení [měsíc]	Počáteční napětí [V]	2) Měření napětí [V]
Typ 1	06.11.2021	24.01.2023	15	28,53	28,18
Typ 1	07.08.2021	24.01.2023	18,5	28,53	28,12
Typ 2	16.04.2021	24.01.2023	21,5	42,57	41,99
Typ 2	27.10.2021	24.01.2023	15	42,57	42,15

Výsledky druhého měření hodnot napětí byly stejným postupem jako u prvního měření odvozeny podle tab. 8, 9 na stavy SOC. Dle doby samovybíjení se lišil i pokles napětí tudíž i pokles SOC. Druhé měření ukázalo poklesy po přepočtu na SOC o 4-5 %, které jsou uvedeny v tab. 14.

Tab. 14 Druhé měření stav SOC staré moduly

Starý Modul	Počáteční SOC% při 23°C	Konečná SOC% při 23°C	Samovybíjení: pokles napětí [V]	Samovybíjení: pokles SOC%
Typ 1	20%	16%	0,35	4%
Typ 1	20%	15%	0,41	5%
Typ 2	18%	13%	0,58	5%
Typ 2	18%	14%	0,42	4%

Měření samovybíjení bylo také provedeno u nových modulů, a to ke dni 24.1. 2023. K tomuto datu dosahovala doba samovybíjení 2,5 až 3 měsíce, tudíž nebyly zaznamenány výraznější poklesy SOC, které by dosahovaly aspoň 1% samovybíjení. Hodnoty z měření byly uvedeny v tab. 15, 16.

Tab. 15 První měření napětí nové moduly

Nový Modul	Datum měření počátečního napětí	1) Datum měření napětí	Doba samovybíjení [měsíc]	Počáteční napětí [V]	1) Měření napětí [V]
Typ 1	05.11.2022	24.01.2023	2,5	28,53	28,5
Typ 1	16.11.2022	24.01.2023	2,5	28,53	28,5
Typ 2	01.11.2022	24.01.2023	3	42,57	42,54
Typ 2	01.11.2022	24.01.2023	3	42,57	42,54

Tab. 16 První měření stav SOC nové moduly

Nový Modul	Počáteční SOC% při 23°C	Konečná SOC% při 23°C	Samovybíjení: pokles napětí [V]	Samovybíjení: pokles SOC%
Typ 1	20%	20%	0,03	0%
Typ 1	20%	20%	0,03	0%
Typ 2	18%	18%	0,03	0%
Typ 2	18%	18%	0,03	0%

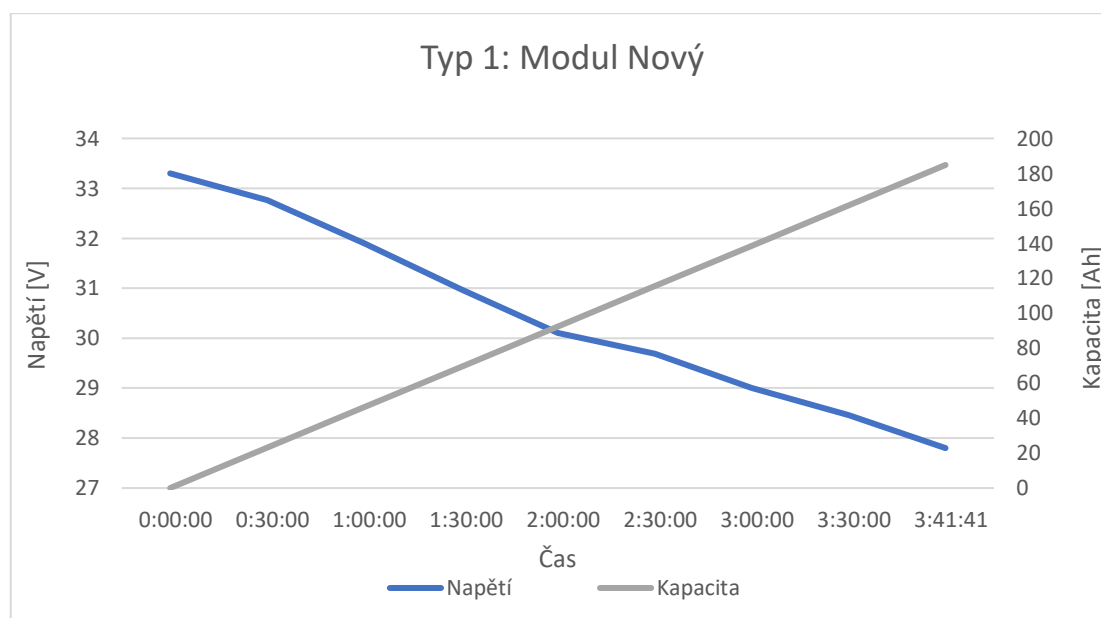
Z naměřených hodnot u starých modulů byla nejdříve vypočítána průměrná doba samovybíjení, která činila 13,8 měsíců. Průměrný stav poklesu SOC z naměřených hodnot činil 3,5 %. Pro výpočet průměrné hodnoty samovybíjení za jeden měsíc, byl použit vzorec 4.3:

$$\text{Samovybíjení}_{30 \text{ dní}} = \frac{3,5}{13,8} = 0,25 \% \quad (4.3)$$

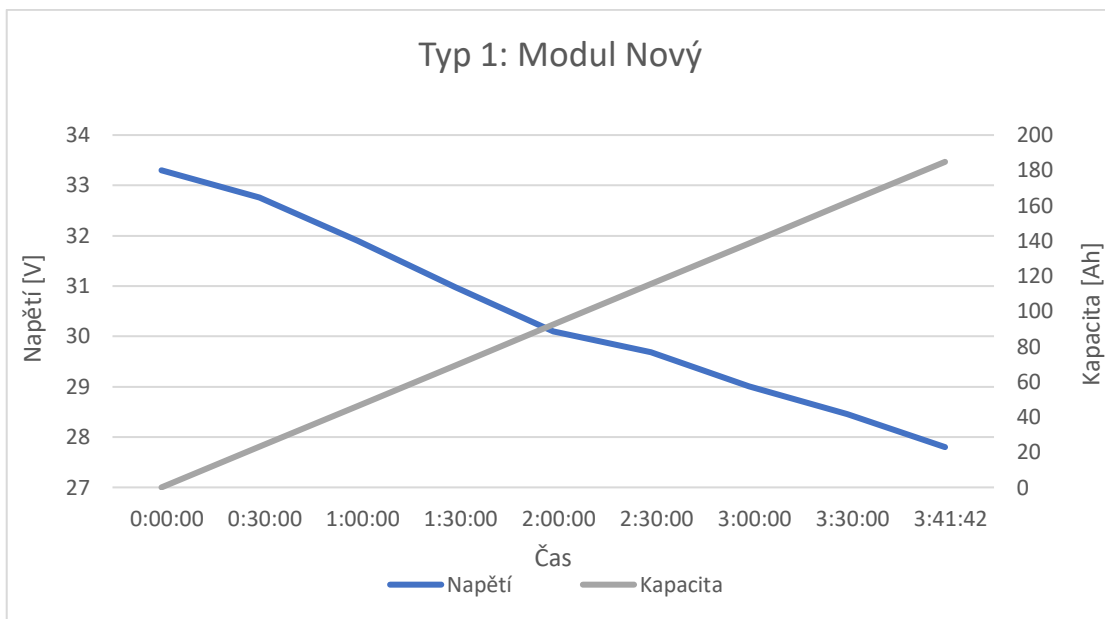
Výsledkem měření byla hodnota samovybíjení starých modulů Typu 1, 2, která dosahovala poklesu SOC o hodnotu 0,25 % za měsíc.

6.1.2 Kapacitní test

Pomocí tohoto testu byl stanoven vliv dlouhodobého skladování při 18-20 % SOC (podle typu), na množství energie, které bude modul schopen dodat za určitý čas po ukončení skladování. To bylo dosaženo pomocí vybíjení, jehož průběh byl zobrazen na níže uvedených grafech. Byly porovnány staré a nové moduly stejného typu. Výchozí podmínky nastavení bateriové zátěže byly stanoveny podle kapitoly 5.3.3. Jako první byly naměřeny vybíjecí charakteristiky (graf. 5, 6) nových modulů typu 1. Bylo dosaženo hranice napětí 27,8 V což odpovídá 10 % SOC v čase 3:41:41, 3:41:42. Vybíjením bylo získáno množství energie, které odpovídá 184,8 Ah.

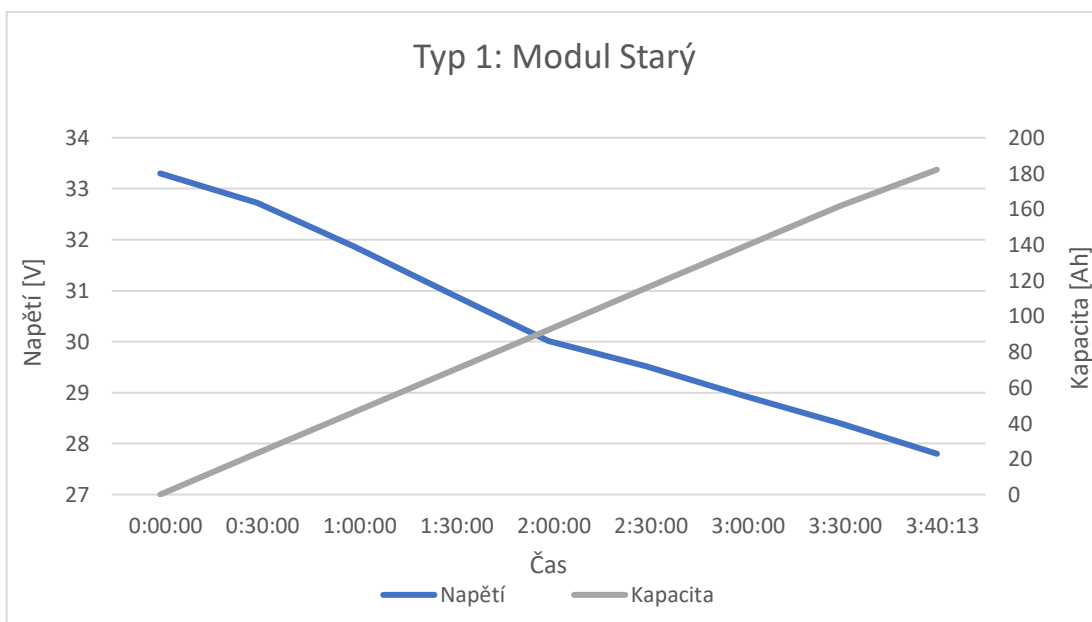


Graf. 5 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, nový modul

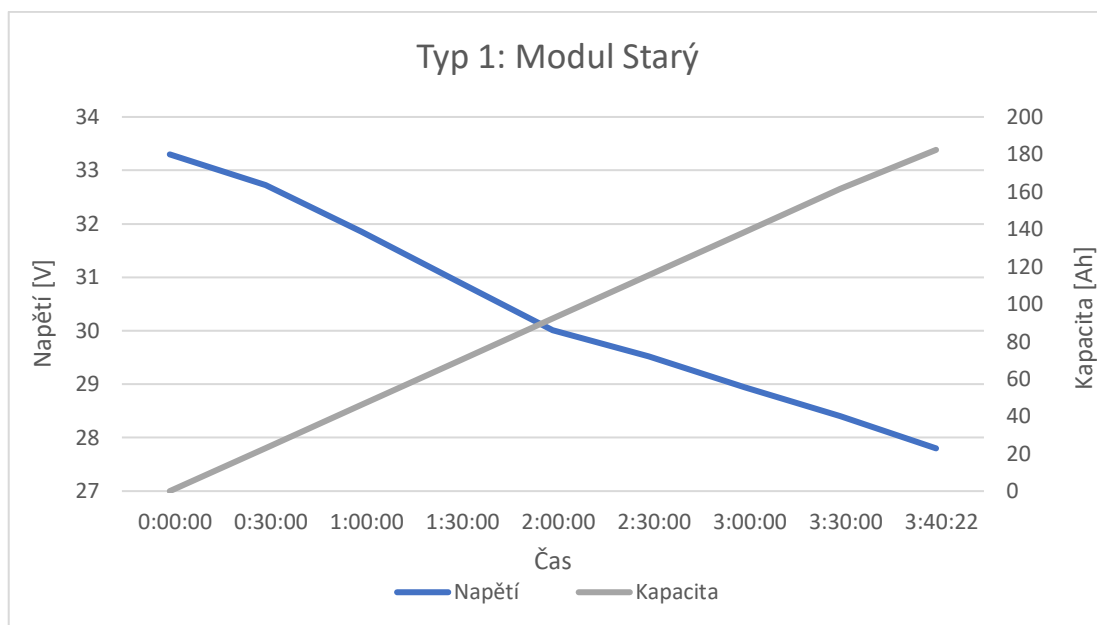


Graf. 6 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, nový modul

Dále byly naměřeny vybíjecí charakteristiky (graf. 7, 8) starých modulů typu 1. Bylo dosaženo hranice napětí 27,8 V, což odpovídá 10 % SOC v čase 3:40:18, 3:40:22. Vybíjením bylo získáno množství energie, které odpovídá 182,4 a 182,1 Ah.



Graf. 7 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, starý modul



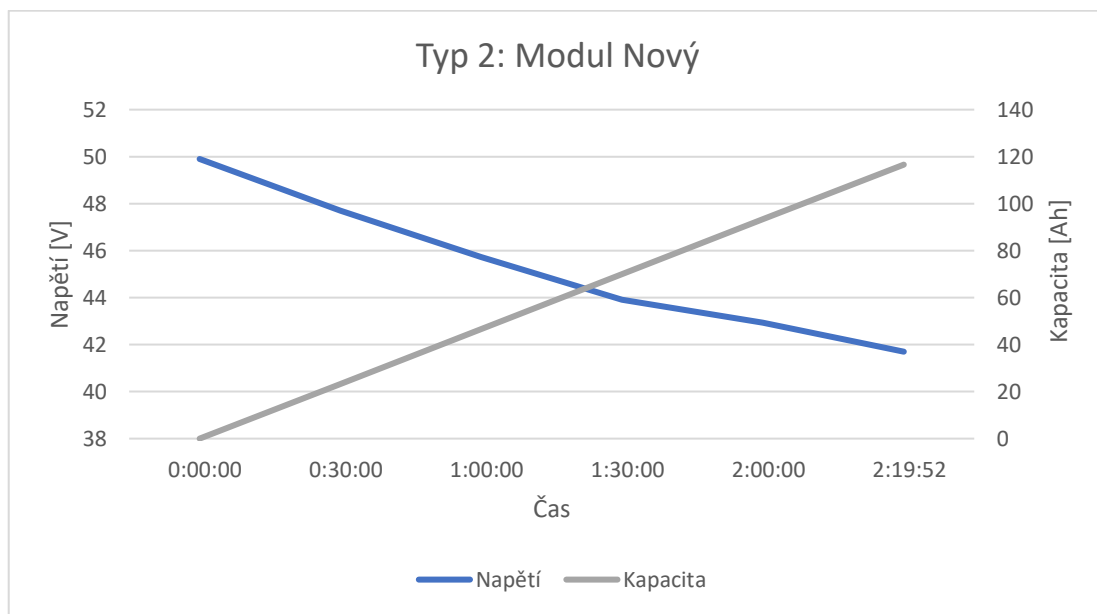
Graf. 8 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, starý modul

Po ukončení vybíjení a odpojení bateriové zátěže, bylo vždy za uplynutí 60 minut naměřeno ustálené napětí. Výsledky pro modul Typ 1 byly shrnuty v tab. 17:

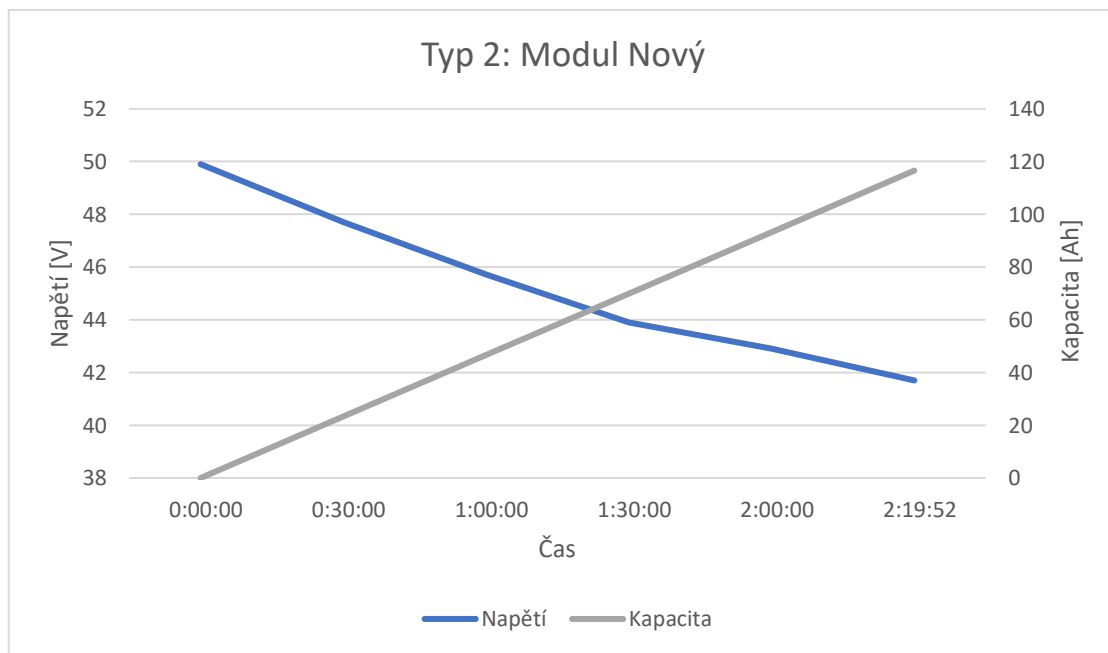
Tab. 17 Výsledky kapacitního testu modul Typ 1

Modul: Typ 1	Čas vybíjení	Vybitá kapacita [Ah]	Ustálené napětí [V]
Nový	3:41:41	184,8	28,36
Nový	3:41:42	184,8	28,35
Starý	3:40:22	182,4	28,46
Starý	3:40:13	182,1	28,41

Stejným způsobem byly naměřeny vybíjecí charakteristiky modulů typu 2. Pro tento typ u nových modulů bylo dosaženo hodnoty napětí 41,7 V, což odpovídá 10 % SOC v čase 2:19:52. Vybíjením bylo získáno množství energie, které odpovídá 116,6 Ah.

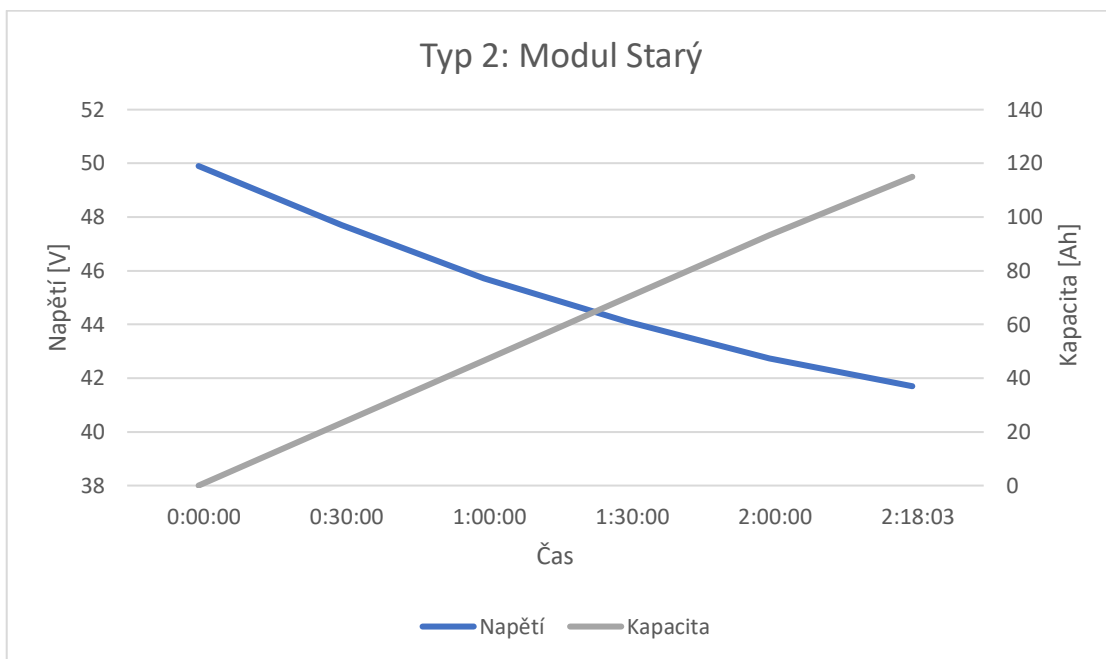


Graf. 9 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, nový modul

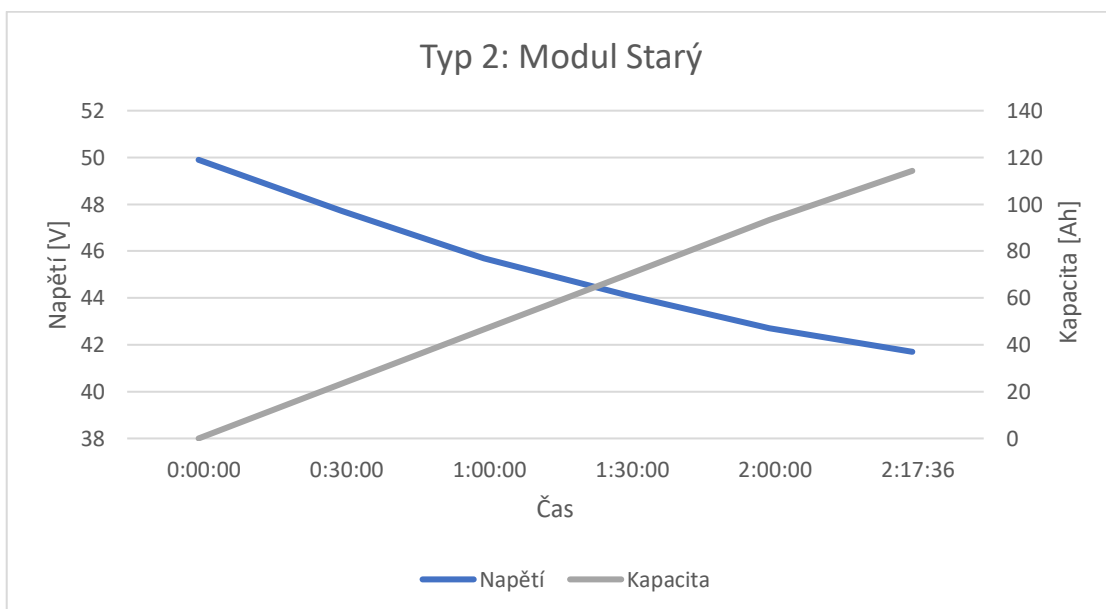


Graf. 10 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, nový modul

Dále byly naměřeny vybíjecí charakteristiky (graf. 11, 12) starých modulů typu 2. Bylo dosaženo hodnoty napětí 41,7 V což odpovídá 10 % SOC v čase 2:18:03, 2:17:36. Vybíjením bylo získáno množství energie, které odpovídá 115 a 114,3 Ah.



Graf. 11 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, starý modul



Graf. 12 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, starý modul

Po ukončení vybíjení a odpojení bateriové zátěže, bylo vždy za uplynutí 60 minut naměřeno ustálené napětí. Výsledky pro modul Typ 2 byly shrnuty v tab. 18:

Tab. 18 Výsledky kapacitního testu modul Typ 2

Modul: Typ 2	Čas vybíjení	Vybitá kapacita [Ah]	Ustálené napětí [V]
Nový	2:19:52	116,6	42,53
Nový	2:19:52	116,6	42,53
Starý	2:18:03	115	42,69
Starý	2:17:36	114,3	42,82

6.1.3 Stanovení degradace starých modulů

Z výsledků vybíjení byl vypočítán stav zdraví (SOH), který je ukazatelem degradace modulu. Pro výpočet stavu zdraví platí vztah (4.4). [45]

$$SOH_{\text{Starý modul}} = \frac{\text{Vybitá kapacita starého modulu}}{\text{Vybitá kapacita nového modulu}} * 100 \text{ [\%]} \quad (4.4)$$

Po dosazení do vztahu (4.4), byly výsledky shrnuty v tab. 19. Pro modul Typ 1. Bylo zjištěno, že po době skladování 14,5 měsíce při počátečním stavu nabití (SOC) 20 %, stav zdraví dosahoval 98,7 % což znamená degradaci neboli pokles skutečné kapacity o 1,30%. Pro starý modul Typ 1 o době skladování 18,5 měsíce při počátečním stavu nabití (SOC) 20% byl vypočítán stav zdraví 98,54 % což odpovídá poklesu množství skutečně uložené energie o 1,46 %.

Tab. 19 Výsledky degradace starých modulů Typ 1

Modul: Typ 1	Doba skladování [Měsíc]	Čas vybíjení	Vybitá kapacita [Ah]	SOH	Degardace
Starý	15	3:40:22	182,4	98,70%	1,30%
Starý	18,5	3:40:13	182,1	98,54%	1,46%

Pro staré moduly Typ 2 bylo po dosažení do vztahu (4.4) zjištěno výsledků, které byly shrnuty v tab. 20. Bylo zjištěno, že po době skladování 21,5 měsíců při počátečním stavu nabití (SOC) 18 %, stav zdraví dosahoval 98,03 % což znamená degradaci neboli pokles skutečné kapacity o 1,97 %. Pro starý modul Typ 2 o době skladování 15 měsíců při počátečním stavu nabití (SOC) 18 % byl vypočítán stav zdraví 98,63 % což odpovídá poklesu množství skutečně uložené energie o 1,37 %.

Tab. 20 Výsledky degradace starých modulů Typ 2

Modul: Typ 2	Doba skladování [Měsíc]	Čas vybíjení	Vybitá kapacita [Ah]	SOH	Degardace
Starý	21,5	2:17:36	114,3	98,03%	1,97%
Starý	15	2:18:03	115	98,63%	1,37%

7 Závěr

Po několika dekádách odmlky elektrovozidel, když na konci 20. století činil jejich počet 38% ze všech druhů vozidel, následoval strmý úpadek. Znovu se tato technologie dostává do popředí což je možné usoudit z vývoje počtu nově registrovaných vozidel. V globálním měřítku činila tato skupina 13 % veškerých registrovaných vozidel na světě za minulý rok. Dle stupně elektrifikace se do budoucna očekává minoritní nárůst hybridních elektrických vozidel na druhou stranu svůj většinový podíl budou nadále zvyšovat bateriová elektrická vozidla (BEV).

Baterie, jak se i v minulosti ukázalo je stále nejslabším článkem v celém řetězci elektromobility. V posledních letech došlo k výraznému poklesu trendu ceny baterií za kWh, který snížil cenu baterií na dosud nejnižší cenovou hladinu v roce 2021 za 3 000 Kč/kWh. Po nástupu Li-ion bateriových článků se tato technologie dostala rychle do popředí a dnes je součástí většiny elektrických vozidel. Baterie výrobců EV jsou ovšem rozdílné, a to v materiálu anody (většinou grafit), katody (na bázi lithia). Nejen chemické složení, ale i tvar článku může být rozdílný, to přináší určité výhody i nevýhody. Například automobilkou Tesla je využíváno válcových standardizovaných článků Panasonic 18 650, naproti tomu například u koncernu VW je využíváno „Pouch“ článků uspořádaných sério-paralelně v LG modulech baterie.

První díl praktické části diplomové práce probíhal na základě analýzy samovybíjení bateriových modulů dvou typů. Protože u všech modulů nebylo stejné datum počátečního nabití, dosahoval stav SOC rozdílných hodnot. První měření ukázalo pokles SOC za časový úsek 8 měsíců u obou typů modulu 2 %, u zbylých dvou po době vybíjení 10,5 a 14,5 měsíce 3 %. Druhá fáze měření samovybíjení probíhala o sedm měsíců později a pokles napětí odpovídal hodnotám 4 % a 5 % poklesu SOC oproti počáteční hodnotě nabití. Z výsledků měření parametrů bateriových modulů bylo zjištěno, že hodnota samovybíjení dlouhodobě skladovaných modulů Typu 1, 2, při 23 °C, dosahovala poklesu stavu nabití (SOC) 0,25 % za měsíc.

Obecně platí, že Li-ion baterie jsou dlouhodobě skladovány při 50 % SOC. S přibývajícím věkem baterie se uvnitř odehrávají nevratné chemické procesy, které vedou ke zvýšení

vnitřního odporu a snížení celkově využitelné kapacity baterie. Měřené moduly byly dlouhodobě skladovány s počátečním nabitím 18-20 % SOC (podle typu) po dobu 15-21 měsíců (dle datumu počátečního nabití). Ztráta kapacity byla zjištěna kapacitním testem, kdy byly porovnány výsledné rozdíly v kapacitě mezi novými a starými moduly stejného typu. Při nejdelší době skladování, tedy po 21,5 měsících, stav zdraví dosahoval 98,03 % což znamená degradaci neboli pokles skutečné kapacity o 1,97 %. Dané snížení kapacity bylo také možné pozorovat na zvýšených hodnotách ustáleného napětí starých modulů.

Pro následující růst počtu elektrických vozidel je důležitý budoucí vývoj baterií a jejich klíčových parametrů. Zejména zvýšení kapacity baterie při snížení její hmotnosti a zachování bezpečnosti, pokles ceny baterií, zvýšení životnosti článků baterie. Z tohoto pohledu je důležitá analýza jejich současného stavu a zlepšení nevýhod v porovnání s konvenčními vozidly se spalovacím motorem.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] *History of the electric car - Iberdrola* [online]. [vid. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.iberdrola.com/sustainability/history-electric-car>
- [2] *History of Electric Cars | Sytner Group* [online]. [vid. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.sytner.co.uk/news/history-of-electric-cars>
- [3] *The history of electric cars* [online]. [vid. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://blog.evbox.com/electric-cars-history>
- [4] *The surprising history of how electric vehicles have played the long game and won* [online]. [vid. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://theconversation.com/the-surprising-history-of-how-electric-vehicles-have-played-the-long-game-and-won-189127>
- [5] *Thomas Edison's DC Charging Station and 1914 Detroit Electric Model 47 [Gallery] / Electrek* [online]. [vid. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://electrek.co/2017/04/21/thomas-edisons-charging-station/>
- [6] *First Electric Car: A Brief History of the EV, 1830 to Present* [online]. [vid. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/features/g15378765/worth-the-watt-a-brief-history-of-the-electric-car-1830-to-present/>
- [7] *The history of electric cars* [online]. [vid. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://blog.evbox.com/electric-cars-history>
- [8] *Secrets of the 1966 GM Electrovair, an EV Pioneer | Mac's Motor City Garage* [online]. [vid. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://macsmotorcitygarage.com/secrets-of-the-1966-gm-electrovair-an-ev-pioneer/>
- [9] *A Brief History of Electric Vehicles - Fully Charged Show* [online]. [vid. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://fullycharged.show/blog/a-brief-history-of-electric-vehicles/>
- [10] *General Motors EV1 Impact Electric Vehicles History* [online]. [vid. 2023-02-13]. Dostupné z: https://electricvehiclesnews.com/History/Companies/General_Motors_EV1.htm
- [11] *Tested: 1997 GM EV1 Proves to Be the Start of Something Big* [online]. [vid. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/reviews/a32944084/tested-1997-general-motors-ev1-proves-to-be-the-start-of-something-big/>
- [12] *The History of the Electric Car | Department of Energy* [online]. [vid. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>

- [13] *A short history of the electric vehicle battery - Electric & Hybrid Vehicle Technology International* [online]. [vid. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.electrichybridvehicletechnology.com/features/a-short-history-of-the-electric-vehicle-battery.html>
- [14] *Electric vehicles and their batteries* [online]. [vid. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.evexpert.eu/eshop1/knowledge-center/electric-vehicles-and-their-batteries>
- [15] *1914 Detroit Electric Model 47 Brougham, Personal Car of Clara Ford - The Henry Ford* [online]. [vid. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.thehenryford.org/collections-and-research/digital-collections/artifact/209957/#slide=gs-214227>
- [16] TOM DENTON. *Electric and Hybrid Vehicles*. 2. vyd. 2020. ISBN 9780367273231.
- [17] BERG, Helena. *Batteries for Electric Vehicles*. B.m.: Cambridge University Press, 2015. ISBN 9781107085930.
- [18] *Electric Vehicles Types - A Complete Guide to Types of EV - EVESCO* [online]. [vid. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.power-sonic.com/blog/types-of-electric-vehicles/?fbclid=IwAR0FGhp4am_uzU5R_u6s5wxTb7GpuFtkqBp6wp4sDkuIpOM55HEFI4DxA8I
- [19] *Alternative Fuels Data Center: How Do All-Electric Cars Work?* [online]. [vid. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- [20] *Víte, co znamenají zkratky PHEV, BEV a HEV? - Portál řidiče* [online]. [vid. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/co-znamenaji-zkratky-bev-hev-a-phev>
- [21] *Types of Electric and Hybrid Vehicles Explained* [online]. [vid. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.agnewcars.com/electric-hybrid/types-of-electric-vehicles/>
- [22] *Different Types of Electric Vehicles - BEV | HEV | PHEV | FCEV | YoCharge* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://yocharge.com/in/ev/types/>
- [23] *Types of Electric Vehicles: BEVs, PHEVs, HEVs - What's the Difference?* [online]. [vid. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#bevs>
- [24] *HEV Types* [online]. [vid. 2023-02-24]. Dostupné z: http://autocaat.org/Technologies/Hybrid_and_Battery_Electric_Vehicles/HEV_Types/

- [25] KRAJANEK, Vladimír. *Návrh synchronního motoru s permanentními magnety pro pohon elektromobilu*. Plzeň, 2016. Západočeská univerzita v Plzni.
- [26] *Micro Hybrid & Hybrid Vehicles Explained - Yuasa* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.yuasa.co.uk/info/technical/micro-hybrid-hybrid-vehicles-explained/>
- [27] *Micro Hybrid - autolexicon.net* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/micro-hybrid/>
- [28] *Hybrid Car: Definition, Benefits & Types - Infineon Technologies* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/hybrid-vehicles/>
- [29] *HEV Levels* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: http://autocaat.org/Technologies/Hybrid_and_Battery_Electric_Vehicles/HEV_Levels/
- [30] *Pros And Cons of Hybrid Cars: What You Need To Know | EnergySage* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://news.energysage.com/pros-and-cons-of-hybrid-cars/>
- [31] *Toyota Vodík jako dokonalé palivo budoucnosti | Toyota* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/elektrifikace/vodikova-technologie/vodik>
- [32] *EV-Volumes - The Electric Vehicle World Sales Database* [online]. [vid. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.ev-volumes.com/>
- [33] ENERGY AGENCY, International. *Global EV Outlook 2022 Securing supplies for an electric future* [online]. 2022 [vid. 2023-03-04]. Dostupné z: www.iea.org/t&c/
- [34] *Electric Vehicles are Forecast to Be Half of Global Car Sales by 2035* [online]. [vid. 2023-03-04]. Dostupné z: https://www.goldmansachs.com/insights/pages/electric-vehicles-are-forecast-to-be-half-of-global-car-sales-by-2035.html?fbclid=IwAR11Vbnea33D4F6J8_-laKDDEGWRAJsh6ouvb6pwPwZ0tsurEhxeCXzLlgU
- [35] *Registrace nových vozidel v ČR | Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/registrace-novych-vozidel-v-cr/>
- [36] *V Česku jezdí 14 316 osobních elektromobilů, 77 % je registrováno na firmy | Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/v-cesku-jezdi-14-316-osobnich-elektromobilu-77-%-je-registrovano-na-firmy/>

- z: https://www.cistadoprava.cz/tiskove-zpravy/v-cesku-jezdi-14-316-osobnich-elektromobilu-77-je-registrovano-na-firmy/?fbclid=IwAR1A7hdnOuMNm5vP9XJIGu3O8qIEWQZRi_aDL2H2FxdD4PIBq8kzBzSTudM
- [37] *Electric Car Batteries and Characteristics / Omazaki Group* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.omazaki.co.id/en/electric-car-batteries-and-their-characteristics/>
- [38] *How Do Batteries For Electric Cars Work? / EnergySage* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/how-do-electric-car-batteries-work/>
- [39] *Interní zdroj Škoda Auto a.s.*
- [40] *Systém správy baterie* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/bms>
- [41] *Electric Car Batteries and Characteristics / Omazaki Group* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.omazaki.co.id/en/electric-car-batteries-and-their-characteristics/>
- [42] *BATERIE ELEKTROMOBILU – ZÁKLADNÍ PARAMETRY* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu>
- [43] *What is the Energy Density of a Lithium-Ion Battery?* [online]. [vid. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.fluxpower.com/blog/what-is-the-energy-density-of-a-lithium-ion-battery>
- [44] *Battery management system: SoC and SoH Estimation Solutions* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.integrasources.com/blog/battery-management-system-bms-state-charge-and-state-health/>
- [45] *What are SOC and SOH of a battery, how to measure them?* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-of-health-soh/>
- [46] *Série Vs. Vysvětlení paralelních připojení - Ainbattery.com* [online]. [vid. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://cs.ainbattery.com/series-vs-parallel-connections-explained.html>

- [47] *BU-302: Series and Parallel Battery Configurations - Battery University* [online]. [vid. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-302-series-and-parallel-battery-configurations>
- [48] *Cylindrical Cell-EVE* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.evebattery.com/en/cylindrical-cell>
- [49] *Cylindrical Cells - Battery Design* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.batterydesign.net/battery-cell/formats/cylindrical-cells/>
- [50] *Cylindrical cell - Cylindrická buňka versus prizmatická buňka versus vaková buňka* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.maxworldpower.com/cs/cylindrical-cell-vs-prismatic-cell-vs-pouch-cell/>
- [51] *Battery Tabs for Lithium-ion Batteries | Avocet Precision Metals* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.avocetsteel.co.uk/applications/li-ion-batteries/avocet-battery-tabs/>
- [52] *Advantages of pouch cell battery, trend and opportunities | by Mike Lam | Battery Lab | Medium* [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://medium.com/battery-lab/advantages-of-pouch-cell-battery-trend-and-opportunities-d08a5f0c6804>
- [53] *What Are LiFePO4 Prismatic Cells? Which One Is The Best?* [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.ecolithiumbattery.com/what-are-lifepo4-prismatic-cells/>
- [54] *T 3 Spouštěcí akumulátory, funkce, druhy, vlastnosti, zásady údržby a péče o akumulátory* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/03.html>
- [55] *Charged EVs | Toyota to recycle used NiMH batteries into electricity management systems - Charged EVs* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://chargedevs.com/newswire/toyota-to-recycle-used-nimh-batteries-into-electricity-management-systems/>
- [56] *Nickel-Metal Hydride or Lithium Ion: Which Type of Hybrid Battery Is Better?* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.motorbiscuit.com/nickel-metal-hydride-lithium-ion-type-hybrid-battery-better/>

- [57] *Nickel-Metal Hydride or Lithium Ion: Which Type of Hybrid Battery Is Better?* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.motorbiscuit.com/nickel-metal-hydride-lithium-ion-type-hybrid-battery-better/>
- [58] *5 Types of Lithium Ion Batteries* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <http://synergyfiles.com/2015/09/5-types-of-lithium-ion-batteries/>
- [59] *BU-205: Types of Lithium-ion - Battery University* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>
- [60] *Diagram showing how a lithium-ion battery works - Bosch Media Service* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/diagram-showing-how-a-lithium-ion-battery-works-35062.html>
- [61] *BU-205: Types of Lithium-ion - Battery University* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>
- [62] *NMC Battery Material for Li-ion Cells (LiNiMnCoO₂) | Targray* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.targray.com/li-ion-battery/cathode-materials/nmc>
- [63] *Types of Lithium-ion Batteries available in the market - Inverted Energy* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://inverted.in/blog/types-of-lithium-ion-batteries-available-in-the-market>
- [64] *Battery Management Systems–Part 3: Battery Charging Methods | Engineering.com* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/battery-management-systemspart-3-battery-charging-methods>
- [65] *Charging Method | Charge Control ICs | Electronics Basics | ROHM* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.rohm.com/electronics-basics/battery-charge/charging-method>
- [66] *Common battery charging methods* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: https://www.nface.com.tw/en/hot_307359.html
- [67] *“Ultra-Low” Current Consumption: A Battery Charger from STMicroelectronics - News* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/news/stbc15-battery-charger-ultra-low-current-consumption-stmicroelectronic/>
- [68] *2021 Catl Brand New Rechargeable 3.7v 117ah 120ah 8s2p Module Lithium Ion Battery Module Ncm Power Supply Batteries - Buy 3.7v 117ah 120ah 8s2p Module*

- Lithium Ion Battery, Catl Ncm Batteries, Power Supply Battery Product on Alibaba.com* [online]. [vid. 2023-03-10]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/2021-CATL-Brand-New-Rechargeable-3_1600286841992.html?spm=a2700.wholesale.maylikeexp.8.2b864713xAxguU
- [69] *The Top 5: EV Battery Manufacturers in the World - Saur Energy International* [online]. [vid. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.saurenergy.com/ev-storage/the-top-5-ev-battery-manufacturers-in-the-world>
- [70] *VW ID S8 Modules battery 6.85kWh - 0Z1915 599 H* [online]. [vid. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.secondlife-evbatteries.com/collections/ev-battery/products/vw-id-8s-battery-module-0z1915599h>
- [71] *Byd Electric Car Battery Modules 12s1p 50ah 43.2v Nmc Li-ion Lithium Ion Leaf Ev Battery Module - Buy Electric Car Battery Module, Byd Battery, Leaf Battery Product on Alibaba.com* [online]. [vid. 2023-03-10]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/BYD-electric-car-battery-modules-12S1P_1600438102874.html
- [72] *Tesla 5.3 kWh Module (85 kWh Pack) | Batteries | Stealth EV* [online]. [vid. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://stealthev.com/product/tesla-module/>
- [73] *The Top 10 EV Battery Manufacturers in 2022* [online]. [vid. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.visualcapitalist.com/the-top-10-ev-battery-manufacturers-in-2022/>
- [74] *Chart: Lithium Battery Prices Plunge | Statista* [online]. [vid. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.statista.com/chart/23807/lithium-ion-battery-prices/>
- [75] *Increase in Battery Prices Could Affect EV Progress | BloombergNEF* [online]. [vid. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://about.bnef.com/blog/increase-in-battery-prices-could-affect-ev-progress/>
- [76] *Rising Battery Prices Keeping Electric Cars Expensive, Delaying Cheap Models* [online]. [vid. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/cheap-electric-cars-delayed-ev-battery-prices-lithium-2022-12>
- [77] *Enyaq iV | Škoda Auto a.s.* [online]. [vid. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv>
- [78] *Fluke 179 TRMS Multimeter | Digital Multimeter | Fluke* [online]. [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.fluke.com/en/product/electrical-testing/digital-multimeters/fluke-179>

- [79] *Technical Support: N8954A Autoranging System DC Power Supply, 500 V, 90 A, 15000 W, 400 VAC | Keysight* [online]. [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.keysight.com/mx/en/support/N8954A/autoranging-system-dc-power-supply-500v-90a-15000w-400-vac.html>
- [80] *Software pro správu údajů o přijímacích a provozních zkouškách | PowerDB™ Pro* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://cz.megger.com/software-pro-spravu-udaju-o-prejimacich-a-provoznich-zkouskach-powerdb-trade;-pro>
- [81] *Torkel 820,840,860 - TMV SS* [online]. [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.tmvss.cz/vyrobci/programma-megger/torkel-820840860>

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Elektromobil značky GM Eletrovair [8].....	7
Obr. 2 General Motors EV1 [11].....	8
Obr. 3. Edisonova baterie s 54 nikl-železnými články [15].....	9
Obr. 4 Stupeň elektrifikace pro různé druhy vozidel [17].....	11
Obr. 5 Schéma klíčových komponentů BEV [18].....	12
Obr. 6 Schéma klíčových komponentů PHEV [18].....	13
Obr. 7 Schéma paralelního a sériového pohonu hybridních vozidel [25].....	15
Obr. 8 Schéma sériově paralelního pohonu hybridních vozidel [25].....	16
Obr. 9 Schéma klíčových komponentů HEV [18].....	17
Obr. 10 Schéma klíčových komponentů FCEV [18].....	19
Obr. 11 Schéma složení bateriového systému [39].....	23
Obr. 12 Sériové zapojení čtyř článků (4S) [47].....	25
Obr. 13 Paralelní zapojení čtyř článků (4P) [47].....	26
Obr. 14 Sériově paralelní zapojení čtyř článků (2s2p) [47].....	27
Obr. 15 Design válcového článku [48]	27
Obr. 16 Válcové články 18650 a 21700 [49].....	27
Obr. 17 Design „Pouch“ článku [51].....	28
Obr. 18 Design prizmatického článku [53].....	29
Obr. 19 Olověná baterie v řezu [54].....	30
Obr. 20 Třetí generace NiMH baterie Toyota [55].....	31
Obr. 21 Nabíjecí a vybíjecí procesy Li-ion článku [60].....	32
Obr. 22 Nabíjecí metoda konstantního proudu a napětí [67].....	36
Obr. 23 Bateriový modul CATL 8S2P [68].....	37
Obr. 24 Bateriový module LG 8S3P [70].....	38
Obr. 25 Bateriový module BYD 12S1P [71].....	38
Obr. 26 Bateriový module Panasonic 76P6S [72].....	39
Obr. 27 Přední výrobci baterií pro elektrická vozidla za rok 2022 [73].....	40
Obr. 28 „Pouch“ článek testovaného modulu [39].....	43
Obr. 29 Vnější schéma měřeného modulu [39].....	43
Obr. 30 Schéma vnitřního uspořádání komponentů modulu [39].....	44

Obr. 31 Trakční baterie 82 kWh [39]	45
Obr. 32 Trakční baterie 62 kWh [39]	46
Obr. 33 Nastavení bateriové zátěže pomocí softwaru PowerDB Lite	50

8.2 Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání druhů elektrických vozidel.....	19
Tab. 2 Souhrn parametrů Li-ion článků [61]	35
Tab. 3 Přehled nabíjecích metod baterií [64].....	35
Tab. 4 Stav SOC k danému napětí článku při 23 °C [39].....	42
Tab. 5 Komponenty obsažené v modulu [39].....	44
Tab. 6 Parametry modulu Typ 1 [39]	45
Tab. 7 Parametry modulu Typ 2 [39]	46
Tab. 8 Stav SOC k danému napětí modulu Typ 1 při 23 °C.....	48
Tab. 9 Stav SOC k danému napětí modulu Typ 2 při 23 °C.....	49
Tab. 10 Výchozí hodnoty pro nastavení vysokonapěťového zdroje.....	50
Tab. 11 První měření napětí staré moduly	51
Tab. 12 První měření stav SOC staré moduly	52
Tab. 13 Druhé měření napětí staré moduly.....	52
Tab. 14 Druhé měření stav SOC staré moduly	52
Tab. 15 První měření napětí nové moduly.....	53
Tab. 16 První měření stav SOC nové moduly	53
Tab. 17 Výsledky kapacitního testu modul Typ 1	56
Tab. 18 Výsledky kapacitního testu modul Typ 2	59
Tab. 19 Výsledky degradace starých modulů Typ 1.....	59
Tab. 20 Výsledky degradace starých modulů Typ 2.....	60

8.3 Seznam grafů

Graf. 1 Globální přehled prodeje BEV, PHEV uvedený v tisících [32].....	20
Graf. 2 Vývoj registrací EV v ČR [35].....	21
Graf. 3 Vývoj registrací nových BEV, PHEV [35]	22
Graf. 4 Vývoj ceny baterií za kWh [76]	41
Graf. 5 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, nový modul	54
Graf. 6 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, nový modul	55
Graf. 7 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, starý modul	55
Graf. 8 Vybíjecí charakteristika: Typ 1, starý modul	56
Graf. 9 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, nový modul	57
Graf. 10 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, nový modul	57
Graf. 11 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, starý modul	58
Graf. 12 Vybíjecí charakteristika: Typ 2, starý modul	58