

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PŘÍSTROJOVÉ A ŘÍDÍCÍ TECHNIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Budoucnost elektromobility -  
akumulátory

Bc. Jan Mareš

2020



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mareš** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **434762**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**  
 Studijní program: **Strojní inženýrství**  
 Studijní obor: **Přístrojová a řídicí technika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Budoucnost elektromobility – akumulátory**

Název diplomové práce anglicky:

**Future of Electromobility – Accumulators**

Pokyny pro vypracování:

Posuďte možnosti rozvoje elektromobility s ohledem na aktuální možnosti akumulátorů. V rámci řešení  
 - zpracujte rešerši zaměřenou na typy akumulátorů, jejich parametry a vlastnosti s ohledem na využití v elektromobilech;  
 - ve vybraném programovacím jazyce vytvořte aplikaci pro zpracování výpočtů, umožňujících vyhodnotit náklady na výrobu, údržbu a likvidaci akumulátorů, včetně dopadů na emisní stopu CO<sub>2</sub>;  
 - pomocí aplikace zpracujte požadované bilanční a ekonomické výpočty a výstupy vyjádřete ve vhodných závislostech;  
 - proveďte diskuzi výsledků s ohledem na surovinovou náročnost výroby, ekonomické aspekty, bezpečnost při použití, náročnost údržby a zhodnoťte dopady na emisní stopu CO<sub>2</sub> v porovnání s automobily se spalovacími motory.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HROMÁDKO, J. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.  
 [2] DITL, P., NETUŠIL, M. Bilancování a simulace systémů v MS Excel. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06396-5.  
 [3] Buchmann, I. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. © 2020 Isidor Buchmann [cit. 10. 04. 2020]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com>  
 [4] HE3DA [online]. © 2019 HED3DA [cit. 10. 4. 2020]. Dostupné z: <http://www.he3da.cz>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Moravec, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Jiří Moravec, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací zpracoval samostatně a souhlasím s tím, že její výsledky mohou být dále využity dle uvážení vedoucího této práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze dne .....

Podpis .....

### **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Moravcovi, Ph.D. za jeho rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky a připomínkami k tématu. Dále bych rád poděkoval své snoubence a rodině za podporu.

## **Anotace**

Tato diplomová práce zpracovává problematiku akumulátorů a jejich možný rozvoj jako hlavního pohonu automobilů.

Popisuje jejich historii, základní rozdělení, výhody a nevýhody a v současnosti nejvíce používané technologie NMC a NCA. V kapitole o prototypch v testovací fázi jsou uvedeni možní nástupci těchto technologií.

Praktická část obsahuje program v jazyce C#, který počítá ekonomické aspekty elektromobilu v porovnání s automobilem.

## **Annotation**

This diploma thesis deals with the topic of accumulators and development of them to be the main source of power for cars.

The above mentioned describes their history, division, advantages and disadvantages and the most frequently used technologies NMC and NCA. Also the possible successors of these technologies are introduced.

The practical part consists of C# programming language application, which is able to count the economical aspects of electric automobiles in comparison with the automobiles.

**Obsah**

Úvod.....	9
1. Elektromobil .....	10
1.1. Historie.....	10
1.2. Historie akumulátorů.....	11
2. Umístění akumulátorů v elektromobilech .....	13
3. Druhy akumulátorů .....	14
3.1. Olověné akumulátory.....	14
3.2. Nikl-kadmiové články (NiCd).....	15
3.3. Nikl-metal hydridový článek (NiMH).....	15
3.4. Lithiové články.....	16
3.4.1. LTO – Lithium titan ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) .....	17
3.4.2. LFP – Lithium železo fosfát ( $\text{LiFePO}_4$ ) .....	18
3.4.3. LMO – Lithium mangan ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) .....	18
3.4.4. LCO – Lithium kobalt ( $\text{LiCoO}_2$ ) .....	18
3.4.5. NMC – Lithium nikl mangan kobalt ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ) .	19
3.4.6. NCA – Lithium nikl kobalt hliník ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ ) .	19
3.5. Porovnání technologií.....	20
3.6. Vývoj.....	20
3.6.1. Nové druhy akumulátorů .....	22
4. Komponenty .....	23
4.1. Bateriový článek.....	23
4.2. Akumulátorový box.....	25
4.3. Battery Management System (BMS).....	27
4.4. Výroba baterií.....	28
5. Provozní parametry .....	30
5.1. Spotřeba.....	30
5.2. Životnost.....	31

6.	Nabíjení .....	34
6.1.	Typy dobíjecích konektorů.....	35
6.1.1.	Typ 2 – Mennekes (IEC 62196) .....	36
6.1.2.	CCS Combo 2 .....	36
6.1.3.	CHAdeMO .....	37
6.2.	Veřejné dobíjecí stanice.....	38
6.3.	Solární nabíjení.....	39
6.4.	Bezdrátové.....	40
7.	Ekonomické aspekty .....	42
7.1.	Náklady na výrobu akumulátorů.....	42
7.2.	Náklady na provoz elektromobilu (Kč/km) .....	43
7.3.	Cena nabíjení.....	44
7.4.	Cena nabíjecí infrastruktury.....	45
7.4.1.	Nabíjecí kabely .....	45
7.4.2.	Přenosné nabíječky .....	46
7.4.3.	Domácí stanice .....	47
7.4.4.	Rychlonabíjecí stanice .....	47
8.	Ekologické aspekty .....	48
8.1.	Emise.....	48
8.2.	Materiály.....	50
8.3.	Recyklace.....	51
8.4.	Podíl energie z obnovitelných zdrojů.....	52
9.	Bezpečnost .....	54
10.	Vývojové vize elektromobility .....	55
11.	Praktická část .....	59
11.1.	Výpočtový program .....	59
11.1.1.	Výpočet hodnot elektromobilů.....	60
11.1.2.	Výpočet hodnot automobilů.....	67

Závěr .....	70
Zdroje .....	71
Seznam rovnic .....	82
Seznam tabulek .....	82



## Úvod

V diplomové práci představím parametry akumulátorů a jejich rozdělení. V práci se budu zabývat historií elektromobility, tedy prvními zmínkami o elektromobilech a poté i o samotných akumulátorech.

V teoretické části popíši různé druhy sekundárních článků, jejich princip fungování, cenu a použité materiály. Tyto technologie následně porovnáám a zhodnotím a uvedu jejich klady a zápory. Dále zmíním prototypy, které mají šanci se prosadit, a změnit tak v budoucnu trh s elektromobily. Popíši komponenty elektromobilů, primárně ty, které jsou odlišné od klasických automobilů.

Poté se zaměřím na samotný provoz elektromobilu. Analyzuji jeho náklady, spotřebu energie, dojezd a životnost akumulátoru. Zároveň popíši typy dobíjecích konektorů, jejich a dobíjecí rychlosti. Spolu s tím uvedu i finanční náročnost dobíjecí infrastruktury, ceny nabíjení u poskytovatelů dobíjení a cenu samotných akumulátorů.

V další fázi teoretické části poukáži na ekologické aspekty, které v souvislosti s elektromobilitou vyvstávají. Porovnáám automobily s elektromobily z hlediska vyprodukovaných emisí CO<sub>2</sub>. Započítám i uhlíkovou stopu z výroby a rovněž to, co se týče samotné jízdy. Zmíním materiály potřebné k výrobě a jejich dostupnost a budu se věnovat i možnosti získávat materiály recyklací.

V praktické části vytvořím program, který bude porovnávat ekonomické a ekologické aspekty na základě zadaných parametrů a vybraných technologií. Bude se jednat o kalkulátor hodnot pro případné zájemce o elektromobily, kterým pomůže orientovat se v dané problematice a zvolit tak nejvýhodnější variantu. Přednastavené hodnoty bude možno pro pokročilé uživatele libovolně měnit. Aplikaci bude nutné průběžně aktualizovat vzhledem

k předpokládanému vývoji parametrů, a je tedy možné v jejím vývoji pokračovat.

## **1. Elektromobil**

### **1.1. Historie**

Elektromobily mají překvapivě dlouhou historii a jejich počátek se datuje už do 19. století. Již v roce 1832 sestrojil Robert Anderson elektricky poháněný vůz, o automobilu tak, jak ho známe, ještě nemůže být řeč [1]. Vůz ovšem nebyl praktický, byl drahý, a proto na dlouhou dobu jeho vývoj stagnoval. Až v 90. letech se začíná svět elektromobilů rozhýbávat a auto se dostává i na území Ameriky, kde se do jeho zdokonalování zapojil i Nikola Tesla a snažil se zlepšit vlastnosti baterií. Tento boom elektrických vozů ovšem trvá jen do roku 1908, kdy Henry Ford přichází na trh s revolučním Modelem T, který byl poháněn zážehovým motorem a trh s automobily se změnil [1]. Nastává postupný pokles prodejů vozů na elektřinu, jež zapříčinil zastavení výroby elektromobilů kolem 30. let 20. století, kdy elektromobily už nejsou k dispozici. Model T je díky sériové výrobě levnější, lidem dostupnější. Čerpací stanice jsou četnější a spolu s nízkou cenou benzínu není důvodu uvažovat, že vývoj půjde jiným směrem, z toho důvodu všechny společnosti pracují jen na vylepšování spalovacích motorů.

Do 70. let není o elektromobilech prakticky žádná zmínka a nikdo je neprodukuje. V roce 1973 ovšem nastává ropný šok, cena ropy se zvyšuje až o 400 % a začíná se hovořit o jejím možném nedostatku [1]. To vrací zpět do hry elektromobily a začíná jejich „druhý život“. Vyvrcholením je pak přelom tisíciletí, kdy vznikají první prototypy elektromobilů, a elektrický pohon je poprvé implementován do sériové výroby. Jako legendární lze označit model EV1

od firmy General Motors, pro kterou to byl první, a zároveň poslední elektromobil ve flotile [1]. Tento model se začal prodávat před koncem tisíciletí a disponoval takovými parametry, kterými se mohl rovnat ostatním automobilům. I když se nejednalo o elektromobil, tak k rozvoji elektromobility po celém světě přispěl i hybrid Toyota Prius, jehož výroba začala právě na přelomu tisíciletí.

Prvním Čechem, který stál za vývojem prvního elektromobilu (Obrázek 1), byl známý průkopník František Křižík, který v roce 1895 sestrojil vůz se stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,7 kW [2]. Na českém území dále s touto myšlenkou přichází Ferdinand Porsche, jehož model elektromobilu Porsche P1 byl poté ale konstruován v Německu.



Obrázek 1 - Vůz, poháněný elektrinou, vyrobený Františkem Křižíkem [2]

## 1.2. Historie akumulátorů

Aby se však o elektromobilech dalo vůbec hovořit, musely k tomu být v minulosti vytvořeny podmínky. Tou hlavní pak bylo vynalezení zdroje energie, který by elektromobil poháněl. K objevu baterií přispěla náhoda, když italský

vědec Luigi Galvani prováděl pokusy se žábami stehýnky (1786), která napichoval na měděné dráty a poté řezal skalpelem [3]. Dotykem ruky na neizolované části preparačního nože přeskočil náboj a noha se pohnula. Tento jev Galvani zaznamenal a na jeho počest byl později pojmenován galvanický článek.

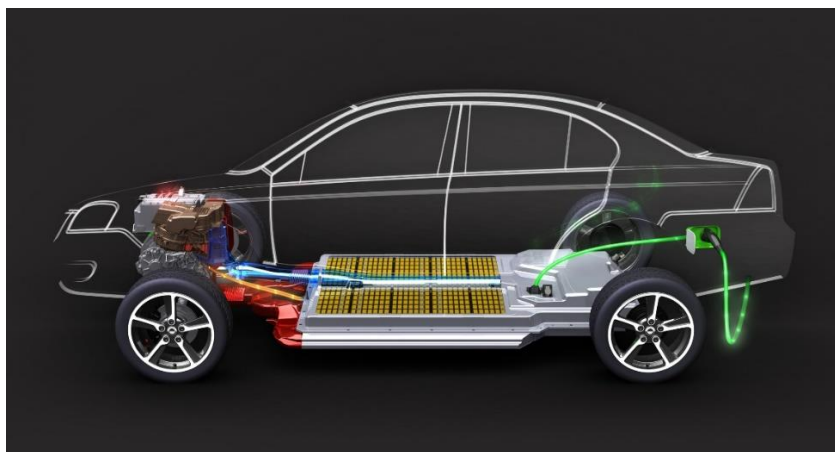
Dalším historickým pokračovatelem ve vývoji byl Galvaniho spolupracovník Alessandro Volta, který potvrdil pokus s žábami (1791), avšak nepřisuzoval příčinu vzniku elektrického náboje žábě, nýbrž spojení dvou kovů [3]. Po dalším bádání tedy v roce 1800 přišel s tzv. Voltovým elektrochemickým článkem, což byly dvě vrstvy z mědi a zinku oddělené od sebe vrstvou látky namočené ve slaném nálevu [4]. Tito předchůdci baterií byly jen na jedno použití, měly problémy s délkou doby dodávané energie a úniky elektrolytu, což způsobovalo zkratky. Britský chemik John Frederic Daniell pak vytvořením Daniellova článku posunul vývoj o něco dále v roce 1836, kdy odstranil vady Voltova článku s únikem elektrolytu a zvýšil dobu dodávané energie [4].

Významným se stal rok 1859, kdy francouzský vědec Gaston Planté překonal problém jednorázových baterií [3]. Jeho olověný akumulátor bylo možné dobíjet a tato technologie je dodnes využívána (viz dále kapitola 3.1). Další používaný typ akumulátorů, nikl-kadmiový (NiCd), vynalezl v roce 1899 Švéd Waldermar Jungner [4]. Součástky dnes nejčastěji používaných lithium iontových baterií vznikaly od 90. let. Lithium kobalt oxidová ( $\text{LiCoO}_2$ ) katoda v roce 1980, grafitová anoda v roce 1982 a v roce 1991 byla firmou Sony spuštěna komerční výroba lithium iontových akumulátorů [3].

## 2. Umístění akumulátorů v elektromobilech

Akumulátory v elektromobilech se nachází ve spodní části karoserie (Obrázek 2). Rozložení baterie je rovnoměrné mezi přední a zadní nápravou, čímž se auta mohou dostat na téměř shodný poměr hmotnosti přední a zadní části. Je to způsobeno tím, že elektromotor nedosahuje rozměrů a hmotnosti spalovacího. Umístěním akumulátorů u podvozku se těžiště, oproti automobilům se spalovacím motorem, posouvá níže (u Tesla Model S 46 cm nad zemí) [6]. Souvisí to s hmotností akumulátoru, která se běžně pohybuje okolo půl tuny. Elektromobily tím získávají daleko větší stabilitu a zlepšují tak své jízdní vlastnosti (ovladatelnost). Je to zapříčiněno i vyšší hmotností, kdy Škody Citigo s elektropohonem váží o cca 300 kg více. Vyšší hmotnost by v klasických automobilech znamenala potřeba účinnějších brzd. Elektromobil tuto nevýhodu transformuje ve svoji výhodu, kdy při brždění dochází primárně k brždění elektromotorem a šetří brzdové destičky.

Umístění nabíjecí zásuvky bývá rozličné. Nacházejí se nejčastěji na boční straně auta, v místě aktuálního otvoru pro tankování paliva nad zadním kolem na straně řidiče (např. Tesla) nebo nad předním kolem na straně řidiče (např. Chevrolet Bolt), popřípadě jsou situovány v přední kapotě (např. Nissan Leaf).



Obrázek 2 – Pohled na elektromotor a akumulátor [5]

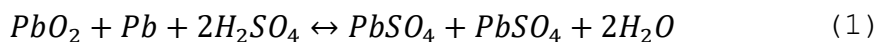
### 3. Druhy akumulátorů

V této kapitole si popíšeme jednotlivé v současnosti používané druhy akumulátorů. Z výčtu vyřadíme primární články, jelikož ty se v elektromobilech nevyskytují. Účelem sekundárních článků, tzv. dobíjecích baterií, je možnost opakovaného nabíjení, z tohoto důvodu jsou všechny chemické reakce vratné, na rozdíl od reakcí v primárních člancích. Sekundární články se dělí na dvě hlavní skupiny – na akumulátory s kyselým elektrolytem a akumulátory alkalické. Dále je lze dělit podle tvaru – na cylindrické, pouzdrové nebo prismatické [6].

#### 3.1. Olověné akumulátory

Olověné akumulátory patří do skupiny akumulátorů s kyselým elektrolytem, jejímž je nejvýznamnějším zástupcem. Elektrolytem je kapalná kyselina sírová ( $H_2SO_4$ ), které musí být v akumulátoru tolik, aby horní hranice elektrod zůstala stále ponořena, což zabraňuje jejich poškození [8]. V nabitém stavu je záporná elektroda vyrobena z porézního olova a kladná z oxidu olovičitého ( $PbO_2$ ) [7]. Jeho využití v automobilech je primárně skrze trakční 12 V baterii, díky své schopnosti poskytnout vysoký výkon po cca 1 vteřinu, který je potřebný k nastartování automobilu. Hlavní výhodou olověných akumulátorů je jejich nízká cena, i díky masivnímu rozšíření ve všech automobilech. Nevýhodou je jejich hlavní složka, olovo, které z pohledu recyklačního procesu, není do budoucna perspektivní. Problémem je pak i ztráta kapacity, která nastává po delším časovém úseku ve vybitém stavu – sulfatace elektrod [8].

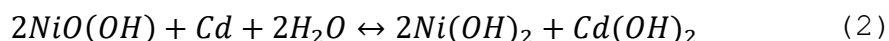
Chemický proces vybíjení a nabíjení olověného akumulátoru znázorňuje rovnice 1 [8].



### 3.2. Nikl-kadmiové články (NiCd)

Nikl-kadmiové akumulátory patří do skupiny alkalických akumulátorů, to znamená, že obsahuje zásaditý elektrolyt, nejčastěji vodný roztok hydroxidu draselného (KOH) [9]. Kladná elektroda je z oxidu hydroxidu nikelnatého a záporná z hydroxidu kademnatého. Jednotlivé články dosahují napětí 1,2 V [10].

Chemická reakce při nabíjení a vybíjení je popsána následovně:



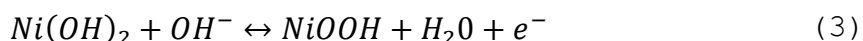
Provedení je nejčastěji v těchto konstrukčních variantách: kapsová, se spékanými elektrodami a plynotěsná. Výhodou NiCd akumulátorů je jejich robustnost, kdy zvládají vysoký nabíjecí a vybíjecí proud (až 10 C), jsou vysoce spolehlivé a pracují bez potíží v širokém spektru teplot (-40 až 70 °C) [11]. Nevýhodou těchto akumulátorů jsou vyšší výrobní náklady, nízký rozsah cyklů (okolo 500), výskyt toxického kadmia a paměťový efekt (nabíjení jen zcela vybitého článku, jinak dochází ke ztrátě kapacity).

### 3.3. Nikl-metal hydridový článek (NiMH)

Nikl-metal hydridový článek je dalším zástupcem alkalických akumulátorů, opět s elektrolytem ve formě vodného roztoku hydroxidu draselného [8]. Záporná elektroda je u NiMH akumulátorů tvořena kovovou slitinou, kladná identická s NiCd. Totožné s NiCd je i jmenovité napětí, 1,2 V. Zásadní rozdíl složení spočívá ve využití vodíku namísto kadmia, ve slitině kovu na katodě. Výroba

akumulátorů na bázi niklu upřednostňuje daleko více provedení NiMH, a to z více důvodů: vylepšená stabilita, větší energetická hustota a kapacita (až o 50 %) a chybějící paměťový efekt [12]. Vodík zaručuje životnost řádově více cyklů (až 3000) a absence kadmia nezatěžuje do takové míry životní prostředí. Nevýhodami jsou naopak citlivost na přehřívání a úplné vybití, obojí zkracuje životnost [9]. Při nabíjení také články produkují nadměrně teplo a dochází k velkému samovybití.

Chemická reakce při nabíjení a vybíjení je popsána následovně:



### 3.4. Lithiové články

Spíše než lithiové články se používá označení Li-ion akumulátory. Lithium se vyskytuje na obou elektrodách, pouze s rozdílem obsažení v rozličných sloučeninách. Odlišné podoby sloučenin lithia mají jiné fyzikální a chemické vlastnosti, z tohoto důvodu existuje škála druhů Li-ion akumulátorů. V drtivé většině, v porovnání s akumulátory na bázi niklu, mají Li-ion lepší vlastnosti, a proto se vývoj akumulátorů ubírá tímto směrem.

#### Výhody:

- dlouhá životnost (500 ÷ 7000 cyklů) při poklesu na 80 % původní kapacity (cca 5 let)
- široký rozsah pracovních teplot (-40 °C ÷ +60 °C)
- široká škála tvarů a provedení
- nízká hmotnost
- bezúdržbové (zapouzdřené články)
- paměťový efekt blíží se nule
- vysoký výkon



- nízké samovybíjení + možnost rychlého nabíjení
- vysoká specifická energie (až 255 Wh/kg)

### **Nevýhody**

- výrobní a pořizovací cena (drahé materiály a náročný technologický postup za účelem implementace ochranných obvodů)
- degradace kapacity v čase
- degradace materiálů při extrémních teplotách (méně než -40 °C a více než 60 °C)
- snížení maximální kapacity při procesu rychlého nabíjení/vybíjení
- nutnost ochranných obvodů (zajištění ochrany před úplným vybitím – došlo by k degradaci elektrodových materiálů)

#### **3.4.1. LTO – Lithium titan ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ )**

Lithium titanový akumulátor disponuje některými zajímavými vlastnostmi. Nejrychleji ze všech li-ion baterií se nabíjí, kdy bezpečně zvládá rychlost 10C. Výhodami je zvládání teplotních extrémů (-30 až 55°C), vysoký počet cyklů (3000 – 7000), stabilita a šetrnost vůči životnímu prostředí [13]. Nevýhodou je, že lithium-titanové baterie mají nižší vlastní napětí (2,4 V / článek), což vede k nižší energetické hustotě než běžné technologie lithium-iontových baterií [13]. Dříve byly tyto akumulátory využívány na japonském trhu pro Mitsubishi i-MiEV a do některých elektrických motorek Honda, v dnešní době ale už využívány nejsou.

### 3.4.2. LFP – Lithium železo fosfát ( $\text{LiFePO}_4$ )

Největší výhodou tohoto typu akumulátoru je vysoká bezpečnost, kdy nehrozí vzplanutí nebo exploze během ultrarychlého nabíjení/vybíjení (díky chemické stabilitě železo fosfátové katody). Specifická energie se pohybuje mezi 90 – 160 Wh/kg, s pracovním napětím 3,3 V. Mezi další výhody patří nízká váha na hustotu uložené energie v porovnání s ostatními akumulátory, dlouhodobá cyklovatelnost (až 5000 cyklů), nízké samovybíjení (<3 % měsíčně), schopnost zvládat vysoké teploty (do 270 °C) a absence toxických materiálů [14]. Mezi nevýhody se řadí vyšší cena, horší integrace na současné aplikace a menší odolnost vůči otřesům a vibracím.

### 3.4.3. LMO – Lithium mangan ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )

LMO technologie využívá oxid mangančitý (dopovaný lithiem) jako svoji katodu, což má za pozitivní následek nízký odpor, lepší kontrolu nad proudem a vyšší pracovní napětí 3,8 V [15]. Díky těmto vlastnostem se její prvky přidávají i do NMC a NCA akumulátorů. Její samotná specifická energie není vysoká, pohybuje se v rozpětí 100 – 150 Wh/kg a neoslní ani počet 300 – 700 nabíjecích cyklů. Z tohoto důvodu není samostatně využíván v elektromobilech, nachází využití v elektrických nářadích a ve zdravotnických zařízeních.

### 3.4.4. LCO – Lithium kobalt ( $\text{LiCoO}_2$ )

Tento typ lithiového akumulátoru se skládá z  $\text{LiCoO}_2$  katody, grafitové anody a tekutého elektrolytu. Jeho výhodou je vysoký měrný výkon, jako u později zmíněných 2 typů. Nabíjecí/vybíjecí rychlost je optimální při 2000 mAh (0,8C), nad 2400 mAh (1C) zkracuje životnost akumulátoru. Počet cyklů se pohybuje mezi 500 – 1000, se

specifickou kapacitou 200 Wh/kg [15]. Jeho nevýhodami jsou nízká životnost, menší bezpečnost a vysoká cena. Ta je primárně z důvodu absence čistého kobaltu v přírodě. V ložiskách se objevuje pouze jako doprovodný prvek (v rudách mědi a olova). V tomto typu baterie je kobalt zastoupen z cca 60 %.

#### **3.4.5. NMC – Lithium nikl mangan kobalt ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ )**

Rozdílem od LCO typu je materiál katody, kdy NMC používá oxid manganičitý ( $\text{MnO}_2$ ) s přidanými prvky lithia. Jedná se o kombinaci s materiálem z baterie LMO. Elektroda pomáhá rychlejšímu nabíjení a vybíjení díky sníženému vnitřnímu odporu zapříčiněnému obsahem manganu. Nikl naopak zlepšuje specifickou energii a kobalt napětí (3,6 V). Poměr kovů bývá nejčastěji 1:1:1. Kobalt obsažený v tomto typu se pohybuje okolo 15 % celkového objemu kovů [15]. Akumulátory jsou hojně využívány pro svoji bezpečnost a prověřené vlastnosti, zároveň jsou vysoce výkonné. Jako akumulátor je využívá většina výrobců (Nissan, BMW, Chevrolet).

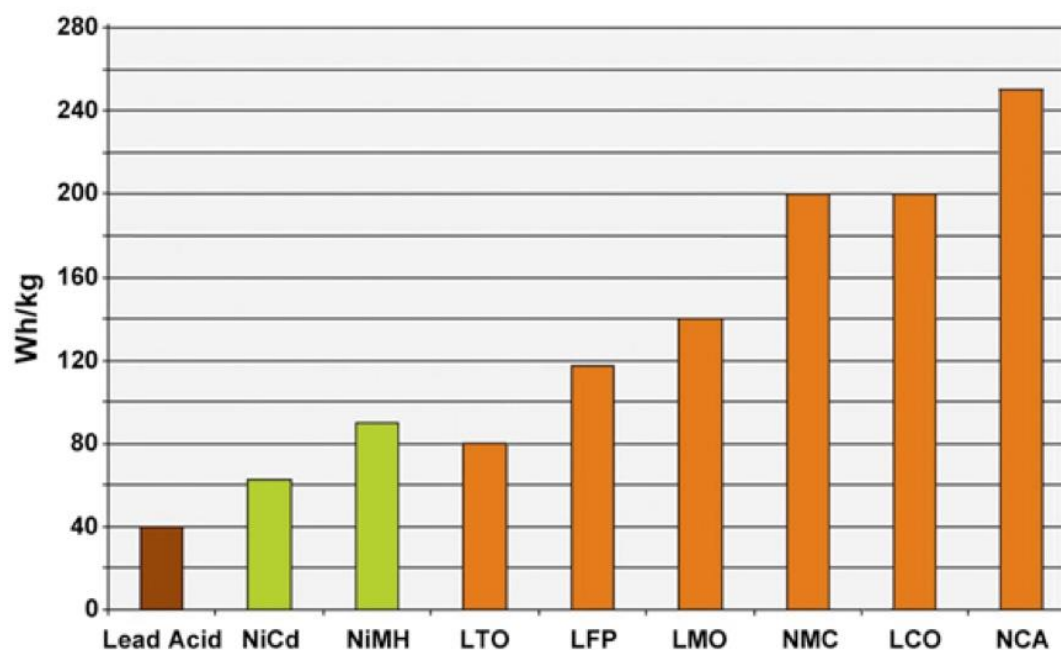
#### **3.4.6. NCA – Lithium nikl kobalt hliník ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ )**

Lithium-nikl-kobaltová baterie z oxidu hlinitého neboli NCA, existuje od roku 1999. Sdílí podobnosti s NMC tím, že nabízí vysokou specifickou energii (200 – 240 Wh/kg), napětí 3,6 V a dobrou životnost (500–1000 cyklů) [15]. Namísto manganu se na katodě vyskytuje hliník, kvůli vyšší chemické stabilitě, jelikož se nepodílí na oxidaci a redukci. I přes toto opatření je za nevýhodu oproti NMC brána nižší bezpečnost a zvýšené náklady. To kvůli vyššímu obsahu niklu oproti ostatním materiálům. Poměry materiálů katody jsou podrobovány vědeckému bádání a v současné době

je v některých aplikacích tvořena poměrem  $\text{LiNi}_{0,84}\text{Co}_{0,12}\text{Al}_{0,04}\text{O}_2$ . Tento poměr v současnosti využívá i Tesla, která jako jediná z velkých hráčů na trhu využívá technologii NCA.

### 3.5. Porovnání technologií

Z detailního popisu použitých technologií a materiálů plyne, že výrobci baterií dávají přednost bateriím s největší uschovanou energií na kg hmotnosti. Ať už kvůli omezenému prostoru pro velikost baterie, tak i snaze o redukci hmotnosti. Nejlépe v tomto ohledu vychází technologie NCA (250 Wh/kg), LCO a NMC (obě 180 Wh/kg). Grafické porovnání jednotlivých technologií je ilustrováno na obrázku 3.

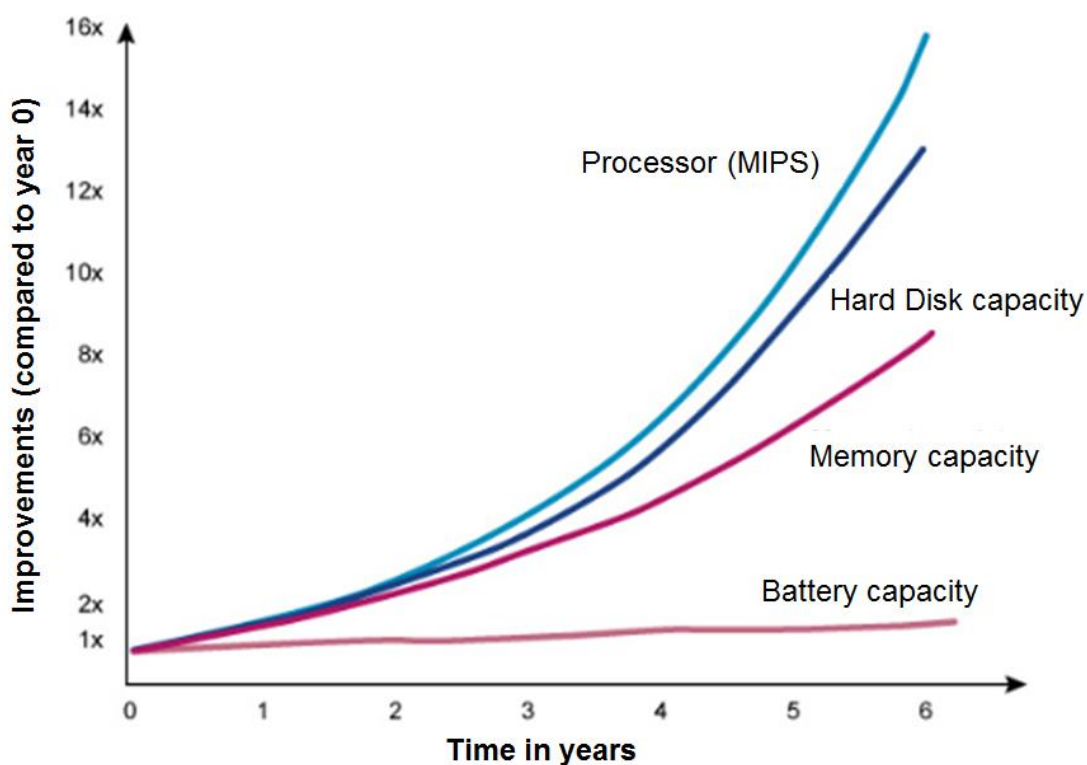


Obrázek 3 – Porovnání množství uschované energie pro různé technologie [15]

### 3.6. Vývoj

Baterie je udávána jako hlavní nevýhoda elektromobilů, kdy neposkytuje dlouhý dojezd na jedno dobití. Není se moc čemu divit, jelikož baterie neprocházela v posledních dekádách tak výrazným progresem, jako ostatní elektronické

komponenty (obrázek 4). Zatímco jiné elektronické součástky se každé dva roky zdvojnásobí ve svých parametrech (Moorův zákon), tak u baterií vývoj tak prudký nebyl. O nedostatečné kapacitě baterií se diskutuje od nástupu dotykových telefonů, kdy začala být doba nabití okolo jednoho dne hodnocena jako palčivý problém a bylo nutné ji navýšit.



Obrázek 4 - Vývoj elektrických součástek od roku 1991 [16]

Progres ve vývoji ale svým tempem pokračuje. Zatímco první generace baterií od společnosti LG v roce 2010 poskytovala dojezd méně než 200 km, a na 80 % kapacity se nabíla za 60 minut, druhá generace v roce 2016 poskytovala dojezd 200–500 km, při nabití na stejnou úroveň za 40 minut [17]. Akumulátor třetí generace používaný v roce 2020 se pyšní dojezdem více než 500 km a rychlým nabíjením za 30 minut.

### 3.6.1. Nové druhy akumulátorů

Nejslibnějším provedením do budoucnosti se jeví lithio-sírný (LiS) akumulátor. Náklady na těžbu síry jsou mnohonásobně levnější než u ostatních materiálů ( $S \sim 80$  Kč/kg vs  $\text{LiFePO}_4 \sim 1400$  Kč/kg) a zásoby síry ve světě se nyní jeví jako dostatečné [18]. Teoretická kapacita sírného akumulátoru je okolo 1675 mAh/g (až 10x větší než lithium) při nižším napětí (2,1 V) a má vysokou gravimetrickou hustotu energie (cca 3200 Wh/kg) [18]. Nevýhodami jsou objemová roztažnost během cyklování (až 80 %, způsobující trhání a borcení systému), rozpouštění síry během nabíjecích cyklů, v návaznosti na to vznikající nežádoucí polysulfidy, usazující se na povrchu anody. To má za následek pokles její kapacity. Síra navíc není dobrý vodič ( $5 \cdot 10^{-30}$  S/m), proto je nutné přidávat aditiva pro zvýšení vodivosti.

Dalším z připravovaných prototypů jsou akumulátory na bázi sodíku. Výhoda sodi-iontových baterií je podobně jako u LiS v široké dostupnosti sodíku (4. nejčastější prvek v zemské kůře). Jeho těžba je levná (v průměru 60 Kč/tuna), u prototypů dosahuje ve srovnání se současnými akumulátory delší dobu životnosti. Nevýhodou sodíku jsou jeho větší ionty, tudíž gravimetrická hustota uložené energie bude nižší. Uvažuje se tedy spíše o využití v podobě velkokapacitních zásobníků energie [19].

Dalším variantou je lithium – kyslíkový akumulátor, který se poprvé objevil v roce 2009. Mezi výhody patří nízká hmotnost, ekologická nezávadnost a obrovská teoretická hustota energie (11,5 kWh/kg), která se může měřit i s benzínem (13 kWh/kg) [20]. Nevýhodou je nutnost otevřeného profilu, za účelem přívodu kyslíku, a s ním spojené filtrování venkovního vzduchu od ostatních složek vzduchu a malých částic. Zatím jsou prototypy jen

v laboratorních podmínkách, dosahující jednotek nabíjecích cyklů, navíc podmiňované přísunem čistého kyslíku, nikoli vzduchu. I přes přívod pouze čistého kyslíku vzniká problém s oxidem lithným, který se vytváří během nabíjení. Není možné jej zpětným procesem rozložit, při opětovném nabíjení brání přívodu dalšího kyslíku a tím rapidně snižuje kapacitu akumulátoru.

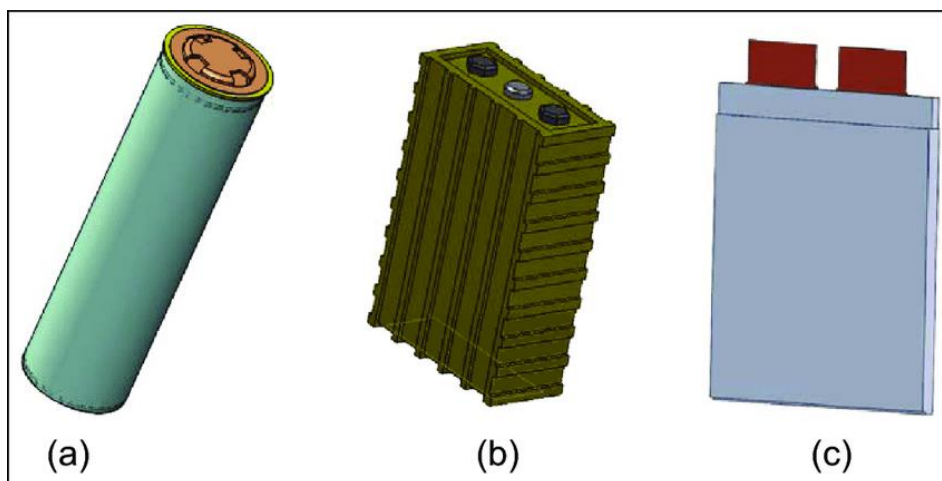
Několik firem se rozhodlo pro vyzkoušení silikonu jako materiálu budoucnosti. Hlavním motivem je nahrazení hojně využívaného materiálu pro anodu, grafitu. Silikon má oproti grafitu vyšší kapacitu a až 8x rychlejší nabíjení. Zatím nevyřešenými problémy, které brání v sériovém nasazení, je rapidní degradace elektrody kvůli nadměrným změnám struktury a objemu (300% a více) v průběhu lithiace/delithiace, nestabilita na rozhraní elektroda/elektrolyt a nízká elektrická vodivost materiálu [21]. Výzkumem se zabývají firmy Enevate, SILA nanotechnologies a ENOVIX.

Za zmínku stojí i Švýcarská firma Innolith, která ponechává současné materiály a technologie, ale snaží se vylepšovat použitý elektrolyt. Jejich anorganická sloučenina má mít za následek zvýšení maximálního napětí na 5 V, při zachování stability a rozsahu pracovních teplot [22].

## **4. Komponenty**

### **4.1. Bateriový článek**

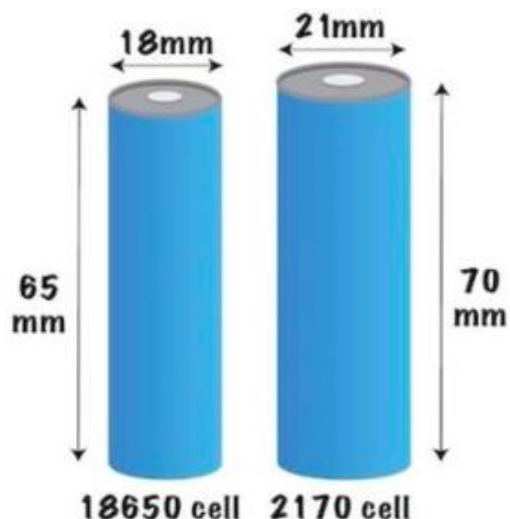
Veškeré technologie, které byly výše popsány, musejí být pro běžné používání umístěny do hermetických obalů. Bateriový článek je základem celého elektromobilu, jelikož se v něm uschovává energie, která celý stroj pohání. Článek může mít rozdílný tvar, na trhu jsou nejvíce zastoupeny cylindrické, prismatické a pouzdrové (Obrázek 5).



Obrázek 5- Provedení akumulátorů a) cylindrické b) prismatické c) pouzdřové [23]

Cylindrický tvar akumulátorů v dnešní době využívá společnost Tesla. Akumulátory vyrábí Tesla sama ve své Gigafactory, s produkcí akumulátorů o celkové kapacitě 35 GWh/rok [25]. Označení 18650 se vytvořilo podle rozměrů, kdy jsou dané baterie 65 mm vysoké a mají 18 mm v průměru (Obrázek 6). Váží 45-48 g a taková baterie má kapacitu mezi 2200-3600 mAh, odvíjející se od aktuální teploty [27]. Jsou využívány u starších modelů Tesly a Model S disponuje 7104 bateriemi tohoto typu [26]. U novějších modelů se od roku 2020 budou využívat baterie označované 2170, s kapacitou 3000 až 4800 mAh, vážící 63-70 g [27]. Jsou pojmenovány podle stejného klíče jako 18650, tedy že mají průměr 21 mm a výšku 70 mm. Oproti typu 18650 mají o 46 % větší objem ( $660 \times 970 \text{ mm}^3$ ) a výrobce udává zvýšenou efektivitu o 10-15 %. Vývojem prošly i další parametry akumulátoru, což umožňuje uskladnit energii o hustotě 247 Wh/kg a nabíjecí napětí se zvýšilo na 5,75 V [27]. [13]





Obrázek 6 - Cylindrické baterie [27]

Výhodou prismatické a pouzdrové baterie je jejich škálovatelnost, kdy jednotliví výrobci volí rozměry dle svého uvážení, bez vlivu na funkčnost. Tenké prismatické formáty jsou využity v mobilních telefonech (800 – 4000 mAh), velké buňky zabalené do svařovaných hliníkových pouzder poskytují elektromobilům kapacitu 20 – 50 Ah [29].

Buňka pouzdra nabízí jednoduché, flexibilní a lehké řešení návrhu baterie. Zároveň nejefektivněji využívá prostor (90 – 95 %). Eliminace kovového krytu snižuje hmotnost, ale článek potřebuje místo pro rozšíření v prostoru pro baterie. Děje se tak z důvodu bobtnání, zatímco menší sáčky mohou růst o 8-10 % během 500 cyklů, velké buňky se mohou rozšířit na tuto velikost za 5 000 cyklů [29]. Buňky pouzdra mohou dodávat požadované proudy při vysokém zatížení, ale fungují nejlépe za podmínek mírného zatížení a při mírném nabíjení. Nebezpečným pro použití i ostatní komponenty je poté jev „nafouknutého sáčku“, takový akumulátor je potřeba neprodleně vyměnit.

#### 4.2. Akumulátorový box

V akumulátorovém boxu je obsažena řídicí elektronika a moduly, ve kterých jsou obsaženy jednotlivé bateriové

články. V Tesle S se nachází 16 modulů. Dohromady to dává hmotnost celého boxu, který u Tesly S váží 540 kg, cca 26 % celkové váhy automobilu [26]. Chevrolet Bolt disponuje akumulátorovým boxem o hmotnosti 435 kg (Obrázek 7), což z celkové hmotnosti 1620 kg dělá cca 27 % [6]. I u jiných značek je tato komponenta jedna z nejtěžších částí vozu a kolísá mezi 20-30 % celkové váhy.

Box je zapouzdřen a rozdělen do jednotlivých sekcí, ze kterých si pak řídicí elektronika sbírá energii pro pohon podle množství energie v jednotlivých sekcích. Tvarově se box liší u každého vozu podle konstrukce, umístění kabeláže a rozměrů automobilu. V převážné většině je umístěn mezi přední a zadní nápravou v podvozku. Box také slouží jako ochrana proti vibracím, teplotním a vnějším vlivům, tak aby se nepoškodily jednotlivé moduly a články uvnitř.



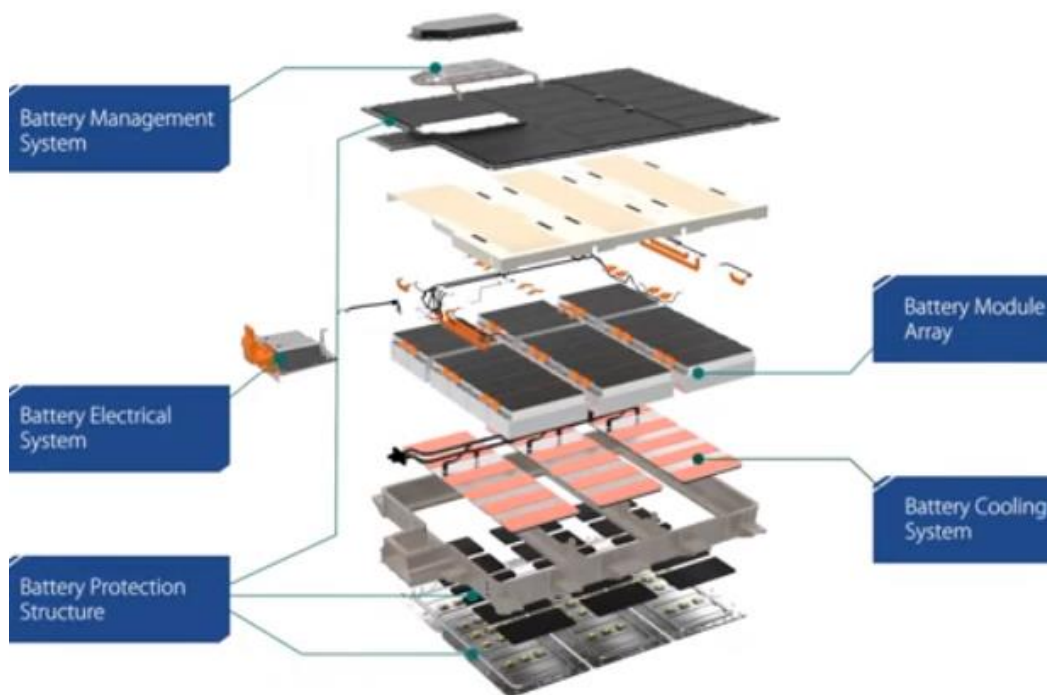
Obrázek 7 – Akumulátorový box Chevroletu Bolt [30]

V ideálním případě by měl být box otevíratelný, jelikož může dojít k poruše modulu či článku, který by poté bylo možné opravit nebo vyměnit za nový kus. Zároveň by to umožňovalo škálovatelnost, a tedy s vývojem technologie by

se mohly novější články umístit na místo starších bez nutnosti znovu vytvářet nový box. Jde to ruku v ruce s vizí možnosti modulového vozu, kdy dojde k zakoupení pouze samotného auta bez baterií, s možností dokupovat zbylé komponenty dle požadavků majitele. S postupujícím časem může docházet ke zlevňování, zvyšování kapacity a dalších parametrů, a bude tedy na uživateli, jak bude chtít svůj vůz nakonfigurovat.

#### 4.3. Battery Management System (BMS)

Jedná se o nadřazený software celého elektromobilu, nejdůležitější řídicí jednotku ve voze. Řídí a optimalizuje články, potažmo jednotlivé moduly, jejich napětí, spotřebu energie, teplotu a stav nabití. Znázornění ovládaných součástí lze pozorovat na rozpadu akumulátorového boxu (Obrázek 8).



Obrázek 8 – Rozložený akumulátorový box [31]

Chrání před přebitím, kdy by se jeden článek mohl nabít rychleji, ale zbytek článků by ještě dobit nebyl. Tím, že bychom do něj posléze dále pouštěli proud, mohlo by dojít k jeho závadě a následné poruše. Slouží zároveň k prodlužování životnosti, tím že nedochází k úplnému nabití, ale pohybuje se mezi 10-90 % maximální kapacity.

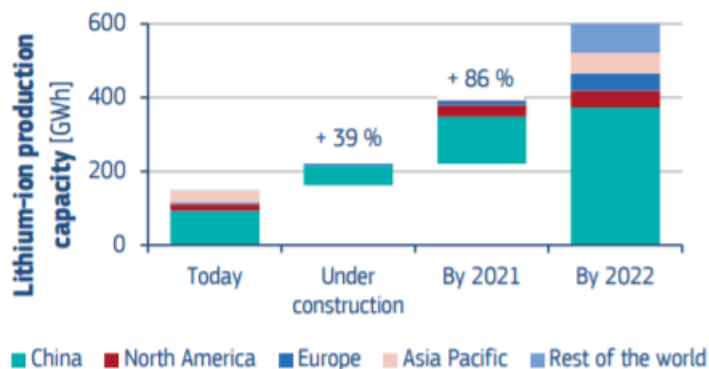
BMS zároveň ovládá ohřev i chlazení celého akumulátoru. Je zapotřebí ohřívat nebo chladit podle potřeby, aby byl akumulátor v rozmezí teplot, kdy funguje nejlépe. Jsou dva základní typy chladících médií: vzduch a voda. Vodou chlazené mají nižší opotřebení v průběhu let, kdežto u vzduchových jsou výhodami jednodušší a levnější implementace. Průměrné roční opotřebení akumulátorů chlazených vodou je u Tesly S 2,3 % a u vzduchem chlazeného Nissanu Leaf pak 4,2 % [28].

Provedení chlazení může být buď povrchové, nebo trubičkové. V případě povrchového dochází k chlazení povrchu, vnitřek baterie tedy zůstává horký. Trubičkami chlazený akumulátor chladí rovnoměrně, tím že prochází skrz. Výrazně lepších výsledků dosahuje trubičkové provedení (3x menší degradace), kdy dochází k rovnoměrnému chlazení všech částí [32]. Její nevýhodou je ale komplikovanější výroba.

#### **4.4. Výroba baterií**

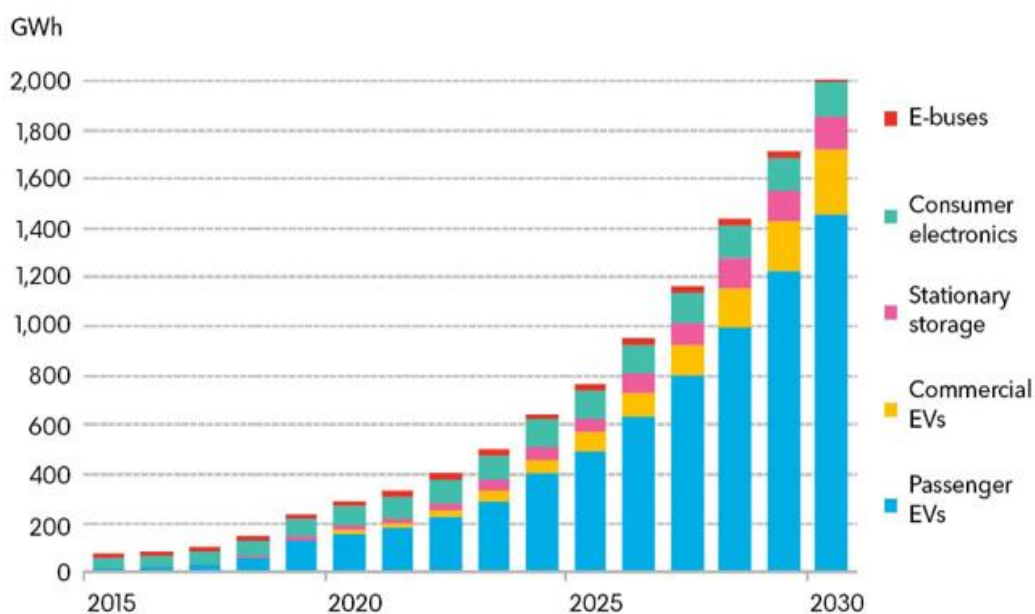
Statistika za rok 2018 ukazuje, že ve světě existuje přibližně 115 továren na výrobu baterií do elektromobilu, většina výrobních kapacit se nachází v Asii [34]. Mezi největší firmy vyrábějící lithiové baterie jsou LG Chem (50 GWh), CATL (40 GWh), BYD (25 GWh), Panasonic (25 GWh) a Tesla (20 GWh) [34]. Tato čísla se ovšem dynamicky mění, a s otevíráním nových továren se podíly na trhu přeskupují,

což lze pozorovat na Obrázku 9. Továrny, které jsou nově ve výstavbě, nebo rozšiřují svoji výrobu, navýší výrobní kapacity během 3 let trojnásobně.



Obrázek 9 – Předpokládaný vývoj výrobních kapacit do roku 2022 [35]

Celkový objem všech výrobních kapacit na začátku roku 2019 byl kolem 175 GWh [35]. Pro porovnání, v roce 2010 byl na pouhých 20 GWh. Předpokládaný exponenciální růst výrobních kapacit v následujících letech je znázorněn na následujícím obrázku 10, kopírujícím množství požadavky automobilek.



Obrázek 10 – Výhledové požadavky na výrobu akumulátorů [36]

## 5. Provozní parametry

### 5.1. Spotřeba

Hospodárnost každého auta se liší. Elektromobily s podobnými parametry a se stejně velkou baterií mohou mít jiný dojezd a průměrnou spotřebu energie na 100 km. Nyní představím několik základních faktorů, které spotřebu elektromobilů ovlivňují. Současné elektromobily mají spotřebu od 12 kWh/ 100 km, plně naložené pak mohou atakovat hranici 30 kWh / 100 km.

Pokud se baterie nabíjí střídavým proudem (AC) z elektrické sítě, následně tento proud transformují na stejnosměrný proud (DC). V akumulátoru musí být přesně kontrolován stejnosměrný proud i napětí, aby docházelo k optimálnímu nabíjení a nepoškozování životnosti baterie. Navíc musí obsahovat filtry, které zabrání nechtěnému úniku elektrického šumu zpátky do rozvodné sítě. K převodu AC proudu na DC slouží konvertor a v každém autě může být jinak výkonný, a může tedy docházet k určitým ztrátám. Při použití také hraje roli odpor, optimalizování jednotlivých odporů článků baterie a odpor kabelů uspoří část energie.

Při řízení elektromobilu se uložená energie v baterii přemění na střídavý proud za podmínky, že pohon elektromobilu zajišťuje střídavý motor. Tato přeměna se provádí pomocí zařízení zvaného invertor, měnič napětí. Zde opět bude záviset na jeho účinnosti, s jakou přemění energii na točivý moment, který pohání kola. Energií může tento měnič akumulovat při brždění, tzv. rekuperaci. Tudíž je jeho účinnost dvojnásobně důležitá.

Dalším faktorem je, kolik energie odebírají ostatní elektrická zařízení ve vozidle, jako topení, ventilátory, klimatizace, infotainment a světla. Například špatně optimalizovaný systém řízení teploty pro pohonnou jednotku

vozidla by mohl mít vysokou spotřebu energie vyžadující až 15% energie potřebné k pohonu vozidla.

Mezi další faktory můžeme připojit aerodynamiku. Správně navržený tepelný systém nebude potřeba chladit takovým stylem, jako je tomu u spalovacího motoru - přes mřížku na přední kapotě. Je tedy možné navrhnout aerodynamičtější tvar kapoty pro snížení odporu vzduchu. Dalším faktorem je pak samotná váha celého auta a jeho komponent, kdy mohou být komponenty lépe uspořádány a odstranit tím přebytečnou kabeláž.

Dále pak i rychlost a styl jízdy ovlivňuje spotřebu stejně jako u spalovacích motorů. Při vyšších rychlostech logicky dochází i k vyšší spotřebě energie z akumulátorů. Vyrovnaná jízda, s pozvolným bržděním, při kterém může docházet k rekuperaci, dojezdovou vzdálenost prodlužuje.

Experimentální zjištění, kolik kilometrů lze maximálně ujet za 24 hodin s elektromobilem, podnikla v červenci 2019 trojice mužů, Bjørn Nyland, Lukáš Hataš a Ondřej Hunčovský. S Tesla Modelem 3 Long Range ujeli 2 781 km po německých dálnicích [37]. Celkem spotřebovali 865 kWh energie, při průměrné spotřebě 311 Wh/km [37].

## **5.2. Životnost**

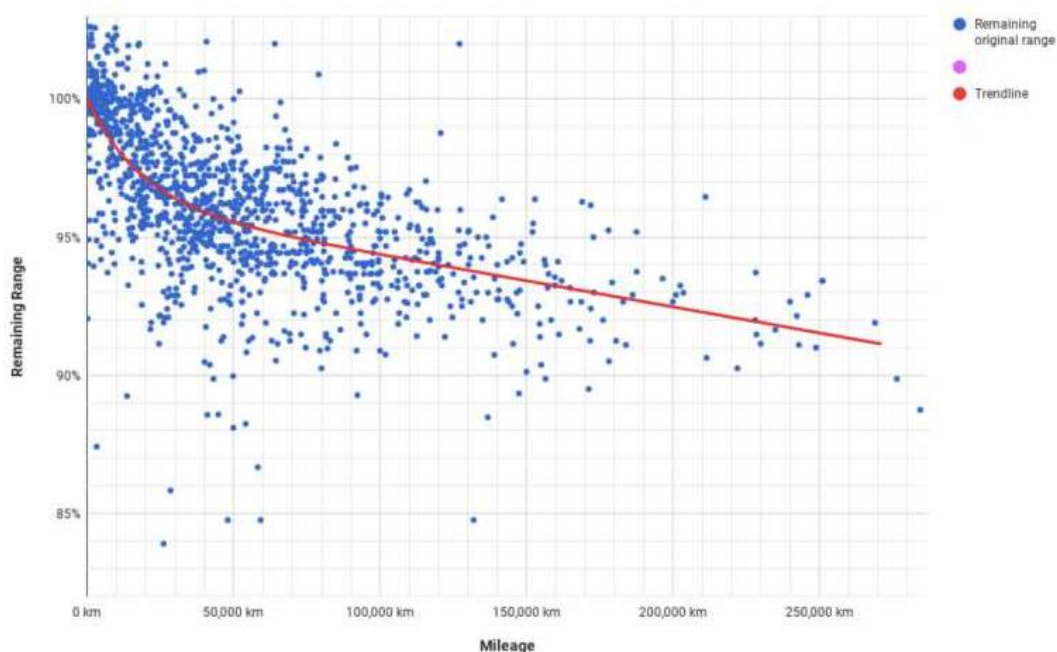
Ke snížení degradace kapacity musí být perfektně vyladěná BMS (Battery Management System), který kontroluje teplotu a napětí, na základě čehož poté hlídá, aby nedošlo k úplnému vybití nebo přebití článku. Každá automobilka si vyvíjí svůj, z tohoto důvodu mají různé elektromobily, provozované simultánně, v průběhu let rozličné kapacity baterie. Ve všech dnešních elektromobilech je softwarově ošetřeno, aby použitelná kapacita baterie oscillovala mezi 10 a 90 %, za účelem prodloužení její životnosti. To

znamená, že když se uživateli na přístroji zobrazí, že má nabito na 100 %, reálně tento stav odpovídá 90 % maximální kapacity. Nadto je výrobci doporučováno, při denním dojíždění, mít baterii nabitou mezi 30 a 80 %, pokud je to možné. Extrémy na obou pólech jsou pro dlouhodobou životnost baterie nežádoucí.

Vyloučeno by mělo být ponechání vybitého nebo plně nabitého akumulátoru po delší časový úsek. V kombinaci s nízkými nebo vysokými teplotami by se degradace kapacity projevila ještě markantněji. Nabíjení baterií z ultra rychlých nabíječek má kvůli zvyšování teploty obzvláště negativní vliv. V dlouhodobém horizontu, kdy bylo porovnáváno dobíjení ze standardních, rychlých a ultra rychlých nabíjecích stanic, se degradace kapacity projevila nejméně u dobíjení standardního. Stejně negativní vliv má vysoká teplota obecně, kdy pro podnebí, kde je více než 5 dní v roce teplota nad 27 °C, akumulátor degraduje až o 5 % rychleji [38].

Nicméně i s perfektně vyladěným BMS dochází k postupné degradaci kapacity. Nejlépe je tento vývoj zobrazen pro Tesla Model S/X na Obrázku 11, kdy je z obrázku patrné následující [39]. 100 % kapacita se rapidně, téměř exponenciálně snižuje od samého začátku užívání. Přechod na lineární křivku nastává při 95 % původní kapacity, což odpovídá ujetým 50 000 km. Od tohoto bodu degradace klesá o 1 % na každých 50 000 km. Při tomto trendu by poklesem na 80 % původní kapacity odpovídalo najetým zhruba 820 00 km. Podle stavu akumulátorů a vozidla by mohly být špatné články vyměněny za nové, s lepšími vlastnostmi, a tím by se vozidlo stalo uživatelné pro delší časový úsek.





Obrázek 11 - Vývoj degradace baterie v závislosti na ujeté vzdálenosti [39]

Existuje možnost využití vysloužilých akumulátorů jako úložiště energie. Pokud už nedisponují původní kapacitou, ale už například 80% původní tabulkové hodnoty, spojením takových akumulátorů by ale vznikla velká zásobárna energie pro uchování např. fotovoltaické energie. Za předpokladu, že akumulátory budou v ideálních teplotních podmínkách a vybíjeny a nabíjeny v pravidelných cyklech, mohou ještě dalších několik let sloužit, dokud bude jejich kapacita ekonomicky výhodná. Hlavním faktorem pro dodavatele energií, aby takovéto články využívaly, bude jejich cena. Vysloužilé autobaterie by se mohly vykupovat za poloviční ceny, což by při stále dobré kapacitě 80 % původní hodnoty umožnilo jejich další plnohodnotné využití. V současnosti ale tento potenciál nikdo masivně nevyužívá.

K prodloužení životnosti nových akumulátorů je nutné držet se těchto pěti obecných zásad. Pro běžného uživatele by tyto kroky relativně splnitelné.

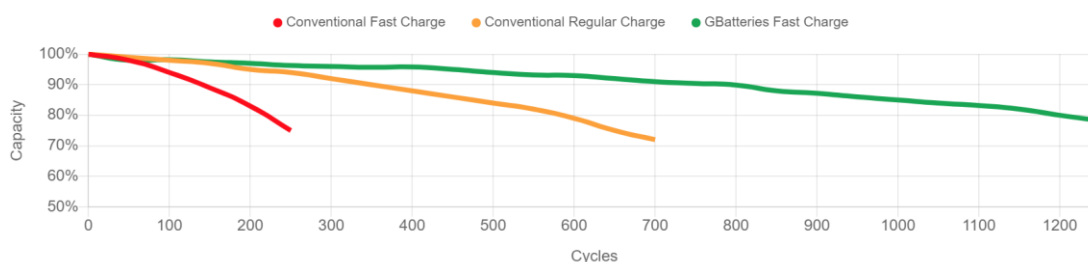
1. Nenechávat baterii vybitou/nabitou po dlouhý časový úsek
2. Při používání mít nabitou mezi 20 a 80 %
3. Plně nabíjet jen před dlouhými cestami
4. Minimalizovat ultrarychlé dobíjení
5. V horkých dnech parkovat elektromobil ve stínu

## 6. Nabíjení

Nabíjení se dělí podle rychlostí nabíjení na běžné, rychlé a ultrarychlé. Za běžné se považuje nabíjení z klasické zásuvky (230 V) se střídavým proudem (max. 16 A) a maximálním výkonem 11 kW. V domácnosti přítomná třífázová zásuvka s napětím 400 V nabízí výkon až 22 kW. Rychlé nabíjení poskytují ještě dobíjecí stanice většiny poskytovatelů na českém trhu, standardně s výkonem 50 kW. Poslední variantou je ultrarychlé, nabíjecí výkonem řádově vyšším (Ionity 350 kW).

Nabíjení z ultra rychlých nabíjecích stanic není pro akumulátory dlouhodobě vhodné, kvůli vysokým teplotám, kdy do akumulátoru proudí vyšší napětí a dosahuje tak vyšších teplot než u klasického nabíjení. Firma GBatteries přišla s novinkou, která se stávající infrastrukturou a jejím softwarem ChargeSense slibuje nabíjet výrazně rychleji a kvalitněji [42]. Díky zabudovaným algoritmům v hardwaru v reálném čase sleduje odezvu baterie a přizpůsobuje tomu nabíjení. Nabíjí převážně během fáze s nízkou impedancí, dokud nedosáhne kritického bodu, kdy by mohlo dojít k chemickému poškození baterie. Při rychlém dobíjení vzniká velké množství tepla, které je pro akumulátor škodlivé. Adaptování na provoz v intervalech s nižší impedancí zamezuje nežádoucímu přehřívání a tím pádem nemá

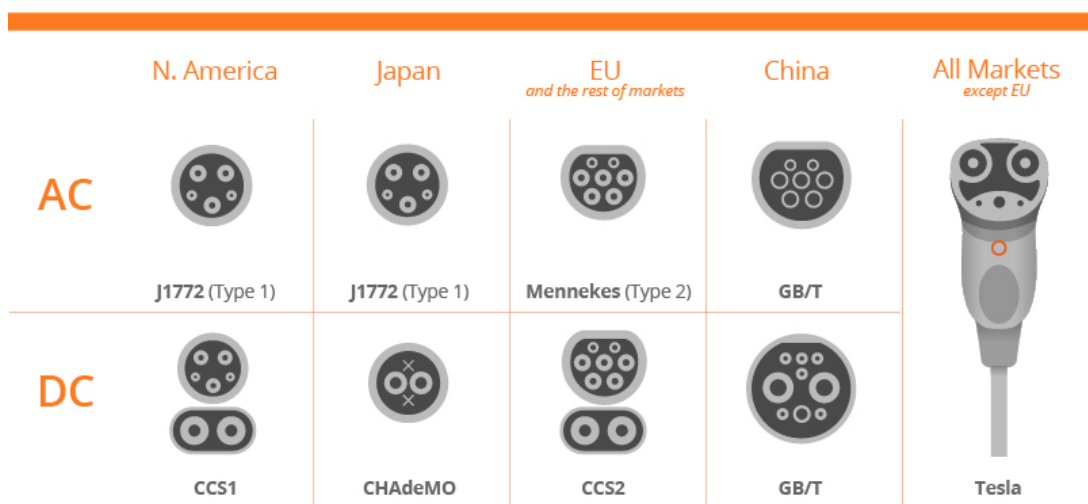
negativní vliv na životnost baterie, viz porovnání úbytků na obrázku 12.



Obrázek 12 – Úbytek kapacity v závislosti na počtu nabíjecích cyklů [42]

### 6.1. Typy dobíjecích konektorů

Dobíjecí konektory nejsou všude po světě stejné, jelikož i každá země má různé parametry sítě, viz obrázek 13. V USA je standardem 120 V, u rychlonabíjecích 240 V. Evropská a Asijská síť je napájena 230 V, proto i konektory jsou navrženy na jiné podmínky. Na asijském trhu, který je v oblasti elektro mobility značně vyvinutý, používají ve většině případů odlišné typy konektorů než v Evropě.



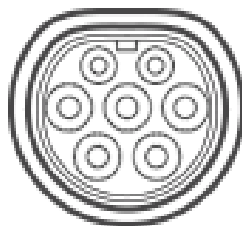
Obrázek 13 – Typy dobíjecích konektorů ve světě [43]

Z důvodu obsáhlého spektra typů nabíjecích konektorů jsem se rozhodl popsat v dalších kapitolách jen konektory, které jsou běžné na území Evropy. Minimálně se v minulosti

vyskytoval i Typ 1 (J1772), zvaný též Yazaki, zvláště u aut dovezených z asijských trhů (Toyota, Nissan, Honda), ale jejich počet je zanedbatelný a výrobci přecházejí na Evropské standardy.

#### **6.1.1. Typ 2 – Mennekes (IEC 62196)**

Nabíjecí konektor Mennekes byl v lednu roku 2013 schválený Evropskou komisí jako hlavní konektor pro Evropu (Obrázek 14). V současné době se jedná o nejběžnější nabíjecí konektor se střídavým proudem. Většina nynějších nabíjecích stanic tento konektor obsahuje, s výkonem až 22 kW (32 A/ 400 V). S těmito parametry je schopna za hodinu nabít automobil na dojezd 120 km [44]. Výkon je možné zvýšit na 43 kW, čímž by se téměř srovnal se stejnosměrnými rychlonabíjecími stanicemi [45]. Označení Mennekes je odvozené od stejnojmenné německé firmy, která tento konektor vyvinula. Osadila ho 7 přípojovacími kolíky, z nichž k nabíjení slouží pouze 3. Výhodou je pak i vestavěný zamykací mechanismus. Tento konektor využívá většina elektromobilů. V Evropě na něj přechází u novějších modelů i Tesla.

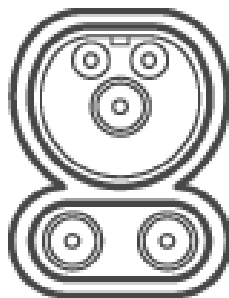


*Obrázek 14 – Konektor Typ 2 – Mennekes [46]*

#### **6.1.2. CCS Combo 2**

Konektor CCS Combo 2 umožňuje dobíjet stejnosměrným proudem, o výkonu až 350 kW, který v České republice

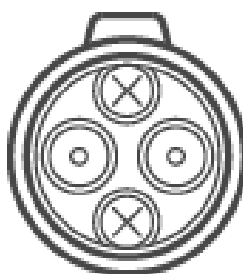
poskytuje jen společnost IONITY (Obrázek 15). Zbytek nabíjecích stanic (ČEZ, PRE a E.ON) nabíjí výkonem 50 kW. Dle směrnice Evropské unie 2014/94EU musí být všechny stanice kompatibilní jak s typem 2, tak s CCS Combo 2 [47]. Baterii elektromobilu nabije na 80 % v rozmezí 20–60 minut, v závislosti na kapacitě baterie a počátečním stavu nabíjení [45][45].



Obrázek 15 – Konektor CCS Combo 2 [46]

### 6.1.3. CHAdeMO

CHAdeMO (Obrázek 16) byl vynalezen společností Tepco v Japonsku, zkratka byla odvozena od „CHArge de MOve“ – pohyb pomocí nabíjení. Nejčastější, 50 kW, výkon distribuuje totožné vlastnosti jako CCS Combo 2 [45]. Rozšířeným ve větší míře je na území Japonska, Velké Británie a Německa.

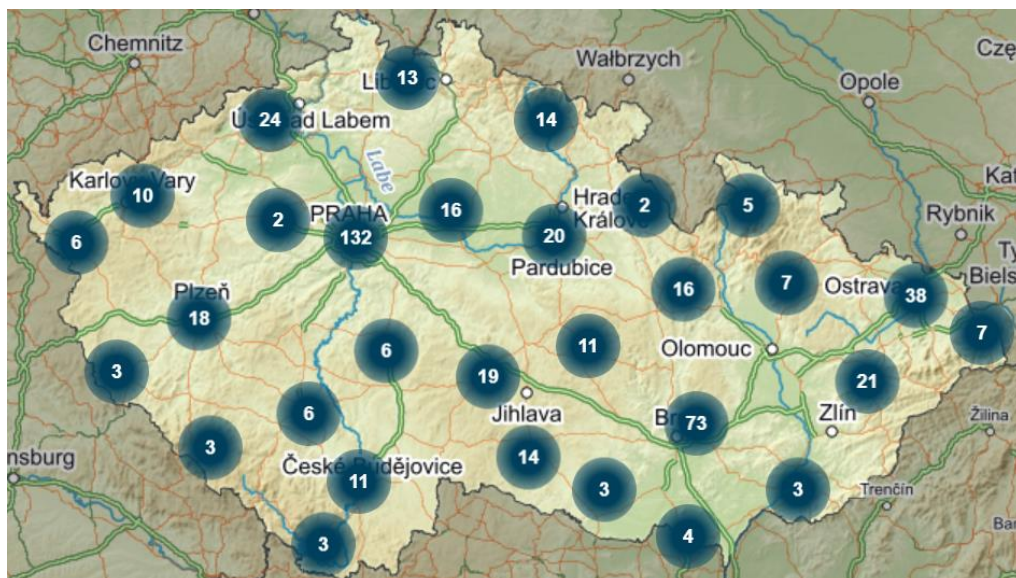


Obrázek 16 – Typ CHAdeMO [46]

## 6.2. Veřejné dobíjecí stanice

Většina nabíjecích stanic na území ČR poskytuje možnost výběru z 3 hlavních nabíjecích konektorů: AC Mennekes, CCS Combo 2 a CHAdeMO.

Nabíjecích stanic je po České republice více než 480 (Obrázek 17). ČEZ disponuje 106 URDS (ultra rychlé dobíjecí stanice) a 51 standardními [46]. PRE má své stanice převážně na území Prahy, s celkovým počtem 55 dobíjecích stanic [48]. Trojici poskytovatelů s nejvyšším počtem nabíjecích stanic uzavírá E-ON se svými 41 stanicemi [49]. Zbylé stanice pak obstarávají obchodní domy, hotely, čerpací stanice a další podniky.



Obrázek 17 - Rozmístění nabíjecích stanic v ČR [50]

Nabíjecí stanice od ČEZu, PRE a E.ON nabízí možnost dobíjení jak střídavým napětím do 22 kW, tak i rychlé nabití výkonem 50 kW. IONITY nabízí pouze rychlodobíjení (350 kW), na což v současnosti většina auto baterií ani není stavěna (Audi e-tron má udávaný výkon max. 150 kW).

### 6.3. Solární nabíjení

V dnešní době už se na trhu začínají objevovat i elektromobily se solárními panely na střeše, kapotě a bocích karoserie. Mezi takové vozy patří například Sion od Sono Motors (34 km/den), model One od firmy Lightyear (65 km/den) nebo Hyundai Sonata (5 km/den) [51].

V novém modelu Toyoty Prius je v plánu použit vylepšené fotovoltaické články. Články od společenství firem NEDO a Sharp se chlubí účinností 34 %, kdežto běžné panely z monokrystalického křemíku dosahují účinnosti kolem 22,5 % [52]. Zvýšením účinnosti, a tím nabití auta na dojezd okolo 50 km, vystačí pro většinu lidí, dojíždějících každý den do práce. Vzhledem k počasí, nebude možné počítat s plným dobitím každý den. Přináší to ale zajímavou a bezplatnou alternativu, popřípadě možnost nouzového přesunu auta k nejbližší nabíjecí stanici.

Dobíjení je možné s novou technologií i za jízdy, kdy účinnost dobíjení se nijak neliší od dobíjení u stojícího auta. Nevýhodou solárního dobíjení je nutnost mít auto zaparkované venku. Geografické rozložení umožňuje v různých státech různé podmínky pro nabíjení. O jejich hodnotách pojednává literatura [53]. Zatímco u nás solární panel umístěný směrem na jih vyprodukuje za rok 0,8 kWh/Wp (Wp – výkon solárních panelů), ve Španělsku, kde je v Evropě nejvyšší hodnota, 1,6 kWh/Wp. Naopak nejnižší hodnoty vykazují severské státy, které mají i nejnižší poměr Wp/obyvatele. Nejvyšší poměr Wp/obyvatele v Evropě má Německo, s téměř 489,8 Wp/obyvatele (2015) a celková instalovaná kapacita fotovoltaických článků je 2938 MW[53]. Ve světě vítězí Čína s instalovanou kapacitou 44,4 GW, s odstupem následují USA a Indie s 10 GW.

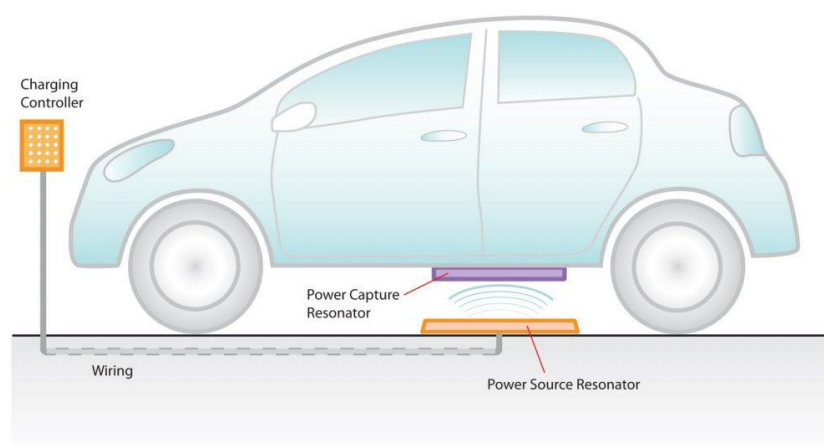
Možnost umístění panelů na střechu nákladních aut a přívěsů skýtá velký potenciál. Nachází se tam dostatečně

velká plocha a jezdí primárně mimo město na otevřených prostranstvích. U dálkových autobusů by bylo užítí obdobné, u městských autobusů bude docházet k preferenci bezdrátového nabíjení.

#### 6.4. Bezdrátové

Bezdrátové nabíjení funguje na principu elektromagnetické indukce. Měděná cívka ve vysílači, připojená ke zdroji elektrické energie, se používá k vytvoření magnetického pole. Magnetické pole vytvoří proud, který je vysílán směrem k cívce umístěné na vozidle. Pro zvýšení indukovaného proudu musí oba rezonátory rezonovat se stejnou frekvencí. Nazývá se též magnetická rezonance a umožňuje přenos i na větší vzdálenost.

Oproti bezdrátovému zařízení pro dobíjení mobilních telefonů, kdy vzdálenost mezi oběma rezonátory je maximálně do 1 cm, u automobilů tento rozptyl musí být větší. Mobil totiž pokládáme na nabíjecí plochu, kdežto u auta musíme počítat s rezervou kvůli různé výšce podvozku. Cívky proto budou u bezdrátové nabíječky řádově větší, aby mohlo dobíjení fungovat ve vzdálenosti 10-25 cm (Obrázek 18).



Obrázek 18 - Bezdrátové nabíjení [54]



K minimalizaci energetických ztrát (udává se účinnost 90-93 %) automobilky vytváří systém, který auto sám navede na požadovanou pozici nad nabíječku. Výhodou indukčního nabíjení je schopnost proniknout přes materiály, takže není problém nabíjet přes asfalt, beton, sníh, led či písek. Je nutné se ještě pozastavit nad možnými zdravotními dopady na člověka, které by v případě nonstop vyzařujícího magnetického pole po celém městě mohlo negativně ovlivnit. Možnosti se nabízí v omezení nabíjení pouze za přítomnosti automobilu. Do budoucna, díky autonomním autům, by tato podmínka mohla být lehce splnitelná, a navíc výhodná i pro samotná auta, jelikož nebude potřeba manuálně zapojit nabíjecí hlavici.

Možnost umístění bezdrátového nabíjení do jízdnic pruhů na dálnicích by mělo za následek téměř nekonečný dojezd pro elektromobily i nákladní auta. Aby nedocházelo k poškození drahé infrastruktury, musel by být aplikován zákaz přejíždění z pruhu. Už dnes jsou v několika amerických městech instalovány 200 kW rychlo nabíječky od firmy Momentum Dynamics. Využívají se zatím pouze pro nabíjení elektrobusů. Pilotní provoz začal v březnu roku 2018 a autobus označený BYD K9S, který má zabudovanou baterii o kapacitě 352 kWh a výrobce udává dojezd až 246 km, může jezdit s pravidelným nabíjením po trase prakticky neomezeně [55].

Využití dobíjecích stanic při čekání by mohly využít i další služby, které budou nějaký čas čekat v depu nebo při čekání na rozvoz. V úvahu připadají například vozy taxislužby, pošty, potravinových řetězců, doručovacích služeb. Po takovémto rozšíření infrastruktury by mohlo dojít ke zmenšení baterií, což by znamenalo snížení hmotnosti a spotřeby.

Na trhu se objevuje už nabíjecí stanice pro osobní použití Plugless, s nabíjecím výkonem 3,6 kW nebo 7.2kW. Cena za 3,6 kW nabíjecí stanici je 133 tisíc Kč, 7,2 kW lze pořídit za 289 tisíc Kč [56].

## **7. Ekonomické aspekty**

### **7.1. Náklady na výrobu akumulátorů**

Zpracování surovin a jejich těžba se odráží na výsledné ceně výroby akumulátorů mezi 40 a 73 %. Nejvýznamnějšími materiály v tomto ohledu jsou nikl (cca 650 Kč/kg), kobalt (300 Kč/kg) a lithium (125 Kč/kg), jehož cena konstantně klesá [57]. Důvodem vysoké ceny, u kobaltu a lithia, je jejich výskyt jakožto příměsi v surovinách. Následné zpracování se poté odráží na výsledné ceně.

Cenu můžeme porovnat pomocí nákladů na výrobu 1 kg akumulátoru, všechny hodnoty nákladů na výrobu vychází z analýzy z literatury [57]. Nevyšší jednotkovou cenu má baterie lithium kobaltová (770 Kč/kg), a tím pádem i nejdražší na zpracování. Zpracování kobaltu a cena suroviny samotná se na výsledné ceně podílí 73 %. Dva nejhojněji využívané typy akumulátorů NCA a NMC, stojí 720 Kč/kg a 600 Kč/kg, u kterých je poměr surových materiálů okolo 65 %. Levnější technologií pro použití je LFP, s cenou 420 Kč/kg. Nejlevnější technologií, díky nízké ceně manganu, jsou baterie LMO s cenou 300 Kč/kg.

Druhým možným srovnáním je cena za kWh. S rozvojem elektromobility jde ruku v ruce pokles výrobní ceny, kdy v roce 2010 byla cena akumulátoru kolem 26 000 Kč, přepočteno na cenu za 1 kWh [58]. V roce 2019 se průměrná cena za kWh pohybovala okolo 3700 Kč, což je pokles 87 % za desetiletí [58]. Prakticky to znamená, že baterie o kapacitě 75 kWh, kterou disponuje Tesla Model S, podle

současných propočtů vyjde na 277 500 Kč. Cena bude nadále klesat a předpokládá se pokles až na 1450 Kč/kWh v roce 2030 [58].

### **7.2. Náklady na provoz elektromobilu (Kč/km)**

Údržba elektromobilů slibuje nižší náklady na provoz než u spalovacích motorů. Úspory budou moci být za palivové filtry, svíčky, olej, chladicí kapalinu, jelikož elektromotor je jednoduše neobsahuje a nedochází tedy k jejich opotřebením. Na druhou stranu bude obsahovat větší počet kabelů a může zde také nastat poškození (např. degradace materiálu nebo poničení od hlodavců). Odpadne i nutnost kontroly emisí na Stanicích technické kontroly (STK), jelikož výfuk a s ním spojené komponenty se v elektromobilu nevyskytují, čímž vznikají další úspory. Menší opotřebením by mělo být znatelné i u brzdných kotoučů, jelikož bude docházet k brždění motorem za účelem rekuperace a brzdné kotouče budou použity ve zlomku případů. Když se baterie poničí, senzory vyhodnotí, který modul je poškozený. Není potřeba měnit celou baterii v hodnotě půl milionu korun, ale vyměnit ten článek, který je špatný.

Běžný provoz pak ve srovnání se spalovacím motorem vychází levněji. Když vezmeme v potaz spotřebu 6 l /100 km, s cenou benzínu 30 Kč/l, vychází nám suma 180 Kč / 100 km. U elektromobilu, dobíjeného z fotovoltaických článků je cena 0 Kč. Při kalkulaci pro automobil nenabitý z vlastních zdrojů, se spotřebou 15 kWh/ 100 km (Nissan Leaf), vychází cena pro uživatele E.ON stanic na 45 Kč (při volbě AC stanice s odběrem 3 Kč / kWh). Neregistrovaný uživatel, nabíjejí proudem UFC, by za takové dobití zaplatil 195 Kč.

### 7.3. Cena nabíjení

Způsob placení nabíjení si řeší každá společnost samostatně, a od toho se odvíjí i odlišné způsoby vyúčtování. Hlavní rozdělení spočívá v platbě paušální (např. ČEZ) nebo za tarifní ceny (např. E.ON).

Nabíjení paušální u společnosti ČEZ, od 22. 4. 2020 nabízí 4 možnosti volby. Na výběr jsou balíčky TAXI, Obchodní cestující, Víkendový řidič a "Pay as you go" [46]. Liší se podle předpokládaného měsíčního využití pro rozdílné uživatele, přehledně znázorněno v následující tabulce. Paušál v sobě zahrnuje předplacené kilowatt hodiny, s vyšší kategorií se zlevňují i dobíjení nad rámec paušálu. Ke všem paušálům je pak potřeba si zakoupit RFID kartu za 200 Kč. Neregistrovaný uživatel dobíjí za jednotnou cenu 9,5 Kč/kWh. Modely, kolik přesně jednotliví uživatelé zaplatí, budou zobrazeny v teoretické části.

Tabulka 1 - Ceník ČEZ [46]

ČEZ	TAXI	Obchodní cestující	Víkendový řidič	"Pay as you go"
Měsíční platba [Kč/měsíc]	1750,-	550,-	200,-	0,-
Poplatek za odběr [Kč/kWh]	3,5,-	4,5,-	5,5,-	7,5,-
Předplacená spotřeba [kWh]	500	122	36	0

Společnost E.ON představila svůj tarifní program Drive, ke kterému je za potřeby pořídit si zákaznickou kartu. První karta je zdarma, za další je nutné zaplatit 200 Kč. Posléze registrovaný uživatel platí podle použité rychlosti a typu dobíjení výhodněji než neregistrovaný, viz Tabulka 2. Vybrat si na stanicích E.ON lze

ze střídavého proudu (AC), stejnosměrného (DC) nebo ultra rychlého (UFC).

Tabulka 2 – Ceník E.ON [59]

<i>E.ON</i>	<i>E.ON Drive</i>	<i>Neregistrovaný uživatel</i>
<i>AC [Kč/kWh]</i>	3,-	9,-
<i>DC [Kč/kWh]</i>	6,-	11,-
<i>UFC [Kč/kWh]</i>	9,-	13,-

PRE nabízí na síti svých PREpoints jednotný tarif pro registrované uživatele, kdy je nutné čtvrtletně zaplatit za používání karty/čipu 36,30 Kč. Při použití střídavého (Mennekes) a stejnosměrného (CHAdeMO a Combo-2) proudu je nabíjení zpoplatněno jednotnou cenou 3,03 Kč/kWh [60]. Když zákazník dobíjí déle než 120 minut, naskočí taxa 0,24 Kč/min nad rámec nabíjecí ceny [60]. Pro neregistrované jsou ceny uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 – Ceník PRE pro neregistrované zákazníky [61]

<i>PRE</i>	<i>Kč/30 min.</i>	<i>Kč/1 hod.</i>	<i>Kč/2 hod.</i>	<i>Kč/3 hod.</i>
<i>Mennekes 2 22 kW</i>	-	60,-	120,-	180,-
<i>CHAdeMO 50 kW</i>	100,-	200,-	400,-	-
<i>CCS Combo 50 kW</i>	100,-	200,-	400,-	-

#### **7.4. Cena nabíjecí infrastruktury**

##### **7.4.1. Nabíjecí kabely**

Nabíjecí kabely jsou rozděleny na 4 základní kategorie, podle dodávaného výkonu. Kategorie jsou do 3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW a 22 kW. S vyšším výkonem pochopitelně roste i cena. Všechny kabely jsou vyrobeny pro pracovní teploty -30 °C

až + 50 °C, se stupněm krytí IP54. Základní kabel s jednou fází a jmenovitým proudem 16 A (1f/16 A) s maximálně 3,7 kW se dá pořídit za 3 990 Kč. Kabely s výkonem 7,4 kW a 11 kW jsou za podobnou cenu začínající na 4 790 Kč, kdy 11 kW má 3fázový jistič. Nejdražší pak je 22 kW s 3f/32 A za cenu 5 390 Kč. Všechny ceny jsou uvedeny k 3. 8. 2020 a vychází ze zdroje literatury [62].

#### 7.4.2. Přenosné nabíječky

Přenosné nabíječky umožní dobíjení bez nutnosti vlastnit nabíjecí stanici. Pro výkon 3,7 kW je vyžadováno napětí 230 V, a proto lze použít klasickou zásuvku. Pro vyšší výkony pak musí být napětí 400 V, tedy průmyslový zdroj s konektorem CEE 32, který se běžně nachází u elektrické rozvodné skříně. Je tedy možné v domácnosti dobíjet přes tento kabel a nevlastnit dobíjecí stanici. Cena přenosné nabíječky se opět dělí podle dodávaného výkonu: 3,7 kW lze pořídit od 8 990 Kč, 7,4 kW od 9 490 Kč, 11 kW od 12 990 Kč a 22 kW od 13 990 Kč [62].



Obrázek 19 – Přenosná nabíječka [62]

### 7.4.3. Domácí stanice

Výhoda nástěnné nabíjecí stanice je v obsažení zbytkového proudového jističe RCD, který v případě detekce únikového proudu (30 mA AC, 6 mA DC) okamžitě odpojí auto od zdroje [63]. Dále obsahuje i elektroměr pro přehled o spotřebované elektřině a možnost regulovat dodávaný výkon. Většina domácích stanic se prodává s výkonem až 22 kW a je na uživateli, jakou rychlostí chce elektromobil nabít. Cena za domácí stanici je od 13 390 Kč [63].



Obrázek 20 - Domácí stanice Wallbox eHome [63]

### 7.4.4. Rychlonabíjecí stanice

Na trhu se nachází rychlonabíjecí stanice od soukromých firem, jejichž síť roste rychlým tempem. Největšími poskytovateli rychlého nabíjení na území ČR jsou ČEZ, PRE, E.ON a IONITY. Stanice jako takové vyrábí např. ABB, Alpitronic, ejoin, Siemens nebo Ensto. Ceny této

infrastruktury firmy ale nesdělují. Volně k prodeji s výkonem 60 kW je např. stanice ejoin DC60, za cenu 628 880 Kč [63].



Obrázek 21 - Rychlodobíjecí stanice ejoin DC60 [63]

## 8. Ekologické aspekty

### 8.1. Emise

Do celkových emisí se započítávají emise vzniklé z těžby materiálů, transportu, výrobních procesů, likvidace a výroby paliva/elektřiny. Jízdou samotnou de facto žádné zplodiny nevznikají, ty vznikají výrobou elektřiny, ale pro lepší srovnání se spalovacími motory se udává údaj přepočítaný na km jízdy. Snížení CO<sub>2</sub>/km lze docílit přechodem na obnovitelné zdroje energie. Pro srovnání budeme brát v potaz automobil s průměrnou spotřebou 5 litrů / 100 km, provozované v Evropské unii. Auto ze středního segmentu vozů se zážehovým motorem produkuje v průměru 118 g/km, dieselový v průměru 132 g/km, zejména kvůli vyššímu podílu SUV automobilů [64][65]. V segmentu malých aut, u nových vozů, se pak hodnoty pohybují kolem 100 g/km (Toyota Prius Eco – 99 g/km) [66]. S připočítáním



emisí vzniklých výrobou a úpravou paliva, se nejúspornější elektromobily dostávají zhruba na 168 g/km a průměr v EU je okolo 258 g/km [66].

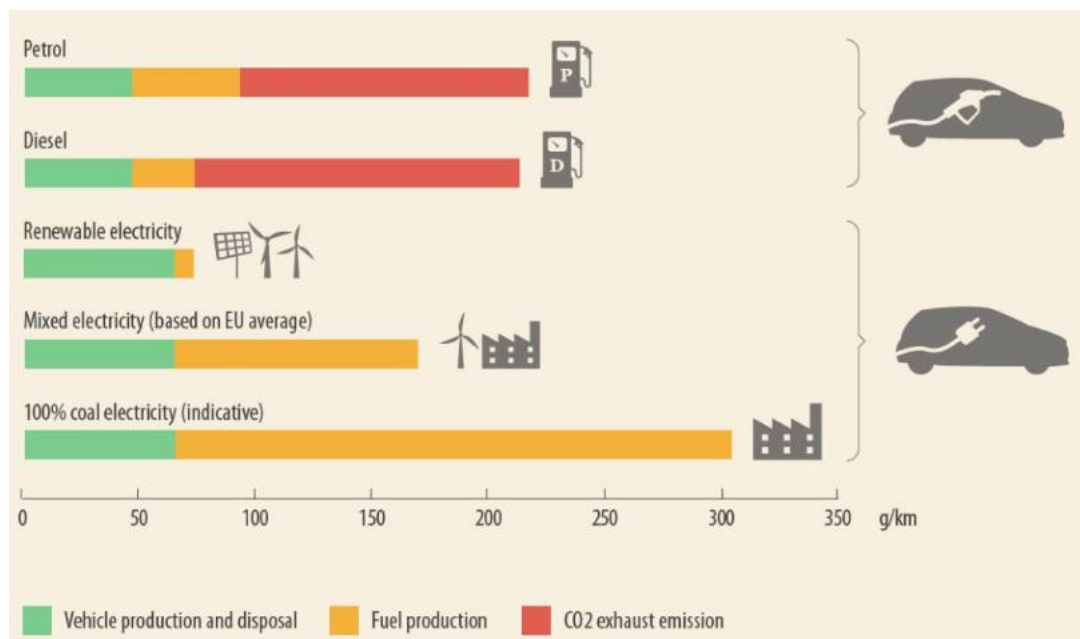
U elektromobilů závisí primárně na energetickém mixu, kterým je elektřina vyráběna. Proto se liší emise, které produkuje elektromobil, napříč všemi státy. Nejčistší energii produkuje díky svým vodním elektrárnám Norsko, kde se jízdou, bez započítání emisí z výroby, nevypouští žádné CO<sub>2</sub>. Průměrný energetický mix v Evropě je ale vyšší, jedná se o 44 g/km [66]. Česká republika se nachází s 80 g/km v horším průměru, stejně jako třeba Německo (65 g/km). Se započtením veškerých emisí elektromobily jízdou v EU produkují 109 g CO<sub>2</sub>/km [66].

Výroba baterie je zatížena větší uhlíkovou stopou, než klasický automobil, záleží poté i na velikosti akumulátoru. Výpočet vypuštěného CO<sub>2</sub>/kWh při výrobě se odhaduje na 100 kg [66]. Nissan Leaf s baterií 40 kWh překoná emise z výroby po 40 000 km, Tesla S 75 kWh po 75 000 km atd.

Emise z provozu elektromobilů vznikají momentálně pouze v továrnách na fosilní paliva z neobnovitelných zdrojů. Neobnovitelný zdroj energie je i ropa, jejíž zásoby nejsou nekonečné a i tento faktor je potřeba brát potaz při podpoře elektromobility. Zatímco energie ze slunce, větru a vody by nevyčerpatelná být měla. Výhodou ve výrobě v elektrárnách je i fakt, že továren je relativně málo a dají se lépe kontrolovat a regulovat, což u milionů aut v provozu lze jen stěží. Elektromobily jako benefit nevypouští žádné zplodiny ve městech a jsou tak zdraví ohleduplnější.

Porovnání automobilů s elektromobily, dobíjenými z rozdílných energetických mixů lze přehledně pozorovat na obrázku 22. Využívání elektromobilů v EU více ekologické,

i když jsou zobrazeny výpočty z roku 2014 a energetický mix v roce 2019 je více z obnovitelných zdrojů.



Obrázek 22 – Porovnání automobilů s elektromobily (2014) [67]

## 8.2. Materiály

Vzácné materiály, které se používají k výrobě akumulátorů, jsou lithium, kobalt, nikl a grafit. Jejich spotřeba rok od roku roste, v roce 2019 bylo vytěženo 2,7 Mt niklu, 1,1 Mt grafitu, 95 kt lithia a 148 kt kobaltu (přehledně v tabulce 4) [68]. Za předpokladu soustavné podpory elektromobility, a zvýšené poptávky, předpokládá se potřeba materiálů v roce 2028 až 2 Mt grafitu, 1,89 Mt lithia, 1,09 Mt niklu a 320 tisíc tun kobaltu [69].

Tabulka 4 – Celková těžba materiálů v roce 2018 [68] a jejich předpokládaná potřeba pro akumulátory v roce 2028 [69]

	Těžba 2019	Potřeba pro baterie 2028
Nikl [t]	2 700 000	1 090 000
Grafit [t]	1 100 000	2 050 000
Lithium [t]	77 000	1 890 000
Kobalt [t]	148 000	320 000

Podrobnější rozdělení, ve které zemi se vytěžilo nejvíce daného materiálu, jsem popsal pouze pro 3 země s nejvyšší produkcí. Niklu se nejvíce v roce 2018 vytěžilo na Filipínách (800 kt), Rusku (390 kt) a Kanadě (320 kt). Grafitu se nejvíce vytěžilo v Číně (630 kt), následované Brazílií (95 kt), Kanadou (40 kt) a dalšími. Lithia se nejvíce vytěžilo v Austrálii (58 kt), Chile (17 kt) a Číně (7,1 kt). Největšími potencionálními ložisky ale disponují země Jižní Ameriky, Argentina na svém území předpokládá zásoby okolo 10 Mt, Bolívie 9 Mt a Chile 8,4 Mt. 66 % celosvětové produkce pochází ze solanky, 26 % z pevných hornin a 8 % ze sedimentů. Kobalt je monopolem Republiky Kongo, kde se ročně vytěží 100 kt tohoto nerostu. Většinu dolů ale vlastní Čína, na kterou se valí kritika v souvislosti s krutými podmínkami pro horníky, mizerně placenými bez jakéhokoli vybavení. Všechny předchozí údaje v tomto odstavci vychází ze zdroje literatury [68].

### 8.3. Recyklace

Znečištění životního prostředí a možnost získat zpět ekonomicky výhodněji některé suroviny nutí automobilky akumulátory recyklovat. Jedná se zejména o nikl, kobalt a lithium, jež jsou nejdražšími prvky a zároveň nemají po světě velká neobjevená ložiska. Dále je k tomu nutí vlády jednotlivých zemí, kvůli udržitelnosti a snížení bezpečnostních rizik, která mohou s dlouhodobým skladováním nepoužívaných akumulátorů nastat. Recyklací se firmy snaží získat zpět primárně výše zmíněné kovy, těžba a zpracování lithia je ekonomicky stále výhodnější než jeho recyklace.

Problémem nízké recyklace je i know-how jednotlivých firem, kdy se mohou lišit poměry jednotlivých příměsí s různou technologií zpracování. Proto je v prvním kroku

recyklačního procesu nutné roztrždit akumulátory podle použitých technologií. Dále je potřeba rozbít bateriový box, aby bylo možné oddělit materiály a zároveň vylít elektrolyt. K tomu se dnes využívají primárně dva principy: rozdrčení nebo pád z výšky skrze sběrnou šachtu. Aby nedocházelo k nežádoucím haváriím, bývá baterie před procesem ponořena do tekutého dusíku. Kyselina poté prochází procesem filtrace, kdy se od ní oddělují zbytky pevných látek a poté je jí možné znovu použít jako elektrolyt v bateriích. Zbylé materiály po drčení se také filtrují, aby zde nezůstaly zbytky plastů a dalších materiálů, a poté dochází už k samotnému tepelnému zpracování v pecích na znovu použitelné materiály. Při zpracování olověných akumulátorů seteploty v aktivní zóně pece pohybují okolo 1400 °C, u niklových i lithiových je teplota okolo 600 °C [70].

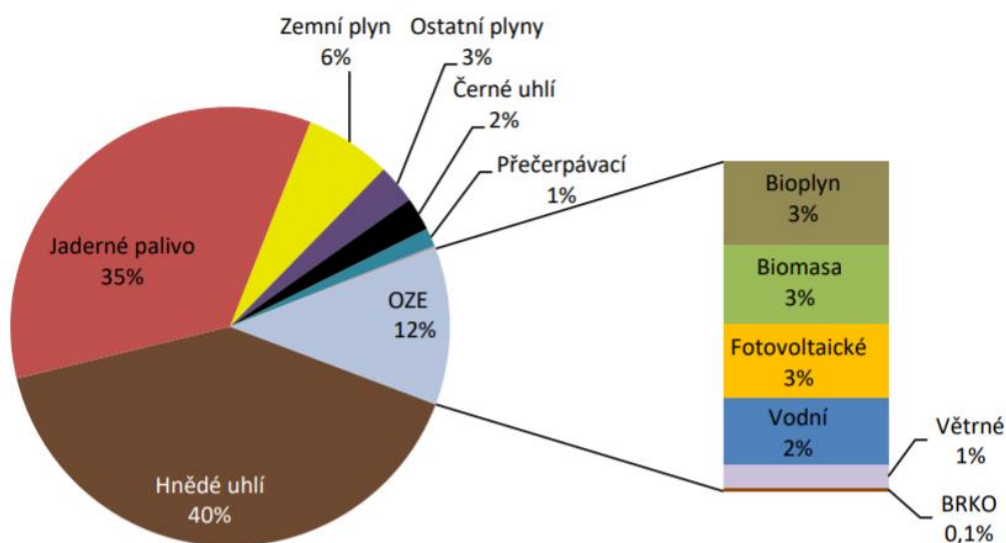
#### **8.4. Podíl energie z obnovitelných zdrojů**

Elektromobilita je snaha o to, aby se co nejvíce minimalizovala ekologická stopa člověka a nedocházelo k pohonu z neobnovitelných zdrojů. Všude po světě proto dochází k finančnímu dotování tzv. „zelené energie“ a zvýšení jejího podílu na celkové vyrobené elektřině. Teprve tehdy dává elektromobil absolutní smysl. Dosud jsou výhody v tom, že nedochází k přímému dýchání zplodin ve městech, ale zplodiny vznikají v elektrárnách mimo osídlené oblasti. Na dopravu v České republice se v roce 2018 spotřebovalo 671,8 GWh elektřiny, což z celkového energetického koláče dělá 1 % [71].

Přechod na zcela obnovitelnou energii ovšem zatím není v blízké době uskutečnitelný. Z výroční zprávy Energetického regulačního úřadu ČR za rok 2019 [71] vychází, že podíl obnovitelných zdrojů energie (OZE) je

12% (Obrázek 23). Z tohoto 12% podílu tvořilo 3 % spalování bioplynu, 2,7 % získaly fotovoltaické panely, 2,4 % vzniklo v elektrárně na biomasu, voda vyprodukovala 1,9 %, větrné turbíny zachytily 0,7 % a 0,1 % vzniklo biologickým rozložením komunálního odpadu (BRKO). Celková výroba elektřiny v České republice za rok 2019 činila 86,9 TWh. Meziroční nárůst byl u biomasy (z 2,12 TWh na 2,39 TWh), vodní elektrárny dodaly do sítě o 0,38 TWh více než v roce 2018 (2 TWh) a u větrných elektráren se výroba zvýšila z 0,6 TWh na 0,7 TWh. Produkce elektřiny z bioplynu (2,52 TWh) a BRKO (0,1 TWh) více méně stagnovala. U fotovoltaických elektráren došlo meziročně k mírnému poklesu dodané elektřiny do sítě (z 2,34 TWh na 2,28 TWh).

**Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto - 2019**



Obrázek 23 - Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto 2019 [71]

Z celosvětové výroby elektřiny je poměr obnovitelných zdrojů výrazně vyšší, než jaký je v ČR. Podíl všech zdrojů obnovitelné energie 26,4 % (3855 TWh), kdy 16 % pokrývají velké vodní elektrárny, 3,7 % produkují větrné elektrárny a 1,7 % solární [72].

## 9. Bezpečnost

Bezpečnost hraje při vývoji elektromobilů důležitou roli, proto se myslí i na potenciální možnost požáru elektromobilu nebo jeho části. Požár může nejčastěji vzniknout při autonehodě, nabíjení nebo uživatelskou manipulací s akumulátory, případně neodbornými opravami. Protipožární ochrana se skrývá v řadě bezpečnostních prvků. Napěťová soustava obsahuje relé, pojistky a aktivní vybíjení kondenzátorů, z důvodu včasného snížení napětí pod nebezpečnou úroveň. Celá tato soustava je navíc zapouzdřena v akumulátorovém boxu.

Důležitá součást péče o vůz je tedy pravidelná údržba a kontrola funkčnosti těchto opatření. Menší nehody s jinými automobily se nemusí projevit na stavu baterie ihned, ovšem každý takový nepřírozený efekt může znamenat přetížení soustavy a pozdější náchylnost k požáru. Při něm teplota akumulátoru nepřesahuje hranici 400 °C [73].

Společnost Dekra zveřejnila na svém YouTube kanále crash test, při kterém simulovala boční náraz Nissanu Leaf do sloupu v rychlosti 75 km/h a čelní střet při rychlosti 84 km/h [74]. V obou případech došlo pouze ke zkratu akumulátorů a elektromobil nevzplanul. To potvrzuje i statistika Hasičského záchranného sboru ČR (HZS), kdy v období mezi 2014 a 2020 došlo z celkového počtu 8654 požárů osobních vozidel pouze k 15 u vozidel poháněných na elektřinu [73]. Z toho avšak ani jedno nebyl elektromobil, ale namísto toho elektrické koloběžky, skútry a 2 podomácku předělané Škody Favorit na elektro pohon.

Pokud už ovšem k požáru dojde, hašení elektromobilu probíhá delší dobu, než hašení klasického automobilu. Zatímco ten je uhašen v rozmezí 10-15 minut, u elektromobilu se může jednat až o hodinovou akci. Přestože se požár podaří uhasit, následné opětovné

vzplanutí se tímto zásahem neeliminuje. Výrobci automobilů v bezpečnostních manuálech uvádí jako nejbezpečnější prevenci ponoření elektromobilu do vodní lázně. Tesla doporučuje použít k hašení výhradně vodu, a to až 11 500 litrů u Modelu S [75]. Voda samotná má ve výsledku pouze chladicí efekt.

Hořením se taktéž z akumulátorů můžou uvolňovat zdraví nebezpečné látky (např. fluorovodík, vodík, výpary niklu, hliníku atd.) [76], před kterými se HZS musí chránit plynovými maskami. Ti k hašení elektrovozů využívají, pokud je k dispozici, zařízení CCS Cobra (Cold Cut System) [77]. Jedná se o vysokotlaké zařízení, využívají tlak dosahující tlaku o velikosti 30 MPa. Dokáže generovat úzký paprsek vody a díky přidanému abrazivu dokáže prorazit jakékoli materiály. Po proniknutí vodního paprsku do materiálu se vytvoří mlha, která chladí požárem zasažené části.

## **10. Vývojové vize elektromobility**

V budoucnu se bude auto umět pohybovat po silnicích autonomně. Auta budou mezi sebou pomocí komunikovat 5G sítí, zároveň budou komunikovat i s infrastrukturou a mohou být řízena algoritmem pro celkové řízení provozu. Umožní to zkrátit dobu strávenou v autě na nezbytně nutnou, tzn. pro dostání se z bodu A do bodu B. Parkování už se bude dít automaticky bez nutnosti účasti člověka. Auta dokáží samy najít parkoviště nebo parkovací dům, zaparkovat si do něj a poté na základně požadavku řidiče bude možné auto přivolat zpět. To bude mít za následek snížení parkovacích míst na ulici, a tím pádem větší možnost pro cyklostezky nebo rozšíření ulic o prostor pro volný čas.

Během odstavení v parkovacím domě se mohou podle potřeby auta samy dobít. Do budoucna bude běžné bezdrátové nabíjení, které se začíná objevovat již nyní. Problémem je zatím v současnosti energetická ztráta, jelikož účinnost přenosu dosahujeme 90-93 %. Postupem času se toto číslo jistě přiblíží blíže k 100 %. To umožní autům zaparkovat v parkovacím domě na místo, kde bude v zemi zabudovaná indukční nabíječka. Automobil nad ní zaparkuje na centimetry přesně, aby se minimalizovaly ztráty. Ne každé místo by muselo být osazeno takovým dobíjecím zařízením. Jelikož se bude zvyšovat rychlost nabíjení a auta budou mezi sebou komunikovat, postupně se budou nad dobíjecím místem střídat, tak aby byla uspokojena poptávka všech.

Samotné baterie také budou vylepšeny, zvýší se jejich kapacita, počet cyklů nabíjení a rychlost nabíjení. Bude snaha i zároveň baterie zmenšovat, ubírat na váze a zvyšovat její bezpečnost pro případ havárie. To vše ovlivní dojezdové vzdálenosti a s autem bude možné ujet bez problému maximální rychlostí vzdálenosti stejné jako u současných automobilů. Do budoucna tedy nebude dojezd elektromobilů palčivé téma. Díky rychlému dobíjení se na čerpacích stanicích během lehkého občerstvení a odpočinku baterie nabije na dostatečný objem energie, který bude stačit do další zastávky.

Nabíjení bude možné i za cesty, ať už zdokonalením rekuperace energie při brždění nebo dobíjení pomocí solárních panelů, které budou umístěny na střeše některých aut. Fotovoltaické články také budou procházet výraznou proměnou a zdokonalením, takže by se teoreticky za dobrého počasí vůbec nemuselo zastavovat u nabíjecích stanic. Při odstavení auta a 100 % nabitého akumulátoru by mohlo být možné použít fotovoltaický panel jako zdroj energie a přenášet elektrickou energii zpět do sítě, čímž by mohly



zaniknout fotovoltaické elektrárny na polích, jelikož by auta byla vždy blíže elektrické síti (např. parkoviště u velkých továren, parkoviště ve městech). Většina lidí navíc využívá automobil na denní ježdění jako dopravní prostředek pro přesun do a z práce, přes den tedy auta nemají většinou využití, a daly by se tedy k tomuto účelu využít.

Ve městech bude nutná změna dobíjecí infrastruktury a zejména implementování dobíjecích stanic k parkovacím stánům. Zároveň bude více než dnes ve velkých městech rozšířen car-sharing, pro který nejsou velké vzdálenosti rozhodující. Bude proto stačit kdykoliv během dne zastavit s autem na vyznačených místech a dobít pro další zájemce.

V budoucnu také bude běžné tzv. modulové auto. Člověk si bude moci koupit auto bez baterie a tu si poté dokoupit samostatně. Tato možnost dokoupení jednotlivých komponent bude, zejména kvůli stále klesající ceně za baterie, která tvoří majoritní část ceny auta, atraktivním motivačním prvkem pro případné zájemce.

Vedlejší kapitolou pak bude nahrazení klasických autobusů a trolejbusů za autobusy na elektrický pohon. Dobíjení bude možné na v depu, popřípadě na některých zastávkách nebo semaforech. Autobusová doprava bude do budoucna více personalizovaná, což znamená zmenšení autobusů, aby mohla být skupina odvezena snáze na místo určení. Autonomní autobus si přivolá každý, kdo bude chtít, autobus si sám vypočítá nejlepší trasu, popřípadě po cestě nabere další cestující, kteří chtějí na stejné místo. Neřídil by se tím pádem jízdním řádem, ale jen okamžitou poptávkou.

Nákladní doprava se také bude moci více automatizovat a elektrifikovat. Už nyní Tesla představila svůj kamion Semi, který udává dojezd 480–800 km, podle naložení [78].

Autonomním řízením bude možný jejich samostatný provoz na dálnicích už v blízké budoucnosti. Opět bude možné použít fotovoltaické články pro částečné dodání energie.

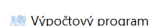
Letecká doprava si na zcela elektrický zdroj bude muset počkat ještě déle, jelikož váha baterie je v letectví velkou nevýhodou. Zaoceánské lety proto tedy ještě dlouho nebudou nabízeny, možnost přepravy na kratší letové vzdálenosti se jeví dle výzkumů dříve uskutečnitelná. Využít by mohly solární panely, kde velká plocha křídél nabízí dostatečný prostor k umístění panelů.

## 11. Praktická část

### 11.1. Výpočtový program

V praktické části bylo mým úkolem vytvořit v libovolném programovacím jazyce aplikaci pro zpracování výpočtů, která umožní vyhodnocení nákladů na výrobu akumulátorů a provoz elektromobilu. Dalším úkolem bylo porovnat emisní stopu elektromobilu s automobilem. Práce obsahuje vybrané elektromobily, které trh v současnosti nabízí. Některé jejich vybrané parametry si uživatel bude moci v budoucnu aktualizovat. Pro přehlednost jsem okomentoval důležité části zdrojového kódu.

Jako programovací jazyk jsem si vybral C# a aplikaci vytvářel v programu *Visual Studio*. Program jsem pojmenoval „Výpočtový program“. Projekt ve *Visual Studio* jsem nazval „Akumulatory“. Ikonou programu bylo zvoleno logo ČVUT. Základní obrazovku jsem pojmenoval *Form1.cs* se stylem formy *Windows Forms*. Na základní obrazovku jsem poté z *Toolboxu* přidal tlačítko, kterému jsem definoval akci po kliknutí (Obrázek 24). Pojmenoval jsem ho ve zdrojovém kódu „BtnVyroba“.

 Výpočtový program

## Hodnocení nákladů



**Porovnání elektromobilů  
s automobily**

Obrázek 24 – Výpočtový program

Jednoduchým stisknutím tlačítka „Porovnání elektromobilů s automobily“ se otevře stránka „Vyroba.cs“ (Obrázek 25).

```

namespace Akumulatory
{
    4 references
    public partial class Form1 : Form
    {
        1 reference
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        1 reference
        private void BtnVyroba_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Vyroba addVyroba = new Vyroba();
            addVyroba.ShowDialog();
        }
    }
}

```

Obrázek 25 – Zdrojový kód Form1

Otevřené okno je možné zavřít a vrátit se na úvodní stránku tlačítkem „Zpět“, které jsem si ve zdrojovém kódu pojmenoval „BtnBack“ (Obrázek 26).

```

1 reference
private void BtnBack_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Close(); //Zavře aktuální otevřenou stránku
}

```

Obrázek 26 – Tlačítko „Zpět“

### 11.1.1. Výpočet hodnot elektromobilů

Grafické rozhraní programu jsem se snažil udělat pro uživatele co nejsrozumitelnější. Upravovat se dají všechna šedivá pole. Uživatel si může u některých vybrat z nabídky a některé hodnoty pak jsou přednastavené. Bílá pole se separátně vypočítají po stisknutí tlačítka „Výpočet“. Po změně hodnot šedivých polí je nutné znovu zmáčknout tlačítko „Výpočet“, aby došlo k aktualizaci hodnot. Více parametrů jsem záměrně uvedl pro elektromobily, kterým jsem se v diplomové práci věnoval více. Vycházel jsem z hodnot uvedených v rešerši.

	Elektromobil	Automobil	Zpět
Typ akumulátoru	NMC	Palivo	Benzín
Kapacita akumulátorů [kWh]	40	Objem palivové nádrže [l]	50
Ø spotřeba kWh na 100 km	15,0	Ø spotřeba l na 100 km	6,0
Vzdálenost za měsíc [km]	5 000	Vzdálenost za měsíc [km]	5 000
Výběr poskytovatele dobití	ČEZ	Cena paliva [Kč]	28,90
Tarif	Víkendový fidič		
Dobíjecí rychlost	-		
Výběr země užívání	Ø EU		
	Výpočet	Výpočet	
Dojezd z plně nabitě baterie	266,7 km	Dojezd na plnou nádrž	833,3 km
Cena za ujetou vzdálenost	4 127,- Kč	Cena za ujetou vzdálenost	8 670 Kč
Cena za samotnou baterii	148 000,- Kč		
Emise CO2 - vzniklé jízdou	220 kg	Emise CO2 - vzniklé jízdou	590 kg
Emise CO2 - s výrobou	545 kg	Emise CO2 - s výrobou	1 055 kg

Obrázek 27 - Grafická podoba „Porovnání elektromobilů s automobily“

Defaultně jsem vybral hodnotu prvního pole ze seznamu pro „Typ akumulátoru“, „Výběr poskytovatele dobití“, „Tarif“ a „Výběr země užívání“ (Obrázek 27 a 28). „Výběr poskytovatele dobití“ jsem poté zvolil pro index 2, tzn. třetí pole ze seznamu.

Pro možnost výběru z pole se seznamem (ComboBox) jsem si vytvořil pomocné textové pole, do kterého si dočasně kopíruji hodnotu proměnné (Obrázek 28). Pomocným textovým polím jsem při načtení stránky nastavil viditelnost na *false*.

```
private void Vyroba_Load(object sender, EventArgs e)
{
    comboBox1.SelectedIndex = 0; //Typ akumulátoru
    comboBox2.SelectedIndex = 0; //Výběr země užívání
    comboBox6.SelectedIndex = 0; //Palivo
    comboBox3.SelectedIndex = 0; //Výběr poskytovatele
    comboBox4.SelectedIndex = 2; //Výběr tarifu
    comboBox5.SelectedIndex = 3; //Výběr nabíjecí rychlosti
    textBox20.Visible = false; //Pro výpočet spotřeby jízdou - ELEKTROMOBIL
    textBox21.Visible = false; //Pro výpočet ceny akumulátoru - ELEKTROMOBIL
    textBox22.Visible = false; //Pro výpočet spotřeby jízda + výroba - ELEKTROMOBIL
    textBox30.Visible = false; //Pro výpočet spotřeby jízdou - AUTOMOBIL
    textBox31.Visible = false; //Pro výpočet spotřeby jízdou + výroba - AUTOMOBIL
    numericUpDown4.Visible = false; } //Cena za nabíjení
```

Obrázek 28 - Hodnoty po načtení stránky

Jako první kombo box jsem umístil Typ akumulátoru. Uživatel si může vybrat z typů, které jsem uvedl

v teoretické části (Obrázek 29). Do pomocného textového pole jsem poté zanesl průměrnou cenu baterie za kWh, se kterou pak počítám cenu baterie pro zvolenou kapacitu [58].

```

this.comboBox1.Items.AddRange(new object[] {
    "NMC",
    "NCA",
    "LCO",
    "LMO",
    "LFP",
    "LTO"});
private void ComboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    textBox21.Text = "3700";
}

```

Obrázek 29 – Typy akumulátoru a jejich průměrná cena

Hodnoty proměnné pro *ComboBox2* jsem si poté definoval dle zdroje literatury [66] (Obrázek 29). Každá země má nadefinovanou průměrnou hodnotu CO<sub>2</sub>, která v dané zemi průměrně vznikne jedním kilometrem jízdy. Zohledněny jsou také emise uvolněné celkově i s výrobou a těžbou materiálů. Metodou *Text* se hodnota propíše jako *string* do textového pole.

```

private void ComboBox2_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (comboBox2.SelectedIndex == 0) //EU průměr
    {   textBox20.Text = "44";
        textBox22.Text = "109";    }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 1) //ČR
    {   textBox20.Text = "80";
        textBox22.Text = "145";    }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 2) //Norsko
    {   textBox20.Text = "0";
        textBox22.Text = "65";     }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 3 ^ comboBox2.SelectedIndex == 4) //Německo a USA
    {   textBox20.Text = "65";
        textBox22.Text = "130";    }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 5) //Francie
    {   textBox20.Text = "7";
        textBox22.Text = "72";     }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 5) //Nizozemsko
    {   textBox20.Text = "55";
        textBox22.Text = "120";    }           } //Emise
}

```

Obrázek 30 – Přednastavené hodnoty pro *ComboBox2*

Stejně jsem postupoval i v případě nastavení ceny za dobíjení. Ceny jsem nastavil pro 3 největší poskytovatele veřejného nabíjení a domácího nabíjení (Obrázek 31).

```
this.comboBox3.Items.AddRange(new object[] {
    "ČEZ",
    "E.ON",
    "PRE",
    "Domácí nabíjení"});
```

Obrázek 31 – Možnosti výběru v ComboBoxu3

V ComboBoxu3 jsem poté nastavil události po zvolení jednotlivých poskytovatelů nabíjení (Obrázek 32). Vycházel jsem z ceníků největších poskytovatelů ČR pro rok 2020 [46] [59] [60] [61].

```
private void ComboBox3_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (comboBox3.SelectedIndex == 0)
    {
        comboBox5.SelectedIndex = 3;
        comboBox4.Items.Clear();
        comboBox4.Items.Add("TAXI"); //3,5 Kč/kWh
        comboBox4.Items.Add("Obchodní cestující"); //4,5 Kč/kWh
        comboBox4.Items.Add("Víkendový řidič"); //5,5 Kč/kWh
        comboBox4.Items.Add("Pay as you go"); //7,5 Kč/kWh
        comboBox4.Items.Add("Neregistr. uživatel"); //9,5 Kč/kWh
    }
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 1)
    {
        comboBox4.Items.Clear();
        comboBox4.Items.Add("E.ON Drive"); //3-9 Kč/kWh
        comboBox4.Items.Add("Neregistr. uživatel"); //9-13 Kč/kWh
    }
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 2)
    {
        comboBox4.Items.Clear();
        comboBox4.Items.Add("Registr. uživatel"); //3,03 Kč/kWh
        comboBox4.Items.Add("Neregistr. uživatel"); //čas u stojanu
    }
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 3)
    {
        comboBox4.Items.Clear();
        comboBox4.SelectedIndex = 0;
        comboBox4.Items.Add("Prům. cena"); //4,76 Kč/kWh
    }
}
```

Obrázek 32 – Tarify ČEZ, E.ON, PRE a průměrná cena za kWh v ČR

Na obrázku 33 jsem popsal tarify od skupiny E.ON. Použitím podmínek *if* jsem si definoval, jaké hodnoty se mají zobrazovat v pomocném numerickém poli. S danou hodnotou jsem poté pracoval při stisknutí tlačítka „Výpočet“.

```

private void ComboBox5_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 0 && comboBox5.SelectedIndex == 0)
    { numericUpDown4.Value = 3; } //E.ON drive AC
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 0 && comboBox5.SelectedIndex == 1)
    { numericUpDown4.Value = 6; } //E.ON drive DC
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 0 && comboBox5.SelectedIndex == 2)
    { numericUpDown4.Value = 9; } //E.ON drive UFC
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 0 && comboBox5.SelectedIndex == 3)
    {
        MessageBox.Show("Zvolte jednu z předchozích hodnot");
        comboBox5.SelectedIndex = 0;
    }
    if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 1 && comboBox5.SelectedIndex == 0)
    { numericUpDown4.Value = 9; } //Neregistr AC
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 1 && comboBox5.SelectedIndex == 1)
    { numericUpDown4.Value = 11; } //Neregistr DC
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 1 && comboBox5.SelectedIndex == 2)
    { numericUpDown4.Value = 13; } //Neregistr UFC
    else if (comboBox3.SelectedIndex == 1 && comboBox4.SelectedIndex == 1 && comboBox5.SelectedIndex == 3)
    {
        MessageBox.Show("Zvolte jednu z předchozích hodnot");
        comboBox5.SelectedIndex = 0;
    }
} //E.ON specifikace

```

Obrázek 33 – Zadané hodnoty pro E.ON

Samotné výpočty hodnot jsou pak vyvolávané kliknutím na tlačítko „Výpočet“ (vlevo). Tlačítko „Výpočet“, pro výpočet hodnot elektromobilů, jsem ve zdrojovém kódu nazval *BtnVypocet*.

Nejprve popíši jednotlivé funkce levého tlačítka (Obrázek 34). Po kliknutí vyčtu hodnoty z numerického pole „Kapacita akumulátoru“ a „Ø spotřeba kWh na 100 km“, konvertují je na datový typ *double*, jejich výpočet pak vložím do textového pole *textBox3*.

```

private void BtnVypocet_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double num1 = Convert.ToDouble(numericUpDown1.Text);
    double num2 = Convert.ToDouble(numericUpDown2.Text);
    double num3 = (num1 * 100) / num2;
    textBox3.Text = string.Format("{0:0.0} km", num3);
}

```

Obrázek 34 – Výpočet z nabitého akumulátoru

Ceny od poskytovatele ČEZ jsou uvedeny na obrázku 35. Vypočítal jsem spotřebované kWh za ujetou vzdálenost (*num8*). Uživatel s tarifem *TAXI* má za 1 750,- Kč předplacenou spotřebu 500 kWh, proto když *num8* je menší než 500 kWh, zobrazí se uživateli cena 1 750,- Kč. Pokud je hodnota vyšší, od spotřebovaných kWh se odečtou předplacené kWh a připočítá se jejich cena (*num9*). Uživateli se pak zobrazí proměnná *num9* v definovaném



formátu. Stejně jsem postupoval pro tarify „Obchodní cestující“, „Víkendový řidič“, „Pay as you go“ a „Neregistrovaný uživatel“. Nastavil jsem k nim jejich předplacené kWh (viz. Tabulka 1).

```

if (comboBox3.SelectedIndex == 0)
{
    double num4 = Convert.ToDouble(numericUpDown2.Value); //Prům. spotřeba
    double num5 = Convert.ToDouble(numericUpDown3.Value); //Ujetá vzdálenost
    double num6 = Convert.ToDouble(numericUpDown4.Value); //Pomocné pole
    double num8 = num5 * num4/100;

    double num9 = (num8 - 500) * num6 + 1750;
    if (comboBox4.SelectedIndex == 0 && num8 <= 500) //TAXI
    { textBox4.Text = "1 750 Kč"; }
    else if (comboBox4.SelectedIndex == 0)
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num9); }
}

```

Obrázek 35 – Výpočet ceny pro poskytovatele ČEZ

Na obrázku 36 je znázorněn postup výpočtu pro uživatele E.ON. Proměnná *num8* je počítána stejným stylem jako u předchozího případu. Uživatel E.Onu nemá žádné předplacené kWh a platí vždy stanovenou taxu za použitou rychlost nabíjení.

```

if (comboBox3.SelectedIndex == 1)
{
    double num4 = Convert.ToDouble(numericUpDown2.Value); //Prům. spotřeba
    double num5 = Convert.ToDouble(numericUpDown3.Value); //Ujetá vzdálenost
    double num6 = Convert.ToDouble(numericUpDown4.Value); //Pomocné pole
    double num8 = num5 * num4 / 100;
    double num9 = num8 * num6;

    if (comboBox4.SelectedIndex == 0 && comboBox5.SelectedIndex == 0) //E.ON drive AC
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num9); }
    if (comboBox4.SelectedIndex == 0 && comboBox5.SelectedIndex == 1) //E.ON drive DC
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num9); }
    if (comboBox4.SelectedIndex == 0 && comboBox5.SelectedIndex == 2) //E.ON drive UFC
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num9); }
    if (comboBox4.SelectedIndex == 1 && comboBox5.SelectedIndex == 0) //Neregistr. AC
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num9); }
    if (comboBox4.SelectedIndex == 1 && comboBox5.SelectedIndex == 1) //Neregistr. DC
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num9); }
    if (comboBox4.SelectedIndex == 1 && comboBox5.SelectedIndex == 2) //Neregistr. UFC
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num9); }
} //E.ON

```

Obrázek 36 – Výpočet ceny pro poskytovatele E.ON

PRE nabízí pro registrované uživatele paušální sazbu 3,03 Kč/kWh (Obrázek 37). Pokud se nabíjí déle než 2 hodiny, připočítává se taxa 0,24 Kč/min. Jelikož ale

v porovnání s automobily s časem nepočítám, mohou se reálné ceny při dlouhém dobíjení nepatrně lišit od vypočtených. Ceny pro neregistrovaného zákazníka jsou poté určovány pouze za strávený čas u dobíjecí stanice, z tohoto důvodu jsem ho v porovnáních také nezahrnul.

```

if (comboBox3.SelectedIndex == 2) //PRE
{
    double num4 = Convert.ToDouble(numericUpDown2.Value); //Prům. spotřeba
    double num5 = Convert.ToDouble(numericUpDown3.Value); //Ujetá vzdálenost
    double num6 = Convert.ToDouble(numericUpDown4.Value); //Pomocné pole
    double num8 = ((num5 * num4 / 100) * num6) + 12.1;

    if (comboBox4.SelectedIndex == 0) //PRE Registrovaný uživatel
    { textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num8); }
} //PRE

```

Obrázek 37 – Výpočet ceny pro poskytovatele PRE

U výpočtu ceny pro „Domácí nabíjení“ jsem vycházel z průměrné ceny za kWh v dané zemi [80]. Podmínkami jsem v pomocném poli zobrazoval jednotlivé hodnoty. Poté jsem opět uvedl výsledek v definovaném formátu (Obrázek 38).

```

if (comboBox3.SelectedIndex == 3 && comboBox4.SelectedIndex == 0)
{
    if (comboBox2.SelectedIndex == 0) //Prům. cena kWh v EU
    { numericUpDown4.Value = 5.63m; }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 1) //Prům. cena kWh v ČR
    { numericUpDown4.Value = 4.76m; }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 2) //Prům. cena kWh v Norsku
    { numericUpDown4.Value = 4.55m; }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 3) //Prům. cena kWh v Německu
    { numericUpDown4.Value = 7.49m; }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 4) //Prům. cena kWh v USA
    { numericUpDown4.Value = 2.64m; }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 5) //Prům. cena kWh ve Francii
    { numericUpDown4.Value = 4.98m; }
    else if (comboBox2.SelectedIndex == 6) //Prům. cena kWh v Nizozemsku
    { numericUpDown4.Value = 5.35m; }

    double num4 = Convert.ToDouble(numericUpDown2.Value); //Prům. spotřeba
    double num5 = Convert.ToDouble(numericUpDown3.Value); //Ujetá vzdálenost
    double num6 = Convert.ToDouble(numericUpDown4.Value); //Pomocné pole
    double num8 = (num5 * num4 / 100) * num6; //Cena nabíjení
    textBox4.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num8); } //Domácí nabíjení

```

Obrázek 38 – Výpočet ceny za domácí nabíjení

Výpočet ceny baterie jsem prováděl z vybraného typu akumulátoru a kapacity baterie. Jelikož obě hodnoty budou vždy celá čísla, mohl jsem pracovat s typem *integer*, který jsem pak převedl funkcí *parse* (Obrázek 39).

```

if (comboBox1.SelectedIndex != -1)
{
    int num4 = Int32.Parse(textBox21.Text);           //Kapacita akumulátoru
    int num5 = Int32.Parse(numericUpDown1.Text);     //Cena baterie
    int num6 = num5 * num4;
    textBox5.Text = string.Format("{0:N0},- Kč", num6);
}

```

Obrázek 39 - Výpočet ceny akumulátoru

Tlačítkem „Výpočet“ u elektromobilů se také počítají emise (Obrázek 40). Emise vzniklé jízdou se počítají ze zdrojů literatury [66][67]. V „Emise CO<sub>2</sub> – vzniklé celkově“ se zobrazí hodnota *num9*, která je spočítaná zadanou vzdáleností a vynásobena průměrnou uhlíkovou stopou pro danou zemi. Pokud je hodnota vyšší než 1 kg, zobrazují se výsledky v kilogramech. Pokud nižší, automaticky se zobrazí v gramech. Emise vzniklé celkově převádí jednotky dle stejného klíče. Hodnotu pak reprezentuje hodnota *num12*.

```

if (comboBox2.SelectedIndex != -1)
{
    double num7 = Int32.Parse(textBox20.Text);
    double num8 = Convert.ToDouble(numericUpDown3.Value);
    double num9 = num7 * num8;
    if (num9 > 1000)
    { textBox6.Text = string.Format("{0:N0} kg", num9 / 1000); }
    else
    { textBox6.Text = string.Format("{0:N0} g", num9); }

    double num10 = Int32.Parse(textBox22.Text);
    double num11 = Convert.ToDouble(numericUpDown3.Text);
    double num12 = num10 * num11;
    if (num12 > 1000)
    { textBox7.Text = string.Format("{0:N0} kg", num12/1000); }
    else
    { textBox7.Text = string.Format("{0:N0} g", num12); }
}

```

Obrázek 40 - Výpočet emisí

### 11.1.2. Výpočet hodnot automobilů

Pro výpočet ekonomických a emisních hodnot automobilů jsem potřeboval pouze 6 polí. Na výběr má uživatel z:

„Palivo“, „Objem palivové nádrže“, „Ø spotřeba l na 100 km“, „Vzdálenost za měsíc“ a „Cena paliva“.

Výpočet pro automobily byl celkově jednodušší. Neřešil jsem rozličné čerpací stanice, které poskytují možnost tankování, a jejich tarify. Pouze jsem určil aktuální cenu za benzín a naftu. Výpočet se provádí pomocí pravého tlačítka „Výpočet“.

Uhlíková stopa, která vznikne u automobilu ujetím daného počtu kilometrů zadaných v poli „Vzdálenost za měsíc“, je počítána přes pomocné pole. Zadané hodnoty jsem převzal ze zdrojů literatury [64][65]. Cenu benzínu a nafty jsem určil jako přibližnou dle aktuálních cen (Obrázek 34).

```
private void ComboBox6_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (comboBox6.SelectedIndex == 0) //Benzín
    {
        textBox30.Text = "118";           //Emise jízdou
        textBox31.Text = "211";           //Emise s výrobou
        numericUpDown14.Value = 28.9m;    //Cena benzínu
    }
    else if (comboBox6.SelectedIndex == 1) //Nafta
    {
        textBox30.Text = "132";           //Emise jízdou
        textBox31.Text = "225";           //Emise s výrobou
        numericUpDown14.Value = 27.9m;    //Cena nafty
    }
}
```

Obrázek 41 – Přednastavené hodnoty pro benzín a naftu

Num3 představuje kilometry, které lze ujet na plnou nádrž (Obrázek 42). Zobrazí se v poli „Dojezd na plnou nádrž“.

```
private void BtnVypocetAuto_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double num1 = Convert.ToDouble(numericUpDown11.Text);
    double num2 = Convert.ToDouble(numericUpDown12.Text);
    double num3 = (num1 * 100) / num2;
    textBox13.Text = string.Format("{0:0.0} km", num3);
}
```

Obrázek 42 – Výpočet vzdálenost ujeté na plnou nádrž

Num7 představuje cenu, kterou uživatel zaplatí za ujetí zadaného počtu kilometrů (Obrázek 43). Zobrazí se v poli „Cena za ujetou vzdálenost“.

```
if (comboBox6.SelectedIndex != -1)
{
    double num4 = Convert.ToDouble(numericUpDown12.Value);
    double num5 = Convert.ToDouble(numericUpDown13.Value);
    double num6 = Convert.ToDouble(numericUpDown14.Value);
    double num7 = num4 * (num5/100) * num6;
    textBox14.Text = string.Format("{0:N0} Kč", num7);
}
```

Obrázek 43 – Výpočet ceny za ujeté kilometry

Num10 představuje emise, které automobil vyprodukuje za ujetí zadaného počtu kilometrů (Obrázek 43). Zobrazí se v poli „Emise CO<sub>2</sub> – vzniklé jízdou“.

```
double num8 = Int32.Parse(textBox30.Text);
double num9 = Convert.ToDouble(numericUpDown13.Value);
double num10 = num8 * num9;
if (num10 > 1000)
{ textBox15.Text = string.Format("{0:N0} kg", num10 / 1000); }
else
{ textBox15.Text = string.Format("{0:N0} g", num10); }
```

Obrázek 44 – Výpočet emisí CO<sub>2</sub> z jízdy

Num13 představuje emise, které automobil, započítáno společně s výrobou, vyprodukuje za ujetí zadaného počtu kilometrů (Obrázek 43). Zobrazí se v poli „Emise CO<sub>2</sub> – vzniklé jízdou“.

```
double num11 = Int32.Parse(textBox31.Text);
double num12 = Convert.ToDouble(numericUpDown13.Value);
double num13 = num11 * num12;
if (num12 > 1000)
{ textBox16.Text = string.Format("{0:N0} kg", num13/1000); }
else
{ textBox16.Text = string.Format("{0:N0} g", num13); }
```

Obrázek 45 – Výpočet emisí z CO<sub>2</sub> jízdou s emisemi z výroby

## **Závěr**

V této diplomové práci jsem zpracovával problematiku akumulátorů a jejich možný masivní rozvoj jako hlavního pohonu automobilů. V teoretické části jsem popsal jejich historii, základní rozdělení a zmínil jejich výhody a nevýhody. V současnosti se nejvíce využívají hlavně technologie NMC a NCA. Jejich možné nástupce jsem uvedl v kapitole o prototypch, které jsou v testovací fázi.

Pojednal jsem také provozní parametry, životnost současných baterií a jakou mají běžnou spotřebu energie. Zkoumal jsem náklady na výrobu, provoz a cenu nabíjení. Zaměřil jsem se také na ekologické aspekty spojené s výrobou a těžbou materiálů, zejména z hlediska vypuštěných emisí CO<sub>2</sub>. Následně jsem se věnoval otázce recyklace a znovuvyužití použitých materiálů.

V praktické části jsem vytvořil program v jazyce C#, který měl za úkol porovnat elektromobil s automobilem, jak se liší množství uvolněných emisí a finanční náročnost. Emise z výroby jsou nevýhodou elektromobilů, které tuto svoji slabou stránku překonávají až po ujetí určitého počtu kilometrů (v závislosti na kapacitě akumulátoru). Jednotlivé parametry lze poté upravovat, což umožní výpočet s novějšími údaji, a tím tedy aktualizaci dané konfigurace.

Závěrem je nutné dodat, že elektromobilita je závislá na energii z obnovitelných zdrojů, aby byla výrazně ekologičtější a její propagace dávala absolutní smysl. Nejsou přesně známé celosvětové zásoby ropy, tudíž přechod na elektřinu, kterou jsme schopni vytvořit více způsoby, tedy nezávisle na ropě, je z hlediska uspokojení požadavků v budoucnosti udržitelnější.

**Zdroje**

- [1] Timeline: History of electric car. Energy.gov [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/timeline/timeline-history-electric-car>
- [2] *A jak to bylo doma?* [online]. 2007 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/doma\\_4.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/doma_4.html)
- [3] BOBBY, James. History of batteries: A timeline. *UPS Battery center* [online]. 2014 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/history-batteries-timeline/>
- [4] BUCHMANN, Isidor. When was the battery invented? *Battery University* [online]. Vancouver: Battery University, 2019 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/when\\_was\\_the\\_battery\\_invented](https://batteryuniversity.com/learn/article/when_was_the_battery_invented)
- [5] Electric Vehicles have large storage batteries. In: *Greenyflat.com* [online]. 2016 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://greenyflat.com.au/april-3-2016-home-battery-updates/>
- [6] BEJBLÍK, Jan. Elektrické pohony automobilů [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73030/F2-BP-2017-Bejblik-Jan-bakalarska%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [7] KLIMKO, Jakub, Dušan ORÁČ a Dušan KLEIN. Recycling of lithium accumulators. 2019 International Council on Technologies of Environmental Protection (ICTEP). Starý Smokovec, Slovensko, 2019, str. 152-156. DOI: 10.1109/ICTEP48662.2019.8968981

- [8] CETL, Tomáš. Aplikace elektrochemických zdrojů. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02859-3.
- [9] KRŠŇÁK, Jiří. Studium vlastností katodového materiálu pro Li-ion článku v závislosti na struktuře aktivní vrstvy [online]. Brno, 2014. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/74368>  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [10] JIRÁK, Tibor. *Materiály a komponenty pro lithno-iontové zdroje proudu* [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/4363>.  
Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [11] Nickel Cadmium Batteries. *Battery and energy technologies* [online]. Anglie: mpoweruk, 2005 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.mpoweruk.com/nicad.htm>
- [12] Nickel metal hydrid batteries. *Battery and energy technologies* [online]. Anglie: mpoweruk, 2005 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.mpoweruk.com/nimh.htm>
- [13] LTO batteries. *AA Portable Power Corp.* [online]. Richmond, USA [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.batteryspace.com/Lithium-Titanate-Battery.aspx>
- [14] The Lithium difference. *Super-B* [online]. Hengelo, Nizozemsko: SuperB, 2020 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.super-b.com/>
- [15] BUCHMANN, Isidor. Types of Lithium-ion. *Battery University* [online]. Vancouver: Battery University, 2019 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)
- [16] Improvements in battery and computing technologies. In: *BatteryUniversity* [online]. 2019 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z:



[https://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_prolong\\_lithium\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries)

- [17] Automotive Battery. *LG Chem* [online]. Seoul, Jižní Korea: LG, 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.lgchem.com/product/PD00000148>
- [18] MARUŠINEC, Jaromír. Elektromobilita v České republice. [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2016/Perspektivy\\_emobility\\_Amper\\_2016/02\\_Marušinec\\_AMPER\\_2016.pdf](http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2016/Perspektivy_emobility_Amper_2016/02_Marušinec_AMPER_2016.pdf)
- [19] SLATER, Michael D., Kim DONGHAN, Lee EUNGJE a Christopher S. JOHNSON. Sodium-ion batteries. *Advanced functional materials* [online]. 2012, **23**(8) [cit. 2020-07-13]. DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.201200691>. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.201200691>
- [20] LIBICH, Jiří, Marie SEDLAŘÍKOVÁ, Jiří VONDRÁK a Martin FRK. *Akumulátory lithium-vzduch* [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/akumulatory-lithium-vzduch--lithium-air-batteries-/>. VUT v Brně.
- [21] OZANAM, Francois a Michel ROSSO. Silicon as anode material for Li-ion batteries. *Materials Science and Engineering: B* [online]. 2016, (213), s. 2-11 [cit. 2020-07-13]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2016.04.016>. ISSN 0921-5107. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921510716300435>
- [22] BORG, Markus. Research & Development. *Innolith* [online]. Basilej, Švýcarsko: Innolith, 2020 [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://innolith.com/technology/>
- [23] Various cell designs: (a) cylindrical; (b) prismatic; (c) pouch. In: *ResearchGate* [online]. 2020 [cit. 2020-04-09].

- Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/profile/Dirk\\_Sauer/publication/258177713/figure/fig2/AS:614243154010117@1523458388394/Various-cell-designs-a-cylindrical-b-prismatic-c-pouch.png](https://www.researchgate.net/profile/Dirk_Sauer/publication/258177713/figure/fig2/AS:614243154010117@1523458388394/Various-cell-designs-a-cylindrical-b-prismatic-c-pouch.png)
- [24] MORAVEC, Jakub. *Lithium, jeho vlastnosti a využití v technologické praxi* [online]. Pardubice, 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z:  
<https://dk.upce.cz/handle/10195/71762?show=full>.  
Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [25] Tesla Gigafactory. *Tesla* [online]. USA: Tesla, 2014 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z:  
<https://www.tesla.com/gigafactory>
- [26] Mark WEBB-JOHNSON. How many batteries are in a Tesla car? *Quora* [online]. USA: Quora, 2018 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.quora.com/How-many-batteries-are-in-a-Tesla-car>
- [27] All Things You Need to Know about 21700 Battery. *DNK Power* [online]. Shenzhen, Čína: DNK Power, 2019 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.dnkpower.com/teslas-mass-production-21700-battery/>
- [28] ARGUE, Charlotte. What can 6,000 electric vehicles tell us about EV battery health? *GEOTAB* [online]. USA: GEOTAB, 2019 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z:  
<https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>
- [29] BUCHMANN, Isidor. Types of Lithium-ion. *Battery University* [online]. Vancouver: Battery University, 2019 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z:  
[https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_battery\\_cells](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells)
- [30] Chevy Bolt battery. In: *RedGreenAndBlue* [online]. 2018 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z:  
<http://redgreenandblue.org/2018/07/09/battery-pack-dance-off-tesla-model-3-vs-chevy-bolt/>

- [31] Battery Management System (BMS). In: *Blink-drive* [online]. 2019 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: [https://blink-drive.com/wp-content/uploads/2019/12/Screenshot\\_1-5-1024x660.png](https://blink-drive.com/wp-content/uploads/2019/12/Screenshot_1-5-1024x660.png)
- [32] MAUGHAN, Ryan. What is the Best Electric Vehicle Battery Cooling System? *AVID technology* [online]. Newcastle, Velká Británie: AVID, 2017 [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: <https://avidtp.com/what-is-the-best-cooling-system-for-electric-vehicle-battery-packs/>
- [33] *Specifications for NCR18650BD* [online]. PANASONIC [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://evwest.com/support/panasonic-ncr18650bd-datasheet.pdf>
- [34] BYUNG-WOOK, Kim. LG Chem supplies most EV batteries globally by capacity in Feb. *The Korean Herald* [online]. Seoul, Jižní Korea: The Korean Herald, 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20200408000879>
- [35] Lithium-ion batteries for mobility and stationary storage applications. *Europa* [online]. Lucembursko: Office of the European Union, 2018 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc114616\\_li-ion\\_batteries\\_two-pager\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc114616_li-ion_batteries_two-pager_final.pdf)
- [36] Lithium ion demand. In: *Wccftech* [online]. 2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://wccftech.com/battery-tech-which-cell-design-promises-most-bang-for-the-buck/>
- [37] Bjorn NYLAND. Tesla Model 3 world record: 2781 km in 24h. *Youtube* [online]. 2019 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=R-2Yj-uVeB0>
- [38] Tomáš KAZDA a Jan STANĚK. Trendy ve vývoji baterií elektromobilů. *Electro dad* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.electrodad.cz/trendy-ve-vyvoji-baterii- elektromobilu-video-rozhovor-s-dr-kazdou-vedcem-vut-brno/>

- [39] Mark KANE. Let's Look At Tesla Model S & X Battery Degradation. *Inside EV's* [online]. Miami, USA: Inside EV's, 2018 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/337647/lets-look-at-tesla-model-s-amp-x-battery-degradation/>
- [40] Jeff DESJARDINS. Is Driving a Tesla Better for the Environment? It Depends... *Visual capitalist* [online]. 2016 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.visualcapitalist.com/is-driving-tesla-better-environment-depends/>
- [41] Johann KRISTENSSON. New Study: Large CO2 Emissions From Batteries Of Electric Cars. *The global warming policy forum* [online]. Londýn, UK: GWPF, 2017 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <http://www.thegwpf.com/new-study-large-co2-emissions-from-batteries-of-electric-cars/>
- [42] SHERSTYUK, Tim. Charging in minutes, not hours. *GBatteries* [online]. Ottawa, Kanada, 2019 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.gbatteries.com/technology>
- [43] EMW plugs. In: *Enel x* [online]. 2019 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://evcharging.enelx.com/eu/about/news/blog/552-ev-charging-connector-types>
- [44] EV connector types. *ZapMap* [online]. 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.zapmap.com/charge-points/connectors-speeds>
- [45] 2020 Guide On How To Charge Your Electric Car With Charging Stations. *ChargeHub* [online]. 2020 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>
- [46] Dobíjecí stanice skupiny ČEZ. *Elektromobilita* [online]. Praha: ČEZ, 2020 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.elektromobilita.cz/file/edee/elektromobilita/dobijeci-stanice/aktualni-mapa-dobijecich-stanic.pdf>

- [47] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/94/EU: O zavádění infrastruktury pro alternativní paliva*. In: . Štrasburk, Francie: Evropská Unie, 2014.
- [48] Mapa dobíjecích stanic PREpoint. *PRE mobilita* [online]. Praha: PRE, 2020 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/mapa-dobijecich-stanic-prepoint/>
- [49] *Mapa stanic E.ON Drive* [online]. Praha: E.ON, 2020 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.kdenabijet.cz/mapa-stanic/>
- [50] *Nabijto.cz* [online]. Praha: Univerzita Karlova, 2017 [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.nabijto.cz/>
- [51] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [52] NEDO, Sharp, and Toyota to Begin Public Road Trials of Electrified Vehicles Equipped with High-efficiency Solar Batteries. *Toyota* [online]. 2019 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/28787347.html>
- [53] Ladislav KAVAN. Využití lithia v pokročilých technologiích ukládání energie. *Akademie věd ČR* [online]. Praha: AV ČR, 2016 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [http://www.avcr.cz/opencms/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-souboru/2\\_Kavan.pdf](http://www.avcr.cz/opencms/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-souboru/2_Kavan.pdf)
- [54] EV wireless charging diagram. In: *Fleetcarma.com* [online]. 2018 [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.fleetcarma.com/soon-wireless-electric-vehicle-charging-coming/>
- [55] The BYD 35' TRANSIT K9S. In: *BYD – Build Your Dreams* [online]. 2020 [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: [https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/4504-byd-transit-cut-sheets\\_k9s-35\\_lr.pdf](https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/4504-byd-transit-cut-sheets_k9s-35_lr.pdf)

- [56] *Plugless* [online]. 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.pluglesspower.com/shop/>
- [57] BERNHART, Wolfgang a Franz J. KRUGER. The Lithium-Ion Battery Value Chain. Roland Berger [online]. Stuttgart, Německo: Roland Berger, 2012 [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: [http://www.messe-sauber.de/doc/files/e4\\_1\\_kruger\\_script.pdf](http://www.messe-sauber.de/doc/files/e4_1_kruger_script.pdf)
- [58] HENZE, Veronica. Battery Pack Prices Fall As Market Ramps Up With Market Average At \$156/kWh In 2019. Bloomberg [online]. Londýn, Anglie: Bloomberg, 2019 [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/?sf113554299=1>
- [59] Ceník dobíjení v síti dobíjecích stanic E.ON Drive. *E.ON* [online]. Praha: E.ON, 2020 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a169723---6bHfjgND/cenik-dobijeni-e-on-drive-pdf-up>
- [60] Ceník dobíjení vozidel. *PRE mobilita* [online]. Praha: PRE, 2017 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/Files/dobijeni/cenik-dobijeni-od-01012017/>
- [61] Chci dobíjet jednorázově. *PRE mobilita* [online]. Praha: PRE, 2020 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/dobijeni-na-prepoint/chci-dobijet-na-prepoint/chci-dobijet-jednorazove/>
- [62] Nabíjecí kabely. *Autonabíjení.cz* [online]. Praha: autonabíjení.cz, 2020 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/nabijeci-kabely/>
- [63] Nabíjecí stanice. *Autonabíjení.cz* [online]. Praha: autonabíjení.cz, 2020 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/nabijeci-stanice/>
- [64] How to calculate the CO2 emission from the fuel consumption? *Ecospore* [online]. Amsterdam, Nizozemsko,

- 2020 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://ecoscore.be/en/info/ecoscore/co2>
- [65] TODS, William. CO2 EMISSIONS FROM CARS: the facts. *TransportEnvironment* [online]. Brusel, Belgie, 2018 [cit. 2020-08-11]. Dostupné z: [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2018\\_04\\_CO2\\_emissions\\_cars\\_The\\_facts\\_report\\_final\\_0\\_0.pdf?fbclid=IwAR2U39\\_FTTrTJTSuewPGSbMf1Zvb\\_Ll21IYiOoWoCOQcnjxTAa3CdbkYBNc](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2018_04_CO2_emissions_cars_The_facts_report_final_0_0.pdf?fbclid=IwAR2U39_FTTrTJTSuewPGSbMf1Zvb_Ll21IYiOoWoCOQcnjxTAa3CdbkYBNc)
- [66] HAUSFATHER, Zeke. Factcheck: How electric vehicles help to tackle climate change. *Carbon Brief* [online]. 2020 [cit. 2020-08-11]. Dostupné z: <https://www.carbonbrief.org/factcheck-how-electric-vehicles-help-to-tackle-climate-change>
- [67] CO2 emissions from cars: facts and figures (infographics). *European Parliament* [online]. 2019 [cit. 2020-08-11]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>
- [68] *Mining, metals & minerals* [online]. Statista [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.statista.com/markets/410/topic/954/mining-metals-minerals/>
- [69] LEPAN, Nicholas. The New Energy Era: The Lithium-Ion Supply Chain. *VisualCapitalist* [online]. Vancouver, Kanada, 2019 [cit. 2020-07-24]. Dostupné z: <https://www.visualcapitalist.com/the-new-energy-era-the-lithium-ion-supply-chain/>
- [70] Anna BOYDEN, Vi KIE SOO a Matthew DOOLAN. The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries. *Procedia* [online]. 2016, 188-193 [cit. 2020-06-19]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.100>. ISSN 2212-8271.

- [71] Roční zpráva o provozu ES ČR. *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava: ERÚ, 2020 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni\\_zprava\\_pr\\_ovo\\_ ES\\_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc](http://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_pr_ovo_ ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc)
- [72] *Emerging markets outlook 2019* [online]. Londýn, UK: Bloomberg, 2019 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2019-report-en.pdf>
- [73] Luboš SRB. Jak (ne)bezpečné jsou požáry elektroaut podle hasičů? *Elektrické vozy* [online]. Praha: Elektrické vozy, 2019 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/rozhovor-jak-nebezpecne-jsou-pozary-elektroaut-podle-hasicu>
- [74] DEKRA Crashtest mit Serien-Elektrofahzeug: Frontale Kollision mit Pfahl. *Youtube* [online]. Neumünster, Německo: DEKRA, 2019 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=KzBotW7KLeo>
- [75] Model S Emergency Response Guide. *Tesla* [online]. Palo Alto, USA: Tesla, 2016 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: [https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/first\\_responders/2016\\_Models\\_S\\_Emergency\\_Responders\\_Guide\\_en.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/first_responders/2016_Models_S_Emergency_Responders_Guide_en.pdf)
- [76] Frederik LARSSON, Petra ANDERSSON, Per BLOMQVIST a Bengt-Erik MELLANDER. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Scientific Reports* [online]. 2017, **7**(10018) [cit. 2020-04-17]. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09784-z.pdf>
- [77] Tomáš FILIP. *Efektivnost hašení zařízení CCS Cobra* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/114168/FIL00>



65\_FBI\_B3908\_3908R006\_2016.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava.

- [78] Tesla Semi. *Tesla* [online]. 2017 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/semi>
- [79] DITL, P., NETUŠIL, M. Bilancování a simulace systémů v MS Excel. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06396-5.
- [80] Electricity price statistics. *Eurostat - Statistics Explained* [online]. 2020 [cit. 2020-08-20]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics)

**Seznam rovnic**

- (1) Vybíjecí a nabíjecí proces olověného akumulátoru
- (2) Rovnice vybíjecího a nabíjecího procesu nikl kadmiového akumulátoru
- (3) Rovnice vybíjecího a nabíjecího procesu nikl metal hydridového akumulátoru
- (4) Rovnice vybíjecího a nabíjecího procesu lithiového akumulátoru

**Seznam tabulek**

1. Ceník ČEZ
2. Ceník E.ON
3. Ceník PRE
4. Celková těžba materiálů v roce 2018 a jejich předpokládaná potřeba pro akumulátory v roce 2028