

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



## **Bakalářská práce**

Technickoekonomická analýza provozu elektromobilů  
pro firemní účely

Adam Balon

**Vedoucí práce:** Ing. Bc. Blanka Kučerková

**Studijní program:** Elektrotechnika, energetika a management

**Obor:** Elektrotechnika a management

Praha

4. ledna 2022

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Balon** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **482409**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Technickoekonomická analýza provozu elektromobilů pro firemní účely**

Název bakalářské práce anglicky:

**Technical and Economic Analysis of Electric Vehicle Operation for Company Purposes**

Pokyny pro vypracování:

1. Analyzujte současný stav elektromobility v ČR a ve vybraných evropských státech
2. Popište technické aspekty elektromobility
3. Popište ekologické aspekty elektromobility
4. Případová studie – technickoekonomické srovnání elektromobilu a konvenčního automobilu pro firemní účely
5. Zhodnoťte výsledky a navrhněte optimální řešení

Seznam doporučené literatury:

1. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, odbor 31300: Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility (NAP CM), 6.5.2020
2. EuroEnergy, spol.s.r.o.: Dílčí studie pro pracovní tým A25 – Predikce vývoje elektromobility v ČR, 3.4.2018
3. Brealey, Myers, Allen – Teorie a praxe firemních financí, BizBooks, 2014, ISBN: 978-80-265-0028-5

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Bc. Blanka Kučerková, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL**

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

Datum zadání bakalářské práce: **18.01.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.01.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Bc. Blanka Kučerková  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Technickoekonomická analýza provozu elektromobilu pro firemní účely“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce.

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval hlavně vedoucí práce Ing. Bc. Blance Kučerkové, za odborné vedení, pomoc a rady při vypracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat svému blízkému okolí za podporu, které se mi dostávalo v každé situaci.

# Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá technickoekonomickou analýzou elektromobilu pro firemní účely. První část teoretické části je zaměřena na aktuální stav elektromobility v českých zemích a u dalších evropských států, kde jsou zmapovány položky jako počty elektromobilů, počty veřejných nabíjecích stanic atd. Další část se zaměřuje na technické aspekty elektromobility. Mezi ty patří např. princip činnosti elektromobilu, druhy elektromotorů a akumulátorů, které se dnes v elektromobilech převážně používají. Jako poslední z teoretických témat je v práci probrána skutečná ekologie elektromobilů. Součástí práce je také případová studie s názvem „Technickoekonomické srovnání elektromobilu a konvenčního automobilu pro firemní účely“, ve které jsem zvolil 2 zástupce automobilů a 3 zástupce firem, pro které posuzuji vhodnost jednoho či druhého typu vozu. Závěrem práce je výstup ve formě zhodnocení výsledků a navržení optimálního řešení.

## Klíčová slova

Elektromobilita, Současný stav elektromobility, nabíjení elektromobilu, akumulátory v elektromobilech, srovnání elektromobilu s konvenčním automobilem pro firemní účely, ekologie elektromobilů

# Abstract

This bachelor thesis deals with technical and economic analysis of electric vehicle operation for company purposes. The first part of theoretical research is dedicated to the current state of electromobility in Czechia and in other European countries, including entries about quantity of EVs or public charging stations etc. Next part focuses on technical properties of electric vehicles, which explains for example main principle of electric car operation or describes currently used electric motors and batteries in EVs. The last theoretical part is dedicated to ecology, which in today's world is very important. This bachelor's thesis also includes case study called "Technical and economical comparison between electric vehicle and conventional automobile for company purposes", in which I chose two very similar representatives of cars and 3 representatives of companies, that might want to invest in EV. The conclusion is made by outputs from the case study and by designing optimal solution.

# Keywords

Electromobility, Current state of electromobility, charging of an electric vehicle, accumulators in electric cars, comparison of an electric car with a conventional car for business purposes, ecology of electric cars

## Obsah

1	Úvod.....	7
2	Současný stav elektromobility v ČR a ve vybraných evropských státech.....	8
2.1	Stručný vhlad do historie .....	8
2.2	Co vedlo a vede k rozvoji elektromobility?.....	10
2.3	Současný stav elektromobility v ČR a výhled do budoucna .....	12
2.4	Současný stav elektromobility ve vybraných evropských státech.....	14
3	Technické aspekty elektromobility .....	16
3.1	Princip elektromobilu, pohon, účinnost.....	16
3.1.1	Elektromobily s asynchronními motory .....	16
3.1.2	Elektromobily se synchronními motory s permanentními magnety .....	17
3.2	Typy elektromobilů .....	18
3.2.1	BEV .....	19
3.2.2	HEV .....	19
3.2.3	FCEV .....	19
3.3	Akumulátory .....	20
3.3.1	Druhy baterií .....	20
3.3.2	Konstrukce baterií.....	21
3.3.3	Výkon baterií .....	22
3.3.4	Kapacita baterií .....	22
3.3.5	Vliv teplot okolí na fungování baterie .....	22
3.3.6	Degradace baterií .....	23
3.4	Možné způsoby dobíjení, dobíjecí infrastruktura .....	23
3.4.1	AC nabíjení .....	24
3.4.2	DC nabíjení .....	24
3.4.3	Domácí nabíjení .....	24
3.4.4	Veřejné nabíjecí stanice .....	25

4	Ekologické aspekty elektromobility.....	26
4.1.1	Výroba .....	26
4.1.2	Provoz .....	27
4.1.3	Likvidace – recyklace .....	28
4.1.4	Další možné využití použitých akumulátorů .....	29
5	Případová studie – Technickoekonomické srovnání elektromobilu a konvenčního automobilu pro firemní účely .....	30
5.1	Úvod případové studie.....	30
5.2	Vhodný výběr automobilů .....	31
5.2.1	Benzínový automobil – VW Up! 1,0 MPI.....	31
5.2.2	Elektromobil – VW e-Up! .....	31
5.3	Výběr zástupců firem.....	32
5.3.1	Firma 1 – Instalater24 Praha.....	32
5.3.2	Firma 2 – Pizza Na Zavolanou Radotín.....	32
5.3.3	Firma 3 – Pizza Na Zavolanou Radotín s dotací od MPO.....	32
5.4	Výpočty .....	33
5.4.1	Ceny pohonných hmot .....	33
5.4.2	Celkové roční náklady .....	33
5.4.3	Životnost vozidel .....	36
5.4.4	Odpisy .....	36
5.4.5	Prosté kumulativní náklady pro jednotlivé firmy .....	37
5.4.6	Grafy kumulativních nákladů .....	39
5.4.7	Metody vyhodnocení – Výpočet čisté současné hodnoty (NPV) a ročního ekvivalentního peněžního tok (RCF) .....	40
5.4.8	Citlivostní analýza .....	41
6	Zhodnocení výsledků a navržení optimálního řešení.....	43
7	Zdroje.....	45
8	Seznam obrázků .....	49



# 1 Úvod

V posledních letech se elektromobilita stává jedním z nejdiskutovanějších témat nejen mezi automobilovými nadšenci, ale také mezi širokou veřejností. A to i přes skutečnost, že počty elektromobilů v ČR jsou zatím velmi nízké. Celosvětově ale zažívají elektromobily veliký boom a jejich počty se dynamicky zvyšují. Za důkaz tohoto tvrzení můžeme považovat například nabídky flotil automobilových značek, kde téměř každá velká automobilka nabízí jak vozy s hybridními pohony, tak vozy na čistě elektrický pohon nebo počet carsharingových elektromobilů hlavně v Praze, ale i v Brně a Ostravě.[1]

## 2 Současný stav elektromobility v ČR a ve vybraných evropských státech

Tato část je zaměřena primárně na situaci v ČR na poli historie rozvoje elektromobility, analýzy současného stavu, výhledu do budoucna a porovnání s dalšími evropskými zeměmi.

### 2.1 Stručný vhled do historie

Elektromobil je některými milně pokládán za přelomový vynález 21. století, a to díky nynějšímu většímu důrazu na alternativní pohony. První elektromobily však vznikly již ve století 19. Za prvního průkopníka na poli elektromobility by se dal považovat Maďar Ányos Jedlik, který v roce 1828 vynalezl prototyp elektrického motoru a následně postavil model vozidla. Tento model byl však daleko od praktického využití z důvodu neschopnosti uschovat elektrickou energii. Tehdejší akumulátory disponovali velmi malou kapacitou a nebylo je možné opětovně nabíjet. Změna přišla až roku 1865, kdy francouzský fyzik Gaston Planté vynalezl revoluční olovené baterie, které bylo možné opětovně dobíjet a disponovali několikanásobně větší kapacitou.[2]

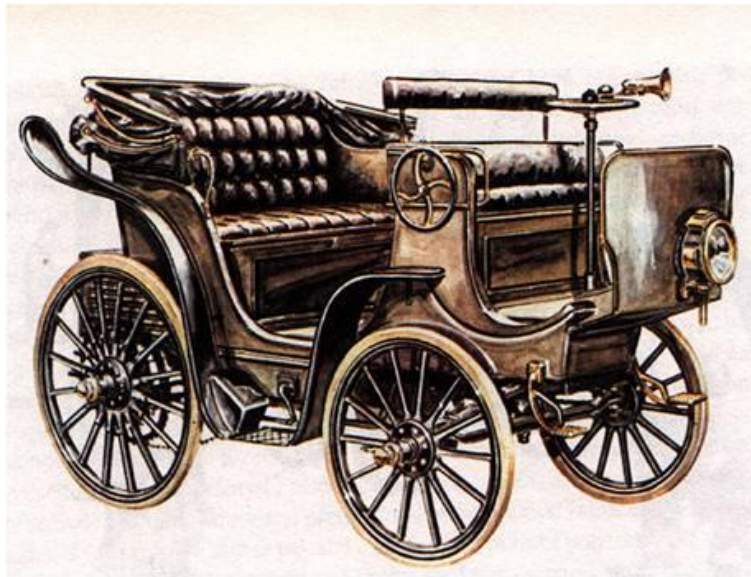
Prvním veřejně prezentovaným elektromobílem se stalo tříkolové vozidlo Gustava Trouvého, které bylo poháněno energií z vlastního zdroje energie.[3]



Obrázek 1 - tříkolka Gustava Truvého, první elektromobil na světě.

Roku 1895 František Křižík dokončil svůj první elektromobil ve formě kočáru, ke kterému byl upevněn nad zadní nápravou elektromotor o výkonu 5 koní. Baterie se ukrývaly

pod sedadly a první prototyp se ovládal řídicí pákou. Vylepšení ve formě volantu a pedálů se dočkal až druhý vůz z Křižíkovy produkce.



*Obrázek 2 - Elektromobil Františka Křižíka.*

Elektromobily byly preferovaným způsobem automobilové přepravy na konci 19. a počátkem 20. století, protože nabízely snadné ovládání a komfort, čemuž dobové spalovací automobily nedokázaly konkurovat.[4]

Za zmínku rozhodně také stojí v Československu vyráběný elektromobil EMA 1. V roce 1968 přišli konstruktéři z VUT v Brně s návrhem prototypu malého vozidla na městské dojíždění. Dojezd byl sice pouhých 30-50 km a maximální rychlost se rovnala 50 km/h, vůz však technologií předběhl i některé západní prototypy elektromobilů. Revoluční byl stroj primárně v tom, že nevyžadoval téměř žádnou údržbu. Brzdné destičky se opotřebovávaly jen málo díky rekuperaci kinetické energie a absence převodovky odbourala potřebu výměny olejových kapalin. Projekt EMA byl ovšem roku 1973 z nařízení tehdejší vlády zrušen. [7]



*Obrázek 3 - Československý elektromobil EMA rok 1970*

## 2.2 Co vedlo a vede k rozvoji elektromobility?

K rozvoji elektromobility dochází v dnešní době primárně z ekologických a politických důvodů. Závislost moderního světa na fosilních palivech pouze podporuje moc států, které vlastní nerostné bohatství fosilních paliv, tedy například Ruska nebo Saudské Arábie.

Dříve tomu tak ale nebylo. Na přelomu 19. a 20. století se elektromobily rozvíjely rychleji než spalovací automobily, a to z několika důvodů. Prvním bylo snadné řízení, druhým zřejmě větší komfort. Tehdejší spalovací motory se musely startovat klikou, byly velmi hlučné a nedaly se jednoduše ovládat. Největším problémem však bylo uložení elektrické energie a pořizovací cena. Hlavně díky ceně nakonec v počátcích automobilové éry zvítězily vozy s motory, poháněné fosilními palivy.[6]

V rozvoji elektromobility nám v dnešní době brání hned několik hlavních problémů. Jako nejvýznamnější bariéry jsou uváděny technické vlastnosti vozidel, zejména pak vlastnosti baterií. Ty totiž i přes značné zlepšení v posledních letech nedosahují požadovaných kapacit a krátké doby nabíjení, mají nejistou dobu životnosti a nejsou levné. Všechny tyto problémy se však postupem času odbourávají a nejnovější modely elektromobilů, jako například Volkswagen ID.3, nabízí opět o poznání lepší parametry. [8] [9]

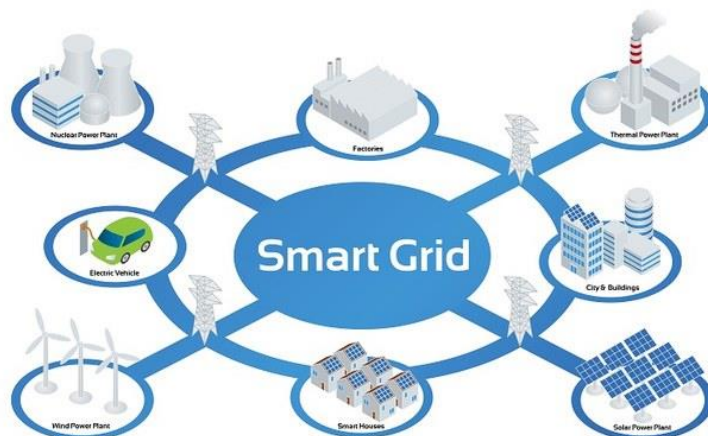


Obrázek 4 - Volkswagen ID.3 2020.

Další významnou bariérou je infrastruktura. Pro masové rozšíření elektromobility je potřeba zlepšení současné distribuční sítě a její přizpůsobení pro nabíjení elektromobilů. Součástí toho je i potřeba rozšíření počtu veřejných nabíjecích stanic a jejich standardizace (v současné době se používají převážně dva systémy: CHAdeMO a CCS). Ideálním stavem je pak propojenost vozidel, která vzájemně sdílí data o stavu nabití svých baterií a jejich pravidelném využívání. Tím se stávají aktivními články v síti, jsou pak schopny reagovat jako celek a tím tlumit výkyvy sítě rozložením nabíjecí doby elektromobilů v čase nebo dokonce vrácením části energie zpět do sítě. Tento systém se nazývá „smart grids“ – chytré sítě. [8]

Částečně podceňovaný faktor tvoří lidské předsudky, nedůvěra uživatelů v nové technologie, neschopnost je správně využívat a rozumět jim. K tomu přispívají nemalým dílem fake news, které se šíří snadno mezi lidmi, kteří nemají praktické zkušenosti s elektromobily. [8]

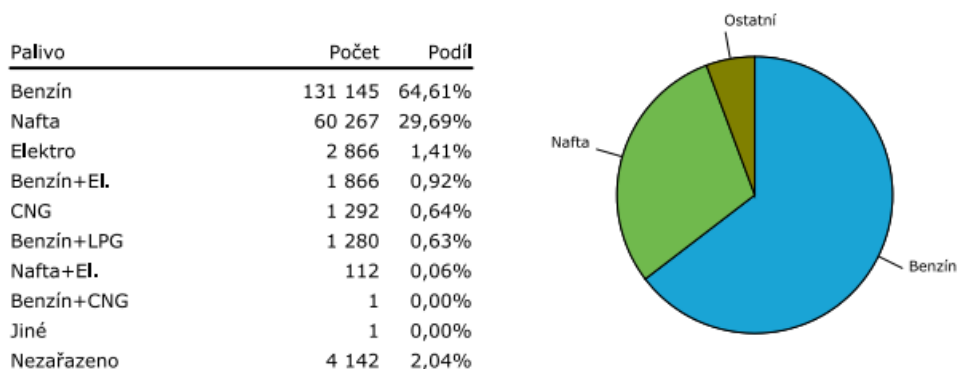
Hlavními důvody pro rozvoj elektromobility jsou dnes primárně snížení množství vypouštěných skleníkových plynů do atmosféry, aby se snížil dopad dopravy na změny klimatu a snížení závislosti na fosilních palivech, a tím i závislosti na dodávkách z politicky nestabilních regionů. Dalším neméně podstatným důvodem je snížením hlukové zátěže vznikající při provozu vozidla, což napomáhá ke zlepšení optimálních podmínek pro život ve městech. V ČR se nerostné bohatství ve formě ropy nenachází a snížením jeho užívání by se stala země méně závislá na importu. [8]



Obrázek 5 - Ukázka významu "Smart grid"

## 2.3 Současný stav elektromobility v ČR a výhled do budoucna

V České republice v současné době zůstává i nadále podíl nově registrovaných elektromobilů relativně nízký (cca 1,41 %). Meziročně se však jedná o rekordní nárůst (o 331 %). Za rok 2020 se poprvé v historii jedná řádově o tisíce kusů vozidel, nikoliv jen o stovky. Dle dat registrovaných vozidel BEV, tedy čistě elektrických vozů, se registrovalo k listopadu roku 2020 již 2866 automobilů. Nejprodávanějším vozem čistě na elektrický pohon je u nás Škoda Citigo-e iV. Větším prodejním číslem určitě pomohla také nová řada ID od Volkswagenu, která vyšla v září roku 2020. [10] [11] [16]



Obrázek 6 - Registrace nových vozidel v ČR dle paliv.

S tím také výrazně narostl počet veřejných dobíjecích stanic. Aktuálně k datu 15.12.2020 eviduje ministerstvo průmyslu a obchodu celkem 698 dobíjecích stanic po celé ČR, z čehož největší část vlastní ČEZ, který aktuálně provozuje 250 dobíjecích stanic, druhá je Pražská energetika a.s. se 120 stanicemi a třetí E.ON se 100 stanicemi. Na jednu stanicí tak

aktuálně připadá asi 10 čistě elektrických aut, což je, vzhledem k primárnímu nabíjení v noci z klasické zásuvky, relativně příznivá hodnota. Samotný ČEZ pak cílí na stavbu 100 až 150 stanic ročně, což ale s předpokládaným nárůstem nízkoemisních vozidel není dostatek. [10]

Zajímavým konceptem nabíjecích stanic, je využití pražského osvětlení, kdy se na lampy pověsí nabíjecí stanice. Nejprve je však nutné upravit jak přívod elektrické energie, tak samotný stožár. Pak lampa může sloužit jako AC nabíjecí stanice o příkonu 22kW. Aktuálně takto funguje zatím jen 13 lamp. Do budoucna se ale v Praze plánuje masivní rozšíření nabíjecích lamp (3000-6000 lamp). Jen pro rok 2021 je v plánu instalace 350 dobíjecích stanic integrovaných do lamp veřejného osvětlení. [12]



Obrázek 7 – Dobíjecí stanice pro elektromobily AC 22 kW integrovaná do lampy veřejného osvětlení Praha.

Velký rozvoj nabíjecích stanic je způsobený dvěma hlavními faktory. Prvním je velký přírůstek nových elektromobilů v Česku, které mají vyšší kapacitu baterií, a tím také větší dojezd. Ten totiž způsobuje, že lidé potřebují více nabíjet. Byť je pravdou, že jakákoliv dotace narušuje hospodářskou soutěž, jsou zde právě evropské dotace tím druhým faktorem, který usnadnil firmám rozvoj stanic. [10]

Například firma ČEZ v roce 2017 získala dotaci z unijního fondu CEF (Connecting Europe Facility) v přepočítané hodnotě cca 63 milionu Kč na výstavbu dobíjecích stanic v ČR. [13]

## 2.4 Současný stav elektromobility ve vybraných evropských státech

Název této kapitoly se záměrně neomezuje jen na státy evropské unie, protože aktuálním největším „tahounem“ mezi státy na poli elektromobility je Norsko. Dále se kapitola věnuje našemu ekonomicky nejdůležitějšímu sousedovi Německu.

Norsko je zemí s největším podílem elektromobilů na světě. V roce 2019 byl počet elektromobilů v Norsku přes 160 000 vozidel, což představuje cca 7 % všech osobních vozidel v zemi. Není se čemu divit, protože na elektromobily je v Norsku již dlouhodobě sleva na DPH a další daňové úlevy. Také díky své geografické poloze má Norsko znatelnou energetickou výhodu. V Norsku se nachází 82 velkých vodních elektráren s instalovaným výkonem 100 MW a více, čímž vyrábí ročně 136 676 GWh. Jelikož počet obyvatel této země činí 5,3 milionu obyvatel, instalovaný výkon vodních elektráren pokrývá 96,1 % z celkové produkce elektrické energie. [8] [15]



Obrázek 8 - Hydroelektrárna v Norsku

I z těchto důvodů jen v roce 2018 bylo nově zaregistrovaných elektrických aut 46 143 kusů neboli 31 % všech nových vozidel. V roce 2020 dokonce Norsko dosáhlo rekordu. Celkem se v zemi prodalo 141 412 automobilů, z nichž je 76 789 čistě elektrických. To znamená, že Norsko dosáhlo podílu nově zakoupených elektromobilů 54,3 %, tedy více než jakákoliv jiná země na světě. K vysokému procentu nově koupených elektromobilů také přispěla značka Volkswagen, která od září roku 2020 prodává nový model Volkswagen ID.3. Díky tomu se stal



německý Volkswagen nejčastěji prodávaným vozem v Norsku, a sesadil tak z trůnu americkou Teslu. Norsko, jako první země světa, navíc přišlo s plánem, ve kterém chce v roce 2025 ukončit prodej nových vozů s benzínovým a naftovým pohonem. Pro příští rok (2021) dokonce odhadují, že podíl elektrických vozidel přesáhne 65 %. [8] [14]

Elektromobilita v Německu je dlouhodobě podporována ze strany vlády jak dotacemi, tak různými restrikcemi pro klasické spalovací automobily. Například od roku 2018 platí pro dieselové automobily zákaz vjezdu do center vybraných měst. Nejprve opatření platila jen pro výjimky, v roce 2019 se rozšířila na většinu velkých měst. Nutno podotknout, že zmíněné opatření bylo primárně zavedeno z důvodu znečištěného ovzduší, nikoliv z důvodu podpory elektromobility. [17]

S příchodem koronavirové krize německá vláda rozhodla o dalších podporách ekonomiky. Z podpory nejvíce získají právě nízkouhlíkové technologie, které zaznamenaly navýšení dotací. Hlavní podmínkou získání dotace je ale cena vozu. Německá hranice je 40 tis. eur, tedy v přepočtu lehce přes 1 milion korun. Důsledkem toho jsou dotací automaticky vyloučeny dražší automobilky jako například Tesla, Mercedes, Jaguar nebo Audi. [18]

Naopak levnější elektromobily jsou tímto značně zvýhodněny. Značky jako Hyundai, Kia, Peugeot, Honda nebo Volkswagen dostanou místo původních 3000 eur v Německu nyní dotaci 9000 eur, tedy zhruba 235 000 Kč. [19]

Celkové počty elektromobilů v Německu v posledních letech rapidně stouply. Za jeden měsíc roku 2020 se registruje cca 50 000 nových elektromobilů. Aby takové poptávce po nabíjení šly energetické společnosti naproti, postaví se v Německu týdně v průměru 200 nových dobíjecích bodů. Kvůli obrovskému zájmu o elektromobily je nyní v Německu 11 osobních elektromobilů na jednu nabíječku, tedy o jeden více než v ČR. Celkem tak je nyní v Německu registrovaných přes 360 000 elektromobilů a vystavěných již 32 110 dobíjecích stanic. [20]

Německo očekává do roku 2030 milion vystavěných dobíjecích stanic, aby se však tato předpověď naplnila, je třeba dosáhnout 2000 vystavených stanic týdně. [20]

## 3 Technické aspekty elektromobility

V této části jsou rozebrány technické vlastnosti elektromobilů, princip fungování, jejich dělení, způsoby pohonu a akumulace. K akumulaci také neoddělitelně patří způsoby nabíjení a dobíjecí infrastruktura.

### 3.1 Princip elektromobilu, pohon, účinnost

Elektromobil je automobil, který je poháněn jedním či více elektrickými motory, které jsou napájeny baterií. Baterie jsou dobíjeny ze sítě na dobíjecích stanicích nebo formou rekuperace (přeměna mechanické energie zpět na elektrickou). Nedílnou součástí elektromobilu je vždy (stejnoseměrné motory se u elektromobilů již téměř nevyužívají) střídač (power inverter), který funguje jako mozek hnacího ústrojí elektromobilu. Z baterie je dodáváno stejnosměrné napětí (DC) resp. stejnosměrný proud, které je třeba pro asynchronní i synchronní motory střídačem transformovat na třífázové střídavé napětí (AC), resp. střídavý proud. Úpravou výstupních hodnot frekvence a amplitudy napěťového signálu dochází k řízení elektromotoru. [24]

K pohonu elektrických vozů se v dnešní době využívá hlavně dvou elektrických motorů, a sice asynchronního motoru (indukční motor) a synchronního motoru s permanentními magnety. [25]

#### 3.1.1 Elektromobily s asynchronními motory

Asynchronní stroje jsou nejvíce rozšířenými elektrickými motory, protože jsou ze všech motorů nejjednodušší, a tedy i výrobně nejlevnější, nejspolehlivější na provoz a nevyžadují téměř žádnou údržbu. Dříve nebyly tyto motory považovány za nevhodné pro trakci, protože fungují neoptimálněji při konstantní rychlosti, ale dnes, s použitím polovodičových měničů, lze přizpůsobit jejich charakteristiky nejrůznějším požadavkům. [26]

Princip činnosti AS stroje spočívá ve vzájemné interakci točivého magnetického pole tvořeného státorem a indukovaného proudu v rotoru stroje – proto bývá označován také jako indukční stroj. [26]

Hlavní nevýhodou je nepřesná rychlost otáčení hřídele, protože rychlost točivého magnetického pole je vždy rychlejší než rychlost rotoru, a to o rychlost skluzovou. [26]

Účinnost pohonů s asynchronními motory se pohybuje okolo 80 až 90 %. [26]



Obrázek 9 - Standardní asynchronní motor s kotvou nakrátko

### 3.1.2 Elektromobily se synchronními motory s permanentními magnety

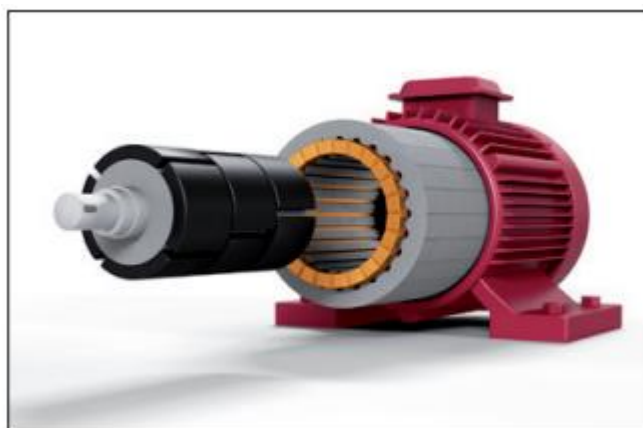
Synchronní stroje obecně jsou sice dražší a konstrukčně náročnější než asynchronní stroje, mají ale svoje výhody. Automobilky se svými novými modely dávají těmto motorům přednost. [25]

Principem funkce je magnetické „chycení se“ permanentních magnetů na točivé magnetické pole tvořené statorovými proudy. Z definice se jedná o synchronní motor, tedy mezi rotorem a točivým magnetickým polem statoru není skluz (rozdíl v otáčivé rychlosti). Řízení rychlosti je tak přesné. Statorové vinutí je konstrukčně provedeno obdobně jako u motorů asynchronních. [26]

Hlavní nevýhodou synchronních motorů s permanentními magnety je špatná funkce ve vysokých rychlostech. Čím je otáčivá rychlost vyšší, tím více se na statoru generuje napětí v opačném směru, které zapříčiňuje demagnetizaci. [27]

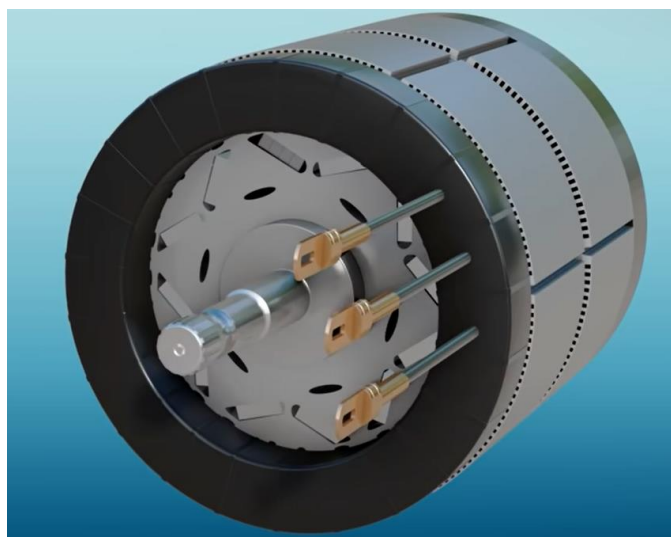
Další nevýhodou synchronních motorů je obtížnější spouštění, kdy je třeba se při rozběhu dostat do synchronismu (tedy stejné rychlosti točivého magnetického pole a rotoru). Je tak třeba přesného sledování polohy rotoru a precizního řízení. [26][27]

Hlavní výhodou těchto motorů je velmi vysoká účinnost, která je až 94 %, protože na rozdíl od asynchronních motorů zde nedochází ke ztrátám indukovanými proudy v rotoru. [27]



Obrázek 10 - Synchronní motor s permanentními magnety.

Některé automobilky, jako například Tesla s modelem 3 nebo Toyota s modelem Prius, přichází s motory „IPMSynRM“, které kombinují skvělé vlastnosti v nižších rychlostech synchronního stroje s permanentními magnety a skvělé vlastnosti ve vyšších rychlostech synchronního stroje reluktančního, aby dosáhli maximální účinnosti jejich pohonné jednotky – tedy až 96 %. [27]



Obrázek 11 - Šestipólový IPMSynRM motor z Tesla Model 3.

## 3.2 Typy elektromobilů

Elektromobil (zkráceně EV – z anglického „Electric vehicle“) označuje větší skupinu automobilů, do které nepatří pouze bezemisní bateriové automobily (BEV – „battery electric vehicle“), ale také různé druhy hybridních automobilů. Patří zde tedy každé vozidlo, které ke svému pohonu využívá elektrickou energii.

### 3.2.1 BEV

„Battery electric vehicle“, v překladu bateriový elektromobil, označuje skupinu automobilů, která ke své funkci používá pouze jeden či více elektromotorů. Nabíjí se výhradně ze sítě, tedy z nabíjecích stanic nebo i standardních zásuvek, a uchovává elektrickou energii v bateriích. Tato vozidla vůbec nedisponují spalovacím motorem, jsou tedy bezemisní (pokud nepočítáme výrobu vozu a el. energie). [21]

### 3.2.2 HEV

„Hybrid electric vehicle“ jsou skupina elektromobilů, která ke svému pohonu využívá alespoň jeden elektromotor. Dále se ve voze vždy nachází baterie, která může být dobíjena ze sítě (poté jde o PHIV – „Plug-in hybrid electric vehicle“) nebo je dobíjena spalovacím motorem, který je také součástí vozu. Ten může být připojen přímo k hnacímu ústrojí vozu (pak je označován jako Paralelní hybrid) nebo může sloužit pouze k dobíjení baterií (označujeme jako Sériový hybrid). V praxi se většinou používá kombinace Sériového/Paralelního hybridu, protože kombinuje jak výhody sériového hybridu v městském provozu, tak výhody paralelního hybridu ve vyšších rychlostech nebo potřebě vyššího výkonu vozu. [21]

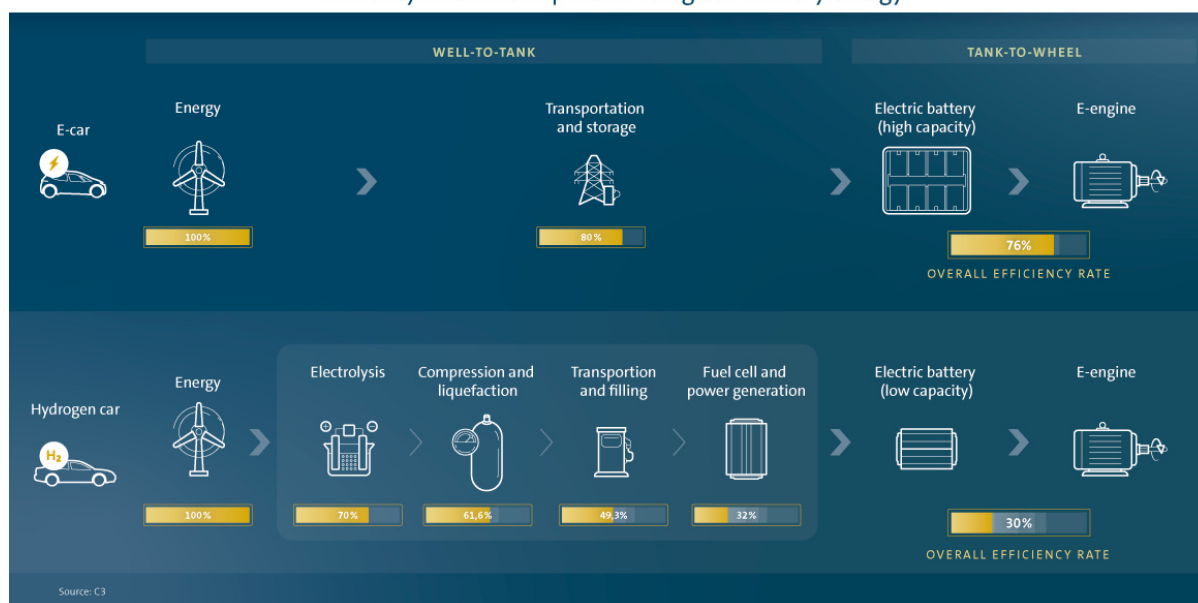
### 3.2.3 FCEV

„Fuel cell electric vehicle“ označuje elektromobily s palivovými články na vodíkový pohon. Tyto vozy mají, stejně jako BEV, pouze elektromotor, nikoliv motor spalovací. Hlavní rozdíl je v uchování energie. Její většina se u FCEV uchovává v palivových člancích ve formě vodíku, nikoliv v bateriích. Vodík je pak během funkce vozu měněn chemickou reakcí na elektrickou energii v palivových člancích. Menší baterie však ve vozidle musí být přítomna, protože výroba elektrické energie není dostačující v případě většího odběru, například u rychlého rozjezdu elektromobilu, kdy je odběr největší. [22]

Hlavními nevýhodami elektromobilů s palivovými články jsou jak nákladnost uchování a přepravy vodíku, tak jeho neefektivnost. Po výrobě vodíku pomocí elektrolýzy, stlačení nebo zkapalnění, přepravě a následně plnění palivového článku je celková účinnost okolo 30 %. [22][23]

## HYDROGEN AND ELECTRIC DRIVE

Efficiency rates in comparison using eco-friendly energy



Obrázek 12 - FCEV vs BEV

### 3.3 Akumulátory

Baterie je bezesporu nejdůležitější a nejdražší část celého elektromobilu. Hlavním důvodem, proč v minulosti nedocházelo k rozvoji elektromobility, byly právě technologické nedostatky ve schopnosti akumulace elektrické energie. V této oblasti ale v posledních letech došlo k nejrapidnějšímu pokroku. [28]

#### 3.3.1 Druhy baterií

V minulosti proběhlo mnoho pokusů o osazení elektromobilů různými druhy baterií. Jako první se využíval olověný akumulátor, jehož primární výhodou je nízká cena, spolehlivost a bezpečnost. Ten se však neosvědčil primárně z důvodu nízké specifické energie, špatných výkonů za nízkých teplot a nízké životnosti. [31][32]

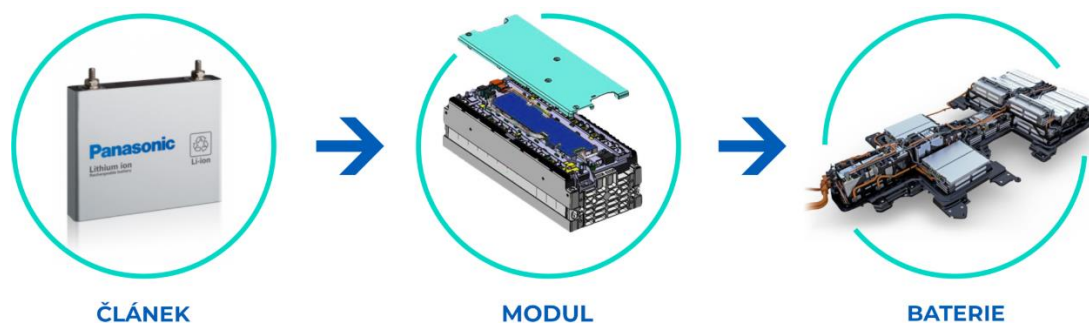
Další používané baterie byly nikl-metal hydridové baterie, které již slibovaly obtojně množství vnitřní energie a také o mnoho delší životnost. Tento typ baterií byl extenzivně využíván u hybridních vozů. Jejich největšími problémy jsou vysoká cena, samovolné vybíjení baterií a nadměrné zahřívání při vyšších teplotách. [32]

Dnes však jasně dominují lithium-iontové baterie, které tvoří naprostou většinu akumulátorů elektrických vozů. Tyto baterie excelují velkým množstvím vnitřní energie na

jednotku hmotnosti, vysokou energetickou efektivností, dobrými výkony ve vysokých teplotách a téměř netrpí samovolným vybíjením. [32]

### 3.3.2 Konstrukce baterií

Každý automobilový výrobce si navrhuje své vlastní, trochu jiné, baterie. V zásadě jsou ale všechny baterie konstruovány stejným způsobem. Malé bateriové články jsou skládány po skupinách stovek nebo tisíců kusů do tzv. modulů, z kterých se pak skládá baterie elektromobilu. Možnost rozebrání na jednotlivé moduly je pro výrobce klíčová, protože umožňuje snazší výrobu, instalaci do vozu, údržbu a případné vyměnění poškozených částí. [28]



Obrázek 13 - Složení baterie.

V současnosti u elektromobilů rozlišujeme 3 typy článků. Prvním typem jsou články válcové, které využívá například společnost Tesla. Tato varianta umožňuje vysokou optimalizaci při výrobě, čímž kombinuje levnou cenu s nejvyšší účinností. Druhým typem jsou články hranolové, které využívá například BMW nebo Volkswagen. Jejich výhodou spočívá v dobré skladnosti a snadném chlazení. Naopak nevýhodou je nízká energetická hustota. Dalším typem jsou články pouzdrové. Ty využívá např. Nissan, Renault nebo Chevrolet. Jsou nejflexibilnější z hlediska jednotlivých modulů a kapacity, ale je třeba kontrolovat teplotu a tlak. [28]

Každý modul baterie obsahuje chladicí jednotku, monitor teploty a ve většině případů i monitor napětí, který komunikuje s centrálním systémem řízení baterie.

### 3.3.3 Výkon baterií

Maximální výkon baterie je důležitý, protože nám určuje, jak rychle je možné baterii vybit nebo nabít. Výkon baterie je dán vnitřním odporem akumulátorů, z kterých se baterie skládá. Čím nižší vnitřní odpor bude baterie mít, tím lze dosáhnout vyššího výkonu (udáván v kW a vypočítáván standardně výstupní napětí děleno výstupní proud). S výkonem baterií také souvisí zahřívání. Pokud je baterie namáhána velkým výkonem, ať už při vybíjení nebo nabíjení, dochází v akumulátorech k velkému zahřívání, právě vlivem jejich vnitřního odporu. [29]

Baterie od společnosti Tesla jsou například známé velmi malým vnitřním odporem, proto dokáží dodávat výkon přes 500 kW, což je ekvivalentem například pro 250 rychlovarných konvic o výkonu 2 kW spuštěných najednou. Takto velký výkon ovšem velmi zahřívá baterii, proto Tesla používá aktivní systém chlazení baterie. [29]

### 3.3.4 Kapacita baterií

Nejdůležitější vlastností každé baterie elektromobilu je její kapacita, která spolu s výkonem elektromotorů ve voze přímo určuje dojezd vozu. Kapacita se nejčastěji udává v kWh, což nám přesně říká, jaký maximální výkon je baterie schopna dodávat po dobu jedné hodiny. Běžné městské elektromobily začínají na kapacitě cca 30 kWh, což při nízké spotřebě vozu Škoda Citygo iV dostačuje na dojezd až 252 km. Běžná kapacita elektromobilů je však dnes kolem 60 až 80 kWh, v některých případech i 100 kWh. [29][30]

Rozlišujeme kapacitu celkovou a využitelnou. Výrobce většinou udává kapacitu celkovou, protože to z marketingového hlediska působí lépe, ale tu ve skutečnosti nikde nemůžeme využít celou. Rozdíl mezi těmito kapacitami se nazývá Buffer a slouží jako ochrana před poškozením baterie, protože nedovolí uživateli nikdy baterii vybit úplně. Baterie by se tím totiž nevratně poškodila. [31]

### 3.3.5 Vliv teplot okolí na fungování baterie

Z praktických zkušeností víme, že dojezd elektromobilu je ovlivněn okolní teplotou. V zimních měsících je dojezd výrazně kratší než v létě. To je způsobeno nejen spotřebou energie na topení v kabině, ale hlavně baterií. Ve studenějším prostředí totiž dochází ke zpomalení chemických procesů uvnitř baterie, proto dojde ke zvýšení vnitřního odporu.



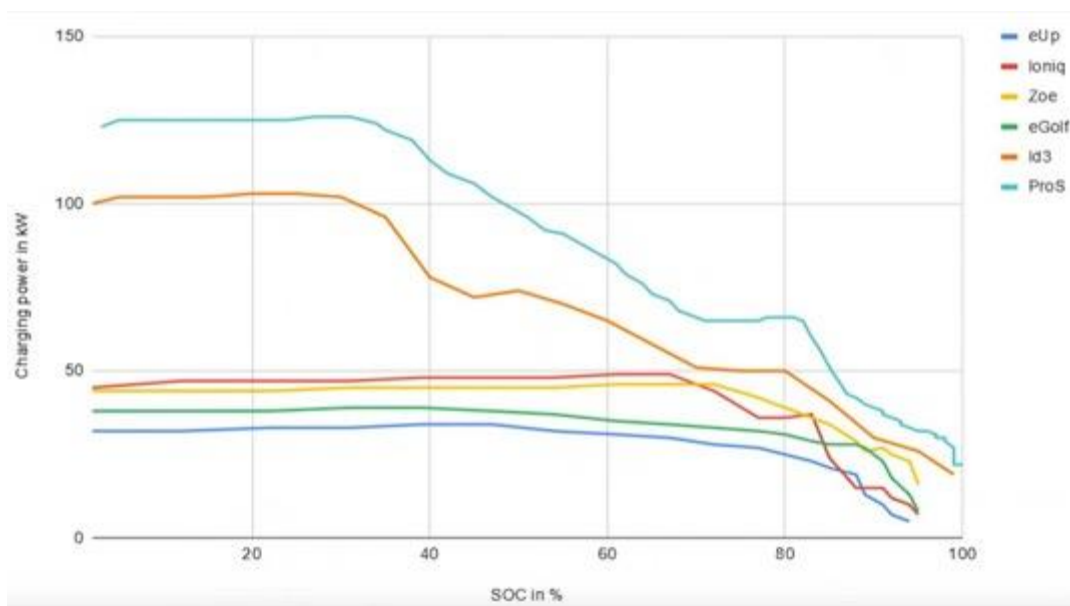
Z těchto důvodů se také používá nejen aktivní chlazení baterií, ale také aktivní zahřívání. Oproti tomu při velmi vysokých teplotách může dojít k poškození baterií. [29]

### 3.3.6 Degradace baterií

Li-ion baterie postupně ztrácí malou část své kapacity, čímž zkracují dojezd elektromobilu. Ukazuje se však, že se nejedná o žádné dramatické hodnoty. Data společnosti Tesla například ukazují, že zůstatková kapacita baterie po 320 000 ujetých km činí stále cca 90% původní kapacity. Z dat také vyplývá, že nejrychleji baterie degraduje během prvních 160 000 najetých km a poté dojde ke zpomalení a stabilizaci degradace. [33]

## 3.4 Možné způsoby dobíjení, dobíjecí infrastruktura

Se stále přibývajícím počtem elektromobilů přibývají také počty nabíjecích stanic. Nové elektromobily většinou přichází i s novými druhy akumulátorů, a tak se stále zvedá dosažitelný nabíjecí výkon, který jsou schopné elektromobily využít, a tím i klesá doba nabíjení elektromobilu. Je však nutné zdůraznit, že žádný elektromobil není schopen maximální nabíjecí výkon využívat po celou dobu nabíjení, protože čím plnější baterie je, tím pomaleji ji musíme dobíjet. Například VW ID.3 Pro S se 77kWh baterií je schopný se nabíjet výkonem až 126 kW, ale to jen zhruba do kapacity baterie 35 %. Po přesáhnutí této hodnoty začne nabíjecí výkon postupně klesat, aby nepoškodil baterii.



Obrázek 14 - Porovnání nabíjecích křivek elektromobilů s VW ID.3 Pro S

Rozlišujeme dva základní typy nabíjení. Nabíjení střídavým proudem – AC nabíjení, a nabíjení stejnosměrným proudem – DC nabíjení.

### 3.4.1 AC nabíjení

Nabíjení střídavým napětím, resp. proudem v domácích nabíječkách nebo na pomalých nabíjecích stanicích je do značné míry problémové, protože rychlost nabíjení může velmi variovat. Kromě maximálního možného nabíjecího výkonu baterie elektromobilu a nabíjecího výkonu nabíječky je zde nutné také zohlednit výkon palubní nabíječky, která převádí dodávané střídavé napětí na stejnosměrné, které pak nabíjí baterii. Pokud je výkon stanice například 22 kW, ale výkon nabíječky pouze 7,2 kW, elektromobil se bude nabíjet výkonem 7,2 kW. [34]

### 3.4.2 DC nabíjení

Oproti tomu stejnosměrné nabíjecí stanice jsou značně rychlejší. Vozu je dodáván rovnou stejnosměrný proud, není tak nutná žádná transformace. Limitním faktorem u DC rychlonabíjecích stanic se tak ve většině případů stává samotná baterie, jejíž nabíjecí výkon není tak velký. Nabíjení na rychlonabíjecích stanicích probíhá standardně výkonem až 50 kW. [34]

### 3.4.3 Domácí nabíjení

Elektromobil je možné dobít i ze standardní 230 V zásuvky, to se však v praxi většinou moc nepoužívá. Jedná se totiž o velice pomalý proces a pokud vůz disponuje větší baterií, může nabíjení trvat i přes 24 hodin. [34]

Optimálním řešením domácího nabíjení se tak většinou stává instalace Wallboxu neboli malé domácí nabíjecí stanice. Jeho výhodou je nabíjecí výkon až 22 kW, integrace nabíjecího kabelu a chytré funkce nabíjení – sledování spotřeby, řízení nabíjecího výkonu nebo třeba dobytí do maximální kapacity až těsně před plánovaným odjezdem (z důvodu prodloužení životnosti baterií). K dosažení maximálního nabíjecího výkonu je však nutné provést adekvátní elektroinstalaci. [34]

Hlavní výhodou domácího nabíjení je jeho nízká cena. Tento typ nabíjení je vždy nejlevnější, protože je možné si zřídit tarif přímo pro nabíjení elektromobilu. Ceny za jednu kWh se pak pohybují okolo 2 až 5 Kč. Tuto cenu je možné ještě snížit pořízením vlastních solárních panelů na střechu svého domu. [34]

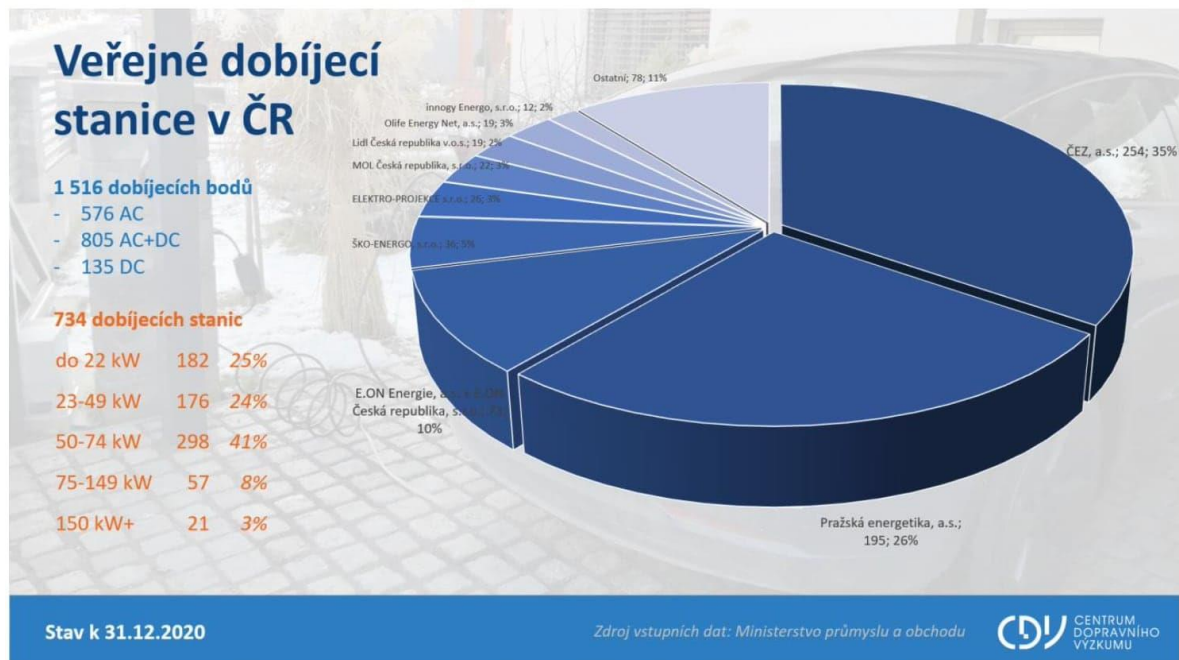
### 3.4.4 Veřejné nabíjecí stanice

Další možností je nabíjení na veřejné nabíjecí stanici. V ČR je nyní k dispozici cca 800 nabíjecích stanic, na nichž je celkem přes 1500 nabíjecích bodů. [35]

Obecně platí, že takové nabíjení je dražší než nabíjení z domácí zásuvky, za jednu kWh hodinu v průměru zákazník zaplatí 6–10 Kč. Dále platí, že čím vyšší výkon nabíječka dodává, tím dražší je cena za kWh. Za rychlé nabíjení se tedy platí více. [36]

Ne vždy ale musí být nabíjení na určitých veřejných nabíjecích stanicích dražší, ČEZ například nabízí předplacené balíčky, se kterými je možné se dostat až na 3,50 Kč/kWh. [36]

Některé společnosti navíc nabízejí místo platby za kWh platby měsíční, kdy si zákazník předplácí podobně jako u telekomunikačních operátorů „volné minuty“, kdy nabíjí elektromobil zdarma. [36]



Obrázek 15 - Veřejné dobíjecí stanice v ČR

## 4 Ekologické aspekty elektromobility

Tato část je zaměřena na reálnou ekologičnost elektromobility. Obecně známým faktem je, že elektromobily, na rozdíl od spalovacích automobilů, neprodukují emise CO<sub>2</sub> v místě, kde jsou provozovány. Tím se stávají velmi relevantními pro městské použití. Jak jsou ale opravdu ekologické podíváme-li se na celkový proces výroby, provozu a likvidace elektromobilů?

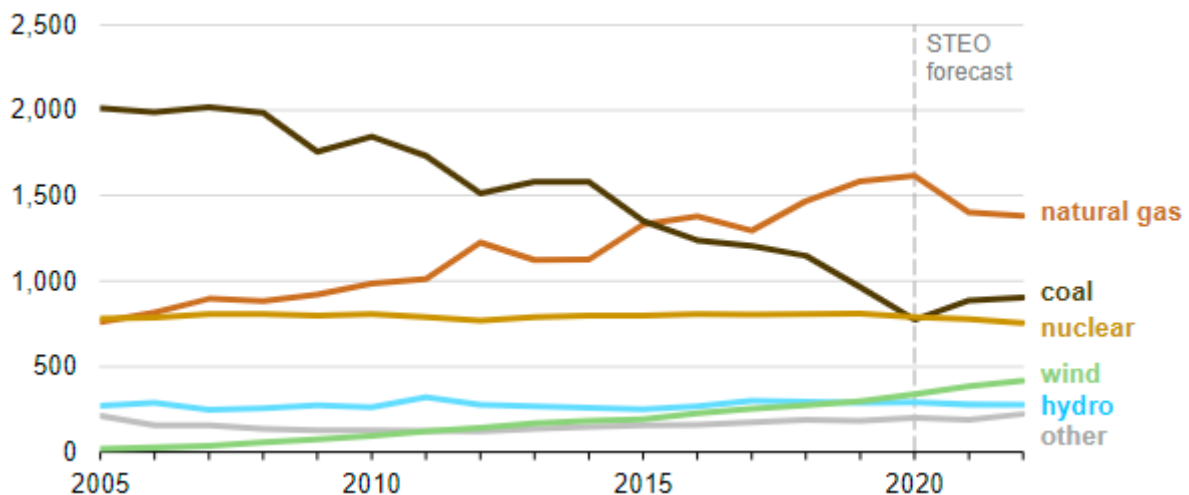
### 4.1.1 Výroba

Na rozdíl od automobilu se spalovacím motorem je výroba elektromobilu náročnější, protože kromě standardních dílů je nutné vyrobit také baterii, která je na rozdíl od palivové nádrže značně složitější, respektive energeticky náročnější. S tím se pojí vyšší emise CO<sub>2</sub>. [37]

Dle Mezinárodní rady pro čistou dopravu (ICCT – International Council on Clean Transportation) se energetické požadavky na výrobu baterie pohybují od 50 kg CO<sub>2</sub>/kWh do 200 kg CO<sub>2</sub>/kWh v závislosti na způsobu dopravy materiálů a použití alternativních zdrojů při výrobě. Z údajů společnosti Volkswagen můžeme vidět, že cca 40 % emisí pochází z výroby baterií, zatímco z výroby oceli, hliníku a elektromotoru pochází cca 29 %. Zbýlých 31 % tvoří plasty, sklo a další prvky. [37]

Zmíněných cca 40 % nadbytečných emisí dorovnají elektromobily po 26 tisících ujetých kilometrech, pokud by byly dobíjeny pouze z obnovitelných zdrojů elektrické energie. Pokud bychom ovšem dobíjeli elektromobil klasickým evropským mixem elektrické energie, který produkuje v průměru 256 g CO<sub>2</sub>/kWh, dorovná elektromobil v emisích CO<sub>2</sub> spalovací benzínový protiklad po 78 tisících najetých kilometrech. V českém prostředí to je však ještě více. [37][38]

Dle agentury Reuters, která nechala vypracovat analýzu na toto téma, by se Tesla Model 3 v USA spalovacímu automobilu podobných rozměrů v emisích CO<sub>2</sub> vyrovnala po ujetí 22 000 km. Americký energetický mix však tvoří pouze 23 % elektrické energie z uhelných elektráren. V ČR, kde fosilní zdroje v roce 2020 tvořily 52,5 %, by tak Tesla musela ujet alespoň 50 000 km. [39][40]



Obrázek 16 - Energetický mix USA.

Data studie také ukázaly, že například v Norsku, kde je téměř všechna elektrická energie vyráběna vodními elektrárnami, by musela Tesla ujet pouze 14 000 km, aby dorovnal emisní přebytek z výroby. [39]

Důležitým faktorem ve výrobě je dnes také recyklace. Většina materiálů v baterii totiž může být znovu použita, čímž se razantně sníží emise CO<sub>2</sub> při výrobě, protože není například nutné započítávat emise z těžby potřebných kovů, např. lithia. [39]

#### 4.1.2 Provoz

Ekologičnost provozu elektromobilu je bezesporu jeho výhodou. Elektromobil totiž nemá žádné lokální emise, čímž je velmi vhodný do měst. [39]

Díky rekuperaci dokáží elektromobily zpětně měnit mechanickou energii na elektrickou, kterou opět uloží do baterie a kterou může uživatel znovu využít. Tím se nejen drasticky prodlužuje dojezd elektromobilu, ale také se méně opotřebovávají brzdové destičky. Elektromobil je tak nejen levnější na provoz, ale také ekologičtější. [41]

Podle průzkumů se tak ukazuje, že elektromobily jsou v naprosté většině více ekologickými vozy než auta se spalovacími motory. V některých státech je však nezbytné ujet velký počet kilometrů. Za předpokládanou životnost vozů však téměř všechny tuto hranici překonají. [39]

### 4.1.3 Likvidace – recyklace

Velkou otázkou u elektromobility v masivním měřítku bude zvládnutí recyklace a likvidace použitých baterií, kterých bude v příštích letech stále přibývat. Na evropských silnicích by se totiž dle odhadů EU do roku 2030 mělo pohybovat zhruba 30 milionů elektromobilů. Již dnes tak vznikají projekty různých institucí a velkých automobilek, které postupně začínají tento problém řešit. [42]

Lithium-iontové baterie používané v elektromobilech, na rozdíl od standardních olověných akumulátorů, není snadné recyklovat. Jsou nejen větší a těžší, ale hlavně jsou tvořeny několika stovkami až tisíci lithium-iontových článků, které je nejprve třeba demontovat, což může být při neopatrném zacházení nebezpečné. Baterie totiž obsahuje nebezpečné materiály a při neodborné demontáži hrozí i exploze. [43]

Některé automobilky, např. Volkswagen, již zahájily provoz vlastních recyklačních závodů. Zatím zvládne továrna v Salzgitteru v Německu zrecyklovat 3600 bateriových systémů za rok. Dalším příkladem je Renault, který recykluje dokonce všechny baterie svých elektromobilů, a i některé od jiných automobilek. Je však nutné podotknout, že jde zatím o pár stovek bateriových systémů ročně. [42]

Hlavními argumenty pro recyklaci jsou omezené nerostné zdroje lithia a hliníku, které mohou dojít a jejichž cena tak s masivním nárůstem elektromobility bude stoupat. Zatím se totiž recyklační proces ekonomicky nevyplatí, to je ale pouze otázka času. Dalším hlavním argumentem je pak ekologičnost, kdy na výrobu baterie elektromobilu nemusí být vytěžen požadovaný kov a nejsou tak vyprodukovány emise CO<sub>2</sub>. [39]

Samotný proces recyklace začíná demontáží z elektromobilu, transportem a zvážením bateriového systému. Po procesu fyzické kontroly, kdy se zaměstnanci musí ujistit, zda není baterie poškozena, následuje kompletní vybití článků. Až poté začíná proces postupného ručního rozebírání baterie, kdy dojde k diagnostice stavu jednotlivých modulů baterie a poté k jejich rozebrání. Další fází je strojové drcení článku na granule, po které následuje proces separace nadrcených materiálů různými technologickými procesy, jako např. sušením, prosetím a magnetickou separací. V praxi se jednotlivé recyklační procesy různých společností mohou velmi lišit, protože zatím neexistuje obecně platná metodika k nejlepšímu způsobu recyklace lithium-iontových baterií. Výsledným produktem jsou oddělené jednotlivé kovy připravené na využití při výrobě nových baterií. [44][45]

#### 4.1.4 Další možné využití použitých akumulátorů

Použité akumulátory z elektromobilů nemusí vždy rovnou „do drtičky“. Snaha je část těchto baterií využít k jiným účelům, i když už nemohou sloužit jako zdroj energie pro elektromobil. Aktuálně se testuje opětovné využití těchto baterií na dobíjení elektromobilů, jako zásobárna elektrické energie pro domácnosti, nebo třeba k regulaci v distribuční soustavě. [46]

Se zajímavým konceptem přišla například automobilka Nissan, která instaluje vysloužilé akumulátory z vozů Leaf do lamp veřejného osvětlení v Japonsku. Již dříve tato automobilka znovu používala akumulátory ze svých elektromobilů ve vozidlech, které v továrnách dováží součástky pracovníkům. [42][46]

Dalším zajímavým konceptem je využití použitých akumulátorů jako zásobárny elektrické energie pro rodinné domy. Ty tak mohou optimalizovat svůj energy management a v kombinaci se solárními panely se mohou například stát nezávislé na externím dodavateli energií.

# 5 Případová studie – Technickoekonomické srovnání elektromobilu a konvenčního automobilu pro firemní účely

## 5.1 Úvod případové studie

Tématem této studie je zhodnocení technickoekonomických vlastností zástupců vozidel s elektrickými motory a se spalovacími motory a jejich vhodnost využití pro vybrané firmy. Základem je, aby firma byla vůbec pro elektromobil vhodná, tzn. optimálně by neměl průměrný denní nájezd firemního vozu překračovat dojezd posuzovaného elektromobilu, aby nedocházelo k častému nabíjení na rychlonabíjecích stanicích a tím i k rychlejší degradaci baterií. Maximální dojezd elektromobilu je totiž i dnes stále výrazně menší než dojezd automobilu se spalovacím motorem. Ten hlavně disponuje možností během pár minut doplnit palivo a je schopen okamžitě pokračovat v jízdě. Dnešní nové elektromobily (jako je například VW ID.3) již disponují možností velmi rychlého nabíjení (konkrétně až 150 kW) a jsou tedy schopny své baterie dobít na 50 % kapacitu již za 18 minut. Toto nabíjení je však výrazně dražší, a hlavně snižuje životnost baterií, proto se až na výjimečné dlouhé trasy nedoporučuje. [9]

Zvolme tedy vzhledem k relevanci pro naše rozhodování firmy, které mají průměrný denní nájezd do 200 km. Uváděný dojezd VW e-Up! je totiž oficiálně až 265 km, ten však musíme brát s rezervou, protože na dojezd má vliv spousta faktorů (např. venkovní teplota, funkcionality vozidla, klimatizace atd.). [9]



## 5.2 Vhodný výběr automobilů

K výběru optimálních zástupců využijeme záměrně dva téměř totožné modely, co se využítí, výkonu a rozměrů týče. Ani jedno z vozidel není hybrid, aby rozdíl mezi vozidly byl co nejvíce znatelný. Nejlepší tak bude zvolit cenově nejdostupnější VW Up! a jeho elektrický konkurent VW e-Up!

### 5.2.1 Benzínový automobil – VW Up! 1,0 MPI

Zástupcem spalovacích automobilů jsem zvolil klasické, u nás, po boku Škody Citigo, nejvíce rozšířené malé městské auto VW Up!. Aby bylo srovnání co nejrelevantnější, vybral jsem nejslabší a tím pádem také nejlevnější variantu se zdvihovým objemem 999 cc a výkonem 48 kW nebo 65 koní. Průměrná udávaná spotřeba je pro tento vůz 5,1 l/100km. Dojezd u benzínového automobilu pro nás není podstatným faktorem, protože tankování zabere pouze pár minut. Up! s těmito parametry je ceněn (dle VW nové skladové vozy) na 270 733 Kč bez DPH.

### 5.2.2 Elektromobil – VW e-Up!

Na rozdíl od předchozích let lze nyní pořídit od Volkswagenu e-Up! po faceliftu, který nabízí nové konfigurační možnosti, a hlavně místo původní malé 18,6 kWh baterie se nyní nabízí s kapacitou baterie 38,6 kWh.

Pro naše účely je nevhodnějším kandidátem VW e-Up!, kvůli své nízké ceně. Tato varianta disponuje 61 kW výkonu, což je sice více než spalovací Up!, ale slabší e-Up! se nevyrábí. Udávanou spotřebu elektrické energie má e-Up! v průměru 14,39 kWh/100km, což nám s kapacitou baterie 36,8 kWh nabízí dojezd až 265 km ve městě. Tato hodnota však nebude platit, pokud by daná firma potřebovala dojíždět po dálnici. Vyšší dojezdová vzdálenost ve městě je dána nižší výkonovou náročností při menších rychlostech a také schopností aktivní rekuperace, která se uplatní právě primárně ve městech. Dojezd u elektromobilu je však závislý na mnoha faktorech, proto je jej třeba brát s rezervou.

Posledním pro nás velmi důležitým faktorem je pořizovací cena tohoto elektromobilu, která se podle oficiálního webu VW pohybuje od 494 145 Kč bez DPH až do 539 254 Kč za příplatkové vybavy. Vybereme tedy nejlevnější variantu za 494 145 Kč bez DPH.

Dalším výrazným faktorem, který může ovlivnit rozhodování firem, je skutečnost, že Ministerstvo průmyslu a obchodu aktuálně nabízí, v rámci programu Národní plán obnovy,

dotace až do výše 40 % z celkové pořizovací ceny elektromobilu a tím lze dosáhnout ceny až 296 487 Kč. Tato částka je obdobná jako pořizovací cena právě nového spalovacího Up!. [9]

## 5.3 Výběr zástupců firem

### 5.3.1 Firma 1 – Instalater24 Praha

Prvním zástupcem firmy, která by mohla zvažovat nákup elektromobilu je instalatérská firma, která provozuje pohotovostní služby. Elektromobil by pro tuto firmu mohl být vhodnou variantou, protože provozují instalatérskou pohotovost primárně v Praze. Nehrozí tedy vybití baterie elektromobilu a jeho nutnost dobít na rychlonabíjecí stanici. Denní nájezd firmy může v průměru činit 170 km.

### 5.3.2 Firma 2 – Pizza Na Zavolanou Radotín

Další oslovenou firmou, která poskytla informace o denním nájezdu kilometrů je restaurace Pizza Na Zavolanou Radotín, jejíž průměrný denní nájezd dosahuje 140 km. Jde o typického zástupce vhodné firmy na pořízení malého městského elektromobilu namísto spalovacího vozidla, protože má vlastní parkovací stání, na kterém je možné elektromobil nabíjet a také jeho denní nájezdy jsou v souladu s maximálním dojezdem posuzovaného elektromobilu.

### 5.3.3 Firma 3 – Pizza Na Zavolanou Radotín s dotací od MPO

Jako subjekt č.3 jsem zvolil stejnou firmu jako je firma č.2, ale s tím rozdílem, že by se restaurace rozhodla sjednat 40 % dotaci od Ministerstva průmyslu a obchodu na pořízení elektromobilu. Denní nájezd km je tedy stejný a tvoří v průměru 140 km.

## 5.4 Výpočty

### 5.4.1 Ceny pohonných hmot

První důležitou složkou v rozhodování je cena pohonných hmot, která nám sama o sobě nic neprozradí, je však nezbytná pro další výpočty. K ceně musíme za každý rok připočítat odhadem 3% inflace. Aktuální průměrné ceny pohonných hmot jsou zaznamenány do tabulky pro rok 0:

Průměrné ceny pohonných hmot						
Palivo	Cena [Kč/l; Kč/kWh]					
Roky	0	1	2	3	4	5
Benzín	36,1	37,18	38,30	39,45	40,63	41,85
Elektrina	4	4,12	4,24	4,37	4,50	4,64
Inflace	3 %					

### 5.4.2 Celkové roční náklady

Do celkových ročních nákladů je nutné započítat všechny položky, které jsou spojeny s využíváním automobilu pro firemní účely. Jsou to: projeté pohonné hmoty, servis vozidla (zde má elektromobil znatelnou výhodu), povinné ručení, parkování a dálniční známka. Mohlo by zde být uvedené také havarijní pojištění, není to však mandatorní pro chod firmy, proto ho počítat nebudeme. Roční náklady se každý rok navyšují o míru inflace, tedy počítáno pro 3 %.

#### 5.4.2.1 Firma 1

U první firmy Instalater24 tvoří průměrný denní nájezd 170 km. Roční servis je zde znatelně rozdílný. Obě auta jsou nová, takže se nepřepokládají závažné poruchy, přesto u benzínového automobilu je nutností měnit olej v motoru, vzduchové a olejové filtry. Nic z toho u elektromobilu nenalezneme. Společnou pravidelnou servisní složkou jsou pouze kabinové filtry a brzdové destičky, ale i ty jsou u elektromobilu namáhány znatelně méně díky rekuperaci kinetické energie – tím automobil samovolně brzdí.

Roční povinné ručení je pro elektromobil levnější a předpokládejme, že provozovatel vozidla již déle jezdí bez nehod, tím pádem disponuje pojistným bonusem a cena je tak ještě levnější.

Posledními pravidelnými výdaji je sazba za parkování a dálniční známka. Samozřejmě toto nejsou vyloženě povinné výdaje, pokud by firma měla místo na parkování na vlastním pozemku, další parkování by pochopitelně platit nemusela. Předpokládejme ale, že firma parkování platí, aby mohla stát na placených zónách stání.

Firma 1							
Rok	Vůz	Cena za den provozu	Cena za rok provozu	Servis za rok	Roční povinné ručení	Roční parkování, dálniční známka	Celkové roční náklady
1	VW up! 1,0 MPI	322,38 Kč	80 594,15 Kč	20 000,00 Kč	3 159,00 Kč	2 700,00 Kč	106 453,15 Kč
	VW e-up!	100,79 Kč	25 196,89 Kč	3 000,00 Kč	2 783,00 Kč	- Kč	30 979,89 Kč
2	VW up! 1,0 MPI	332,05 Kč	83 011,98 Kč	20 600,00 Kč	3 253,77 Kč	2 700,00 Kč	109 565,75 Kč
	VW e-up!	103,81 Kč	25 952,80 Kč	3 090,00 Kč	2 866,49 Kč	- Kč	31 909,29 Kč
3	VW up! 1,0 MPI	342,01 Kč	85 502,34 Kč	21 218,00 Kč	3 351,38 Kč	2 700,00 Kč	112 771,72 Kč
	VW e-up!	106,93 Kč	26 731,38 Kč	3 182,70 Kč	2 952,48 Kč	- Kč	32 866,57 Kč
4	VW up! 1,0 MPI	352,27 Kč	88 067,41 Kč	21 854,54 Kč	3 451,92 Kč	2 700,00 Kč	116 073,87 Kč
	VW e-up!	110,13 Kč	27 533,32 Kč	3 278,18 Kč	3 041,06 Kč	- Kč	33 852,56 Kč
5	VW up! 1,0 MPI	362,84 Kč	90 709,43 Kč	22 510,18 Kč	3 555,48 Kč	2 700,00 Kč	119 475,09 Kč
	VW e-up!	113,44 Kč	28 359,32 Kč	3 376,53 Kč	3 132,29 Kč	- Kč	34 868,14 Kč

### 5.4.2.2 Firma 2 a 3

Firma Pizza Na Zavolanou Radotín má většinu parametrů podobných jako firma 1, liší se pouze v pár detailech. Prvním rozdílem je denní nájezd, který zde v průměru činí 140 km. To má vliv na celkovou spotřebu obou vozidel. Dalším rozdílem je, že vozidlo nepotřebuje platit sazbu za parkování, jelikož vždy parkuje na soukromém parkovacím stání, na kterém má také možnost dobíjení. Dále předpokládáme, že ceny povinného ručení a ceny za servis budou stejné.

Tato tabulka je validní také pro firmu č.3, protože se jedná o stejnou společnost.

Firma 2 a 3							
Rok	Vůz	Cena za den provozu	Cena za rok provozu	Servis za rok	Roční povinné ručení	Roční parkování, dálniční známka	Celkové roční náklady
1	VW up! 1,0 MPI	257,75 Kč	64 438,50 Kč	20 000,00 Kč	3 159,00 Kč	1 500,00 Kč	89 097,50 Kč
	VW e-up!	80,58 Kč	20 146,00 Kč	3 000,00 Kč	2 783,00 Kč	- Kč	25 929,00 Kč
2	VW up! 1,0 MPI	265,49 Kč	66 371,66 Kč	20 600,00 Kč	3 253,77 Kč	1 500,00 Kč	91 725,43 Kč
	VW e-up!	85,49 Kč	21 372,89 Kč	3 090,00 Kč	2 866,49 Kč	- Kč	27 329,38 Kč
3	VW up! 1,0 MPI	273,45 Kč	68 362,80 Kč	21 218,00 Kč	3 351,38 Kč	1 500,00 Kč	94 432,19 Kč
	VW e-up!	88,06 Kč	22 014,08 Kč	3 182,70 Kč	2 952,48 Kč	- Kč	28 149,26 Kč
4	VW up! 1,0 MPI	281,65 Kč	70 413,69 Kč	21 854,54 Kč	3 451,92 Kč	1 500,00 Kč	97 220,15 Kč
	VW e-up!	90,70 Kč	22 674,50 Kč	3 278,18 Kč	3 041,06 Kč	- Kč	28 993,74 Kč
5	VW up! 1,0 MPI	290,10 Kč	72 526,10 Kč	22 510,18 Kč	3 555,48 Kč	1 500,00 Kč	100 091,76 Kč
	VW e-up!	93,42 Kč	23 354,74 Kč	3 376,53 Kč	3 132,29 Kč	- Kč	29 863,55 Kč

### 5.4.3 Životnost vozidel

Předpokládáme, že firmy budou využívat vozy každý pracovní den po dobu 5 let a následně dojde k jejich prodeji, což se projeví na finální hodnotě ušetřených finančních prostředků. Na nové elektrické vozy Volkswagen se vztahuje záruka na baterii na období 8 let, nebo do dosažení 160 000 najetých kilometrů. Jelikož dle našeho odhadu všechny firmy po 5 letech tuto hranici překonaly, je nutné počítat s nižší prodejní cenou elektromobilu.

Odhady se zakládají na průzkumu webů autobazarů, bohužel nebylo možné dohledat elektrickou variantu VW e-Up! podobných kilometrů a stáří, proto se jedná pouze o odhadnuté hodnoty.

Firma	Nájezd km po 5 letech	Odhad cena VW Up! po 5 letech	Cena VW e-Up! po 5 letech
Firma 1	212500	135 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Firma 2	175000	150 000,00 Kč	100 000,00 Kč
Firma 3	175000	150 000,00 Kč	100 000,00 Kč

### 5.4.4 Odpisy

Odpisy firmy využívají k vyjádření opotřebení dlouhodobého majetku, a tedy i vozidel. Automobily se řadí do druhé odpisové skupiny, to znamená, že se odepisují po dobu 5 let. Jelikož jsou spotřebním zbožím, jehož hodnota s věkem rychle klesá, odepisují se vozy zrychleně. Neovlivníme tak výsledek hospodaření hned, nýbrž ho budeme postupně ovlivňovat po celou dobu životnosti vozu (počítáme s prodejem po 5 roce).

Firma č.3, která si na pořízení elektromobilu vzala dotaci, odpisy se tak liší od Firmy č.2 a Firma č.3 má vlastní odpisovou tabulku pro VW e-Up! s dotací.

Odpisy VW Up!

Rok	Zůstatková cena	Roční odpis	Oprávký celkem
2021	216 586,00 Kč	54 147,00 Kč	54 147,00 Kč
2022	129 951,00 Kč	86 635,00 Kč	140 782,00 Kč
2023	64 975,00 Kč	64 976,00 Kč	205 758,00 Kč
2024	21 658,00 Kč	43 317,00 Kč	249 075,00 Kč
2025	- Kč	21 658,00 Kč	270 733,00 Kč

#### Odpisy VW e-up!

Rok	Zůstatková cena	Roční odpis	Oprávký celkem
2021	395 316,00 Kč	98 829,00 Kč	98 829,00 Kč
2022	237 189,00 Kč	158 127,00 Kč	256 956,00 Kč
2023	118 594,00 Kč	118 595,00 Kč	375 551,00 Kč
2024	39 531,00 Kč	79 063,00 Kč	454 614,00 Kč
2025	- Kč	39 531,00 Kč	494 145,00 Kč

#### Odpisy VW e-up! s dotací

Rok	Zůstatková cena	Roční odpis	Oprávký celkem
2021	237 189,00 Kč	59 298,00 Kč	59 298,00 Kč
2022	142 313,00 Kč	94 876,00 Kč	154 174,00 Kč
2023	71 156,00 Kč	71 157,00 Kč	225 331,00 Kč
2024	23 718,00 Kč	47 438,00 Kč	272 769,00 Kč
2025	- Kč	23 718,00 Kč	296 487,00 Kč

### 5.4.5 Prosté kumulativní náklady pro jednotlivé firmy

V této části je provedena první část výpočtů, dle kterých se budeme v závěru rozhodovat. Výpočet prostých kumulativních nákladů nám ukáže, za který automobil by daná firma ve finále zaplatila více. Když následně ještě odečteme prodejní hodnotu vozu po 5 letech, vyjde nám rozdíl, který nám udává ušetřené finanční prostředky při výběru spalovací nebo elektrické varianty.

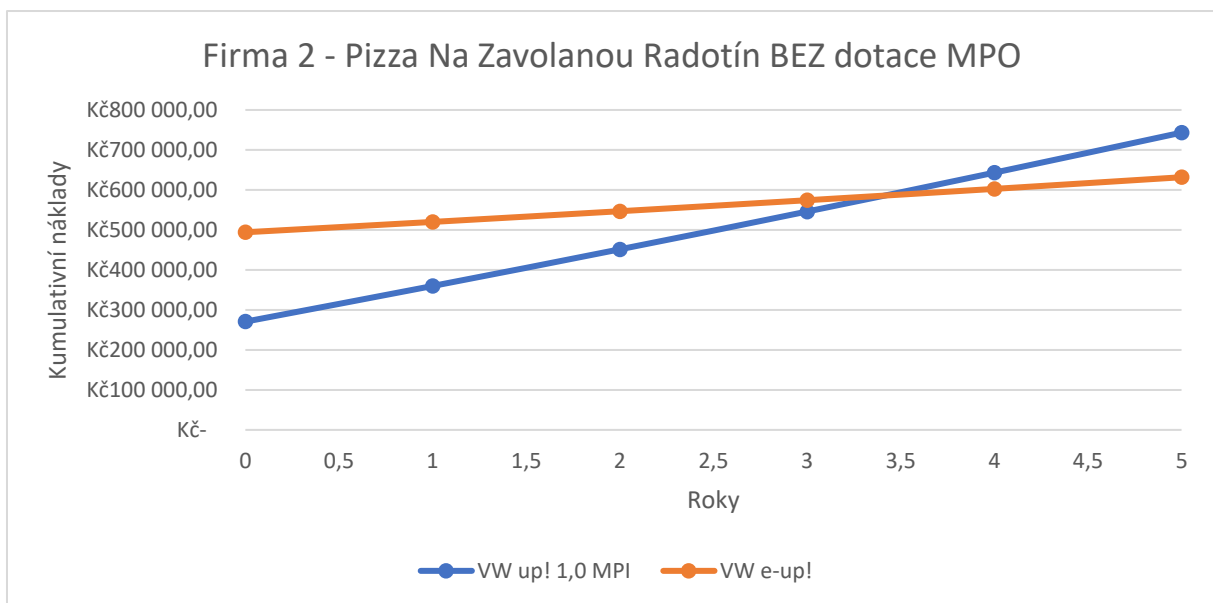
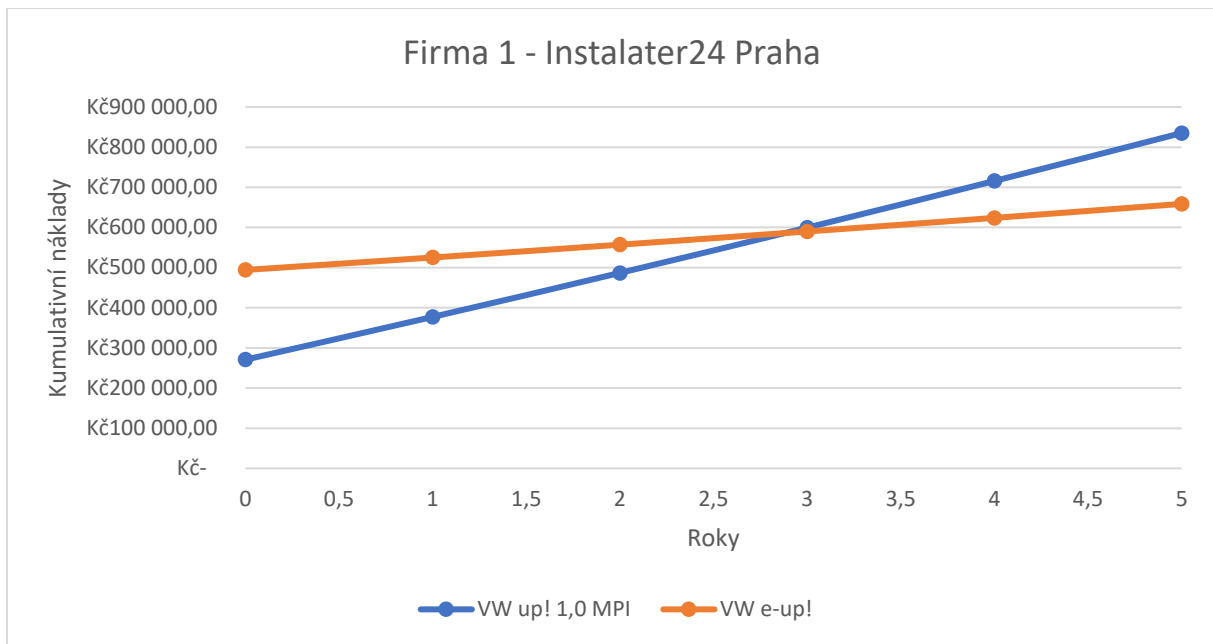
Kumulativní náklady	Firma 1	
Rok	VW up! 1,0 MPI	VW e-up!
0	270 733,00 Kč	494 145,00 Kč
1	377 186,15 Kč	525 124,89 Kč
2	486 751,90 Kč	557 034,18 Kč
3	599 523,62 Kč	589 900,74 Kč
4	715 597,49 Kč	623 753,30 Kč
5	835 072,58 Kč	658 621,44 Kč
Prodej vozidla	- 135 000,00 Kč	- 80 000,00 Kč
	Ušetřeno s elektromobilem po 5 letech užívání	121 451,13 Kč

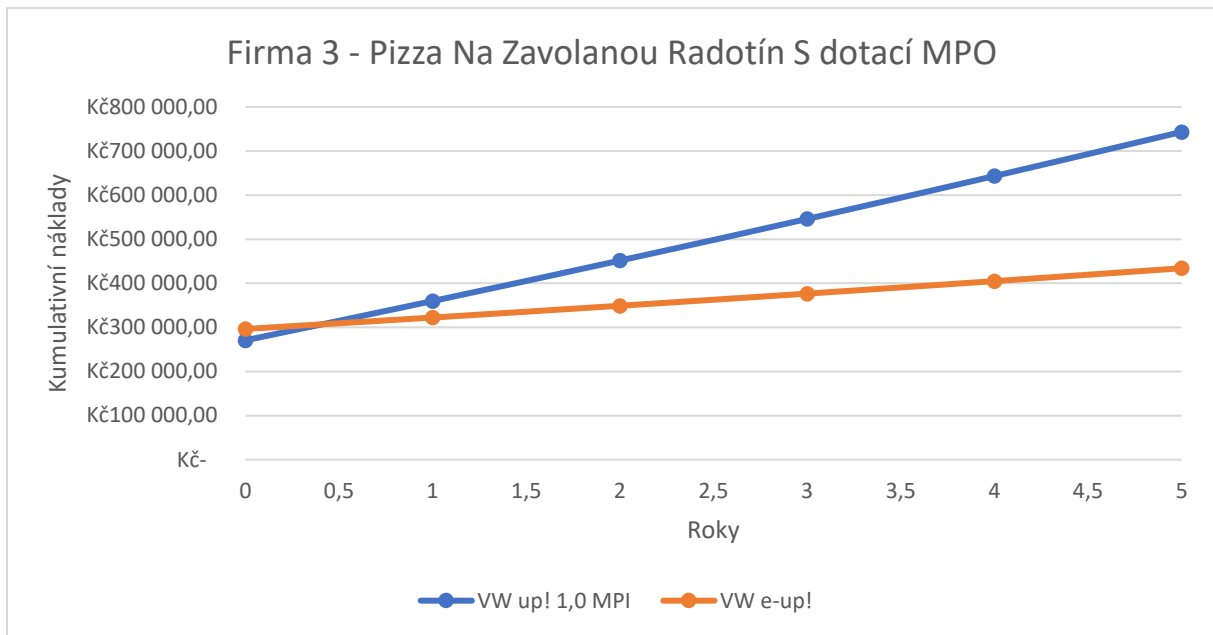
Kumulativní náklady	Firma 2	
Rok	VW up! 1,0 MPI	VW e-up!
0	270 733,00 Kč	494 145,00 Kč
1	359 830,50 Kč	520 074,00 Kč
2	451 555,93 Kč	547 403,38 Kč
3	545 988,11 Kč	575 552,64 Kč
4	643 208,27 Kč	604 546,38 Kč
5	743 300,02 Kč	634 409,94 Kč
Prodej vozidla	- 150 000,00 Kč	- 100 000,00 Kč
	Ušetřeno s elektromobilem po 5 letech užívání	58 890,09 Kč

Kumulativní náklady	Firma 3	
Rok	VW up! 1,0 MPI	VW e-up!
0	270 733,00 Kč	296 487,00 Kč
1	359 830,50 Kč	323 020,38 Kč
2	451 555,93 Kč	350 349,76 Kč
3	545 988,11 Kč	378 499,02 Kč
4	643 208,27 Kč	407 492,76 Kč
5	743 300,02 Kč	437 356,32 Kč
Prodej vozidla	- 150 000,00 Kč	- 100 000,00 Kč
	Ušetřeno s elektromobilem po 5 letech užívání	255 943,71 Kč



### 5.4.6 Grafy kumulativních nákladů





#### 5.4.7 Metody vyhodnocení – Výpočet čisté současné hodnoty (NPV) a ročního ekvivalentního peněžního tok (RCF)

Jako metody vyhodnocování investic použijeme ukazatele NPV a RCF. Čistou současnou hodnotu rozumíme jako sumu diskontovaných hotovostních toků v čase. V našem případě tedy počítáme s částkou potřebnou ke koupi vozu a následně s cenou paliva, oprav a dalších výdajů spojených s používáním vozu během 5 let. NPV je vypočítána takto:

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t(1+r)^{-t}$$

kde:  $r$  ... diskont

$CF_t$  ... Hotovostní tok v roce  $t$  [Kč]

$T$  ... doba životnosti [roky]

Druhým ukazatelem je RCF – roční ekvivalentní peněžní tok. Jedná se o čistou současnou hodnotu vynásobenou anuitním faktorem (poměrnou anuitou). Dojde tím pádem k rovnoměrnému rozložení diskontovaných peněžních toků do jednotlivých let po dobu životnosti projektu.

$$RCF = NPV \cdot a_{T\check{z}} = NPV \cdot \frac{q^T \cdot (q - 1)}{q^T - 1}$$

kde:  $a_{T\check{z}}$  ... anuitní faktor

$q$  ... diskont + 1

V našem případě předpokládáme záporné hodnoty NPV a RCF, protože neočekáváme návratnost finančních prostředků. Pouze určíme, která varianta bude stát méně peněz (označeno zelenou barvou).

Důležité je také vhodné stanovení diskontu. Ten reprezentuje alternativní náklad kapitálu. Jde tedy o výnos v procentech, který by firmy obdržely, pokud by zamýšlenou částku investovaly do jiného, stejně rizikového, projektu. V našem případě předpokládáme, že by firmy investovaly do nového firemního vybavení, které by jim pomohlo zvýšit zisky, proto je diskont vyšší.

Diskont		6 %	
	NPV – VW up! 1,0 MPI	NPV – VW e-up!	
Firma 1	- 744 579,05 Kč	- 632 235,77 Kč	
Firma 2	- 667 511,48 Kč	- 611 845,58 Kč	
Firma 3	- 667 511,48 Kč	- 414 757,75 Kč	

Diskont		6 %	
	RCF – VW up! 1,0 MPI	RCF – VW e-up!	
Firma 1	- 176 763,07 Kč	- 150 092,77 Kč	
Firma 2	- 158 467,23 Kč	- 145 252,14 Kč	
Firma 3	- 158 467,23 Kč	- 98 463,49 Kč	

#### 5.4.8 Citlivostní analýza

Ve výpočtu NPV a RCF počítáme se stabilním vývojem cen elektrické energie dle stanovené inflace. Kdyby se ale elektrická energie zdražovala výrazně rychleji, mohl by být výsledek studie zcela odlišný, protože elektromobil se jeví jako ekonomičtější volba právě kvůli levné ceně za najetý kilometr. Proto uvažujeme 4 scénáře, kdy by ceny elektrické energie meziročně stoupaly o 0,5 Kč/rok, 1 Kč/rok, 1,5 Kč/rok a 2 Kč/rok.

Z následující tabulky vidíme, že kdyby se cena elektrické energie zdražovala rychlostí 0,5 Kč/rok a 1 Kč/rok, naše rozhodování dle ukazatelů NPV a RCF by se nezměnilo. To však již neplatí u rychlosti zdražování 1,5 Kč/rok, kdy by jako ekonomicky výhodnější možnost pro Firmu č.2 vyšla koupě spalovacího automobilu. To stejné platí i pro ještě rychlejší zdražování cen elektrické energie 2 Kč/rok, kde by se ani Firmě č.1 již nevyplatil nákup elektromobilu, ale výhodnější by byla koupě spalovacího automobilu. Jedině Firmě č.3 by se díky dotaci stále vyplatilo pořízení elektromobilu i při meziročním zdražování o 2 Kč/rok.

<b>Zpráva scénáře</b>					
	Inflační vývoj	Scénář zvyšování 0,5Kč/rok	Scénář zvyšování 1Kč/rok	Scénář zvyšování 1,5Kč/rok	Scénář zvyšování 2Kč/rok
<b>Měněné buňky:</b>	4	4	4	4	4
	4,12	4,50	5,00	5,50	6,00
	4,24	5,00	6,00	7,00	8,00
	4,37	5,50	7,00	8,50	10,00
	4,50	6,00	8,00	10,00	12,00
	4,64	6,50	9,00	11,50	14,00
<b>Výsledné buňky:</b>					
<b>NPV</b>					
<b>Firma 1</b>					
VW up!	- 744 579,05 Kč	- 744 579,05 Kč	- 744 579,05 Kč	- 744 579,05 Kč	- 744 579,05 Kč
VW e-up!	- 632 235,77 Kč	- 660 113,13 Kč	- 697 256,87 Kč	- 734 400,61 Kč	- 771 544,35 Kč
<b>Firma 2</b>					
VW up!	- 667 511,48 Kč	- 667 511,48 Kč	- 667 511,48 Kč	- 667 511,48 Kč	- 667 511,48 Kč
VW e-up!	- 611 845,58 Kč	- 632 997,87 Kč	- 661 211,12 Kč	- 689 424,38 Kč	- 717 637,63 Kč
<b>Firma 3</b>					
VW up!	- 552 468,81 Kč	- 564 548,70 Kč	- 580 576,22 Kč	- 596 603,74 Kč	- 612 631,26 Kč
VW e-up!	- 414 757,75 Kč	- 437 715,57 Kč	- 468 304,54 Kč	- 498 893,50 Kč	- 529 482,46 Kč
<b>RCF</b>					
<b>Firma 1</b>					
VW up!	- 176 763,07 Kč	- 176 763,07 Kč	- 176 763,07 Kč	- 176 763,07 Kč	- 176 763,07 Kč
VW e-up!	- 150 092,77 Kč	- 156 710,86 Kč	- 165 528,78 Kč	- 174 346,70 Kč	- 183 164,63 Kč
<b>Firma 2</b>					
VW up!	- 158 467,23 Kč	- 158 467,23 Kč	- 158 467,23 Kč	- 158 467,23 Kč	- 158 467,23 Kč
VW e-up!	- 145 252,14 Kč	- 150 273,69 Kč	- 156 971,52 Kč	- 163 669,35 Kč	- 170 367,17 Kč
<b>Firma 3</b>					
VW up!	- 131 156,09 Kč	- 134 023,86 Kč	- 137 828,79 Kč	- 141 633,73 Kč	- 145 438,66 Kč
VW e-up!	- 98 463,49 Kč	- 103 913,68 Kč	- 111 175,50 Kč	- 118 437,32 Kč	- 125 699,14 Kč

## 6 Zhodnocení výsledků a navržení optimálního řešení

Z výsledků případové studie je patrné, že elektromobil vyšel jako ekonomičtější varianta na pětileté používání automobilu. Ukazatele NPV a RCF udávají, že pro všechny uvedené firmy je elektromobil finančně atraktivnější volba a vyplatí se dražší počáteční investice i pokud by si firma nesjedнала dotaci od Ministerstva průmyslu a obchodu.

Tuto skutečnost potvrzuje i výsledek kumulativních nákladů, kdy po dodatečném odečtení odhadované ceny vozu po pěti letech užívání, elektromobil stále vychází levněji pro všechny firmy. Zde je však nutné poukázat na to, že se jedná pouze o odhady prodejní ceny, je tedy možné, že městský, pět let starý elektromobil s vysokým nájezdem kilometrů, po záruce na baterii bude téměř neprodejný. U Firmy 2 by tedy teoreticky mohlo dojít k obratu, kdy se jako rozumnější varianta jeví automobil se spalovacím motorem. Tento případ by nastal, pokud by cena elektromobilu po 5 letech byla menší než 41 000 Kč, což je nepravděpodobné. I tak je ale cenový rozdíl po 5 letech minimální, proto bych jako optimální řešení navrhoval koupi automobilu se spalovacím motorem, protože ušetřené finanční prostředky jsou příliš malé k vykoupení některých ústupků v pohodlí při užívání elektromobilu, a protože počáteční výdaje firmy budou výrazně nižší.

V případě Firmy č.1 vychází elektromobil lépe hlavně díky ceně benzínu. Ta totiž způsobí, že čím vyšší je denní nájezd km, tím rychleji předběhne elektromobil spalovacího konkurenta. Zde je ovšem třeba zmínit, že byť vybraný elektromobil vyhovuje průměrnému dennímu nájezdu zvolených firem, protože jeho dojezd je až 265 km na jedno nabití, v průběhu času se maximální kapacita snižuje. Společnost Volkswagen se zaručuje, že do nájezdu 160 000 km, nebo 8 let stáří baterií, kapacita baterií neklesne pod 70 % původní maximální kapacity. I tento nájezd by však znamenal snížení dojezdu na 185,5 km, což se nebezpečně blíží dennímu průměru Firmy č.1. Po 5 letech používání by automobily všech firem tento nájezd překročily a kapacita baterií by tak mohla být ještě nižší. Firmy také příležitostně budou potřebovat najet více kilometrů, než je průměrný denní nájezd, a proto by dojezd nemusel být dostatečný a elektromobil by bylo třeba dobýt na rychlonabíjecí stanici. Pokud by k tomu docházelo častěji, mohlo by to negativně ovlivnit životnost baterií a také celkovou ekonomii vozu, protože za kWh na rychlonabíjecí stanici se obecně platí více než při domácím nabíjení. Stále je však nejoptimálnějším řešením pro firmu č.1 koupě elektromobilu.

Pokud by se firma č.3 rozhodla pořizovat automobil a zařídila si dotaci od Ministerstva průmyslu a obchodu, je elektromobil každopádně ekonomičtější variantou. Pořizovací ceny vozů VW Up! a VW e-Up! se téměř vyrovnají a firma tak již po prvním roce používání ušetří přes 30 000 Kč. Po pěti letech by firma ušetřila dokonce 255 943 Kč. Zde je tedy optimálním řešením elektromobil, protože firma č.3 disponuje i soukromým stáním pro elektromobil.

## 7 Zdroje

- [1] Elektromobilita. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Na Františku 32, 110 15 Praha 1, místnost 239: odbor elektroenergetiky a teplotářství, 2018, 23.10.2018 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/konference-seminare/elektromobilita--240934/>
- [2] ThoughtCo - History of electric vehicles [online]. U.S.: Mary Bellis, 2019 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603>
- [3] The ZF Company [online]. U.S.: Volker Christian Manz, 2018 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: [https://www.zf.com/mobile/en/stories\\_9473.html](https://www.zf.com/mobile/en/stories_9473.html)
- [4] Britannica - electric-automobile [online]. GB, 2019 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/electric-automobile>
- [5] Moodle FEL ČVUT [online]. ČR: ČEZ, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: [https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/271359/mod\\_resource/content/1/2020\\_10\\_25\\_Elektromobilita\\_%C4%8CVUT.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/271359/mod_resource/content/1/2020_10_25_Elektromobilita_%C4%8CVUT.pdf)
- [6] EN Wikipedia [online]. GB, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_car](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car)
- [7] První byla EMA. Ceskatelevize.cz [online]. Praha, 2009 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10209988352-zaslapane-projekty/409235100061017-prvni-byla-ema/>
- [8] Energetika.tzb-info.cz [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici>
- [9] VW ID.3. Volkswagen.cz [online]. 2020 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/id3>
- [10] Přibývá dobíjecích stanic. Ct24.ceskatelevize.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/3241564-spolecne-s-elektromobily-pribyvaji-v-cesku-i-dobijeci-stance>
- [11] Počet elektromobilů za rok 2020. Elektrickévozy.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/prodeje-elektromobilu-v-cr-2020-velky-prehled-pravidelne-aktualizovano>

- [12] Stožáry veřejného osvětlení jako nabíječky. Hybrid.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/praha-ma-13-stozaru-verejneho-osvetleni-pripravenych-na-nabijeni-elektromobilu-muze-jich-byt-az-6000>
- [13] ČEZ dotace na nabíjecí stanice. Zdopravy.cz [online]. 2017 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/cez-skokove-navysi-pocet-dobijecich-stanic-ziskal-evropske-dotace-4778/>
- [14] Norsko elektromobily. Idnes.cz [online]. 2021 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/norsko-elektromobily.A210105\\_124348\\_automoto\\_fdv](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/norsko-elektromobily.A210105_124348_automoto_fdv)
- [15] Norsko elektrárny. Tv-adams.wz.cz [online]. 2015 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <http://www.tv-adams.wz.cz/seznamy/evropa/ve/norsko.html>
- [16] SDA - data. Svaz dovozců automobilů [online]. 2021 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: [http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2021\\_01\\_tiskovka-2020-12.pdf](http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2021_01_tiskovka-2020-12.pdf)
- [17] Německá města proti dieselům. Garaz.cz [online]. 2019 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/nemeckych-mest-ktera-zakazou-diesely-bude-letos-mnohem-vic-21000948>
- [18] Důsledek dotací v německu. Garaz.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/dusledek-dotaci-v-nemecku-je-elektromobil-zdarma-a-co-v-cesku-112561>
- [19] Prodeje elektromobilů v Německu. Fdrive.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/prodeje-elektromobilu-v-nemecku-zrychluji-podil-na-trhu-maji-uz-84-procenta-5550>
- [20] Prodeje elektromobilů rapidně rostou. Fdrive.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-16]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/na-jednu-dobijecku-11-elektromobilu-takova-je-aktualni-situace-v-nemecku-6273>
- [21] Druhy elektromobilů [online]. 2019 [cit. 2021-09-23]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [22] Druhy elektromobilů, elektrickevozy.cz [online]. 2019 [cit. 2021-09-24]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/typy-elektromobilu-a-jak-je-rozeznat>
- [23] Proč vodík není správná cesta? Teslafan.cz [online]. 2019 [cit. 2021-09-24]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/proc-vodik-neni-spravna-cesta>
- [24] How does an Electric Car work ? | Tesla Model S [online]. 2017 [cit. 2021-09-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=3SAxXUIre28>



- [25] Elektrický pohon modelu Volkswagen ID.3 [online]. 2019 [cit. 2021-09-25]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/elektricky-pohon-modelu-volkswagen-id3-se-vejde-do-sportovni-tasky-jak-funguje/>
- [26] VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. Elektromechanické měniče. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04875-7.
- [27] Tesla Model 3's motor. youtube.com [online]. 2020 [cit. 2021-09-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=esUb7Zy5Oio>
- [28] Elektromobily a jejich baterie [online]. 2019 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie>
- [29] Baterie elektromobilu – základní parametry [online]. 2020 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu/>
- [30] Škoda citygo iV. Hybrid.cz [online]. 2020 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/skoda-citigoe-iv-rychle-dojmy-z-prvniho-elektromobilu-ceske-znacky/>
- [31] Akumulátory a pohonné systémy elektrických vozidel. oenergetice.cz [online]. 2021 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektromobilita/akumulatory-a-pohonne-systemy-elektricky-vozidel-ev-1-dil>
- [32] Electric batteries [online]. 2021 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: [https://afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html)
- [33] Baterie elektromobilů Tesla Model S a Model X ztrácí 10 % kapacity po 320 000 km [online]. 2021 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/baterie-elektromobilu-tesla-ztrati-pouze-10-kapacity-po-320-000-km/>
- [34] Jak, kde a za kolik nabít elektromobil? fdrive.cz [online]. 2020 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-kde-a-za-kolik-nabit-elektromobil-kompletni-pruvodce-5005>
- [35] Česku už je přes 1 500 veřejných dobíjecích bodů pro elektromobily [online]. 2021 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/v-cesku-uz-je-pres-1-500-verejnych-dobijecich-bodu-pro-elektromobily-7947>
- [36] Jak nevyhodněji nabít elektromobil [online]. 2021 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://www.byznys-energie.cz/clanek/jak-nejvyhodneji-nabit-elektromobil-vsude-dobre-doma-nejlip>

- [37] Je výroba elektromobilu ekologičtější než u fosilního auta? fdrive.cz [online]. [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/je-vyroba-elektromobilu-ekologictejsi-nez-u-fosilniho-auta-6347>
- [38] Kolik oxidu uhličitého vypouští vozidlo do ovzduší? fdrive.cz [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/kolik-oxidu-uhliciteho-vypousti-vozidlo-do-ovzdusi-velke-srovnani-podle-pohonu-6874>
- [39] Víte, kdy začnou být elektrická auta ekologičtější než ta spalovací? elektrickevozy.cz [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/vite-kdy-zacnou-byt-elektricka-auta-ekologictejsi-nez-ta-spalovaci>
- [40] Národní energetický mix [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [41] Rekuperace [online]. 2020 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://automania.cz/brzdeni-nebo-setrvacna-jizda-volkswagen-vysvetluje-inteligentni-koncept-rekuperace-modelu-id-4/>
- [42] Recyklace baterií. seznamzpravy.cz [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/co-s-bateriemi-do-elektromobilu-automobilky-je-zacinaji-recyklovat-152337>
- [43] Recyklace baterií. flowee.cz [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.flowee.cz/civilizace/8688-elektromobilita-co-se-stane-se-vsemi-temi-mrtvymi-bateriemi>
- [44] Volkswagen rozjel recyklaci baterií. hybrid.cz [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/volkswagen-rozjel-recyklaci-baterii-podivejte-se-jak-je-drti-v-drtici/>
- [45] Volkswagen Recyklace. youtube.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Qi8Y2lF7Luw>
- [46] Recyklace akumulátoru z elektromobilu. elektrina.cz [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/recyklace-akumulatoru-z-elektromobilu>

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1 - tříkolka Gustava Truvého, první elektromobil na světě.	
Zdroj: <a href="http://academie-de-touraine.com/Tome_25_files/067-092.pdf">http://academie-de-touraine.com/Tome_25_files/067-092.pdf</a>	8
Obrázek 2 - Elektromobil Františka Křižíka.	
Zdroj: <a href="https://auto.idnes.cz/foto.aspx?foto1=VOK2ea04c_Krizik_elektromobil.jpg">https://auto.idnes.cz/foto.aspx?foto1=VOK2ea04c_Krizik_elektromobil.jpg</a>	9
Obrázek 3 - Československý elektromobil EMA rok 1970	
Zdroj: <a href="https://www.elektrina.cz/data/images/article/files-clanky-clanek-7341-1501830217x900x500x1c0000.jpg">https://www.elektrina.cz/data/images/article/files-clanky-clanek-7341-1501830217x900x500x1c0000.jpg</a>	10
Obrázek 4 - Volkswagen ID.3 2020.	
Zdroj: <a href="http://www.hybrid.cz/files/images/5911765_.preview.jpg">http://www.hybrid.cz/files/images/5911765_.preview.jpg</a>	11
Obrázek 5 - Ukázka významu "Smart grid"	
Zdroj: <a href="https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/defending-the-smart-grid-2013-how-to-protect-networks-and-devices-from-cyber-attacks/@_images/84cf4aa7-6848-4b5b-9051-79f46d50305f.jpeg">https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/defending-the-smart-grid-2013-how-to-protect-networks-and-devices-from-cyber-attacks/@_images/84cf4aa7-6848-4b5b-9051-79f46d50305f.jpeg</a>	12
Obrázek 6 - Registrace nových vozidel v ČR dle paliv. Zdroj: <a href="http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2021_01_tiskovka-2020-12.pdf">http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2021_01_tiskovka-2020-12.pdf</a>	12
Obrázek 7 – Dobíjecí stanice pro elektromobily AC 22 kW integrovaná do lampy veřejného osvětlení Praha. Zdroj: <a href="http://www.hybrid.cz/i/auto/praha-vinohrady-nabijeci-stanice-verejne-osvetleni-lampy.jpg">http://www.hybrid.cz/i/auto/praha-vinohrady-nabijeci-stanice-verejne-osvetleni-lampy.jpg</a>	13
Obrázek 8 - Hydroelektrárna v Norsku	
Zdroj: <a href="https://www.fodors.com/ee/images/article/Norway-02ee.jpg">https://www.fodors.com/ee/images/article/Norway-02ee.jpg</a>	14
Obrázek 9 - Standardní asynchronní motor s kotvou nakrátko	
Zdroj: <a href="https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53139.pdf">https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53139.pdf</a>	17
Obrázek 10 - Synchronní motor s permanentními magnety.	
Zdroj: <a href="https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53139.pdf">https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53139.pdf</a>	18
Obrázek 11 - Šestipólový IPMSynRM motor z Tesla Model 3.	
Zdroj: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=esUb7Zy5Oio">https://www.youtube.com/watch?v=esUb7Zy5Oio</a>	18
Obrázek 12 - FCEV vs BEV Zdroj: <a href="https://www.teslafan.cz/clanky/proc-vodik-neni-spravna-cesta">https://www.teslafan.cz/clanky/proc-vodik-neni-spravna-cesta</a>	20
Obrázek 13 - Složení baterie. Zdroj: <a href="https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu/">https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu/</a>	21
Obrázek 14 - Porovnání nabíjecích křivek elektromobilů s VW ID.3 Pro S.	

- Zdroj: <https://www.hybrid.cz/volkswagen-id3-pro-s-se-77kwh-baterii-dojezd-az-360-km-po-dalnici-slusna-nabijeci-krivka/> 23
- Obrázek 15 - Veřejné dobíjecí stanice v ČR.
- Zdroj: <https://elektrickevozy.cz/clanky/kolik-je-v-cr-verejnych-nabijecich-stanic-pro-elektromobily-mozna-budete-prekvapeni> 25
- Obrázek 16 - Energetický mix USA.
- Zdroj: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=47196> 27