



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Porovnání nabíjecích stanic pro elektromobily

Comparison of electric vehicle charging stations

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík, Ph.D.

David Lukáš

Praha 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lukáš** Jméno: **David** Osobní číslo: **466142**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání nabíjecích stanic pro elektromobily

Název bakalářské práce anglicky:

Comparison of charging stations for electromobility

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište současný stav infrastruktury pro dobíjení elektromobilů
- 2) Identifikujte jednotlivé typy nabíjecích stanic a porovnejte jejich klíčové parametry
- 3) Na modelovém příkladu provozu elektromobilu porovnejte technicko - ekonomické parametry vybraných nabíjecích systémů

Seznam doporučené literatury:

- 1) Národní akční plán čisté mobility; Ministerstvo průmyslu a obchodu
- 2) Data from electric vehicle charging stations: Analysis and model development; Mahmoud Shepero, Joakim Munkhammar
- 3) Electric Vehicle Charging Technology Analysis And Standards; Doug Kettles

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Králík, Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.01.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Tomáš Králík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
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

Prohlášení autora práce

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

V Praze dne 15. 5. 2019

Podpis autora práce

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především vedoucímu práce Ing. Tomáši Králíkovi, Ph.D., za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce a za konzultace k jejímu obsahu. Dále bych rád poděkoval zástupcům firmy ČEZ a.s., jmenovitě PhDr. Evě Polanské, Ing. Pavlu Peňázovi a Ing. Tomáši Chmelíkovi za poskytnutí reálných dat nezbytně nutných k vytvoření této práce. Taktéž bych rád poděkoval zástupci firmy PRE a.s. Ing. Adamovi Čečákovi za konzultaci a reálná data. V neposlední řadě bych rád poděkoval svému blízkému okolí, že mi umožnilo dostatek prostoru a podpory pro tuto tvorbu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou dobíjecích stanic pro elektromobily v prostředí České republiky. Konkrétně je práce zaměřena na nabíjecí stanice provozované v ČR.

Teoretická část práce je pojata jako rešerše současně nejvyužívanějších AC i DC nabíjecích stanic, nabíjecích standardů, nabíjecích režimů a možných řešení nabíjecích systému do budoucna. Tématikou se také dotýká infrastruktury dobíjecích stanic a podporou elektromobility ve formě dotací.

Praktickou částí je vytvoření funkčních modelů, které slouží ke zjištění celkových nákladů na 1 kWh dodanou nabíjecí stanicí. Modely jsou vyhotoveny pro AC i DC nabíjecí stanici pro připojení do sítí nízkého i vysokého napětí. Výsledné náklady na dobítí elektromobilu jsou následně porovnány s náklady na provoz konvenčního bezinového automobilu.

Klíčová slova

Nabíjecí stanice, AC nabíječka, DC nabíječka, wallbox, elektromobil, EV, plug-in hybrid, Národní akční plán čisté mobility, Operační program Doprava, ČEZ, PRE, zpoplatnění dobíjení, náklad na 1 kWh, cena elektřiny, tarify, připojení do nn, připojení do vn, nákladové cashflow

Abstract

This bachelor thesis deals with the topic of electric vehicle charging stations in Czech republic. Specifically the bachelor thesis aims for EV charging stations currently used in ČR.

The theoretical part of this thesis is written like research to analyze the most currently used EV AC and DC charging stations, charging standards and charging possibilities for future advancement. This thesis also provides information about charging stations infrastructure and subsidies for EV chargers.

The practical part of this bachelor thesis aims to make economic models which are used for finding out the total costs of 1 kWh of energy supplied by charging station. It is done for AC and DC stations connected to low and high voltage power line. Total costs of one charge are compared with running costs of conventional petrol car.

Key words

Charging station, AC charger, DC charger, wallbox, electric vehicle, EV, plug-in hybrid, Národní akční plán čisté mobility, Operační program Doprava, ČEZ, PRE, pricing of charging, costs of kWh, cost of energy, rates, low-voltage connection, high-voltage connection, cashflow of costs

Obsah

1	ÚVOD	1
2	NABÍJENÍ ELEKTROMOBILU	3
2.1	NABÍJECÍ REŽIMY	4
2.1.1	<i>Režim 1</i>	4
2.1.2	<i>Režim 2</i>	4
2.1.3	<i>Režim 3</i>	4
2.1.4	<i>Režim 4</i>	5
2.2	NABÍJECÍ STANDARDY	5
2.2.1	<i>Yazaki Typ 1 (SAE J1772 / IEC 62196-2)</i>	6
2.2.2	<i>Mennekes Typ 2 (IEC 62196-2)</i>	6
2.2.3	<i>CHAdeMO</i>	6
2.2.4	<i>Systém CCS Combo (IEC 62196)</i>	7
2.2.5	<i>Shrnutí nabíjecích standardů</i>	7
2.3	AC DOBÍJECÍ STANICE	8
2.3.1	<i>Shrnutí</i>	10
2.4	DC DOBÍJECÍ STANICE	11
2.4.1	<i>Shrnutí</i>	12
2.5	SUPERCHARGER	13
2.6	BUDOUCNOST NABÍJENÍ	13
2.6.1	<i>Ultra rychlé nabíjecí systémy</i>	14
2.6.2	<i>Indukční nabíjení</i>	14
2.6.3	<i>Výměna elektrolytu</i>	15
2.6.4	<i>Shrnutí</i>	15
3	INFRASTRUKTURA NABÍJECÍCH STANIC	16
3.1	SOUČASNÝ STAV INFRASTRUKTURY	16
3.1.1	<i>Čerpací stanice</i>	17
3.2	DOTAČNÍ PROGRAMY	18
3.2.1	<i>Operační program Doprava</i>	18
3.2.2	<i>Shrnutí</i>	19
4	POROVNÁNÍ TECHNICKO – EKONOMICKÝCH PARAMETRŮ	20
4.1	TEORETICKÝ ÚVOD	20
4.1.1	<i>Roční ekvivalentní hodnota nákladů</i>	20
4.1.2	<i>Zavedené předpoklady</i>	22
4.2	MODELOVÝ PŘÍKLAD AC NABÍJECÍ STANICE	24
4.2.1	<i>Složky investice do AC wallboxu</i>	24
4.2.2	<i>Náklady na elektřinu</i>	25
4.2.3	<i>Citlivostní analýza</i>	26
4.3	MODELOVÝ PŘÍKLAD DC NABÍJECÍ STANICE	28
4.3.1	<i>Složky investice do DC nabíjecí stanice</i>	28
4.3.2	<i>Stanice připojená do sítí nízkého napětí</i>	29
4.3.3	<i>Stanice připojená do sítí vysokého napětí</i>	31
4.4	POROVNÁNÍ DC A AC NABÍJECÍCH STANIC	36
4.4.1	<i>Porovnání z hlediska financí</i>	36
4.4.2	<i>Porovnání z hlediska času pro dobítí</i>	37
4.5	DISKuze KONKURENCESCHOPNOSTI ELEKTROMOBILŮ	37
4.5.1	<i>Palivové náklady benzinového vozu</i>	37

4.5.2	<i>Náklady na energii elektromobilu</i>	38
4.5.3	<i>Porovnání výsledků</i>	38
5	ZÁVĚR	39
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	43
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	47
8	SEZNAM PŘÍLOH	47

1 Úvod

Elektromobilita je v současné době jedno z nejskloňovanějších témat vyspělého světa. Zabývá se mobilitou a dopravními prostředky, ve snaze oprostít se od fosilních paliv a nahradit je elektrickou energií. Srdcem každého elektromobilního prostředku je elektromotor, kterému může být dodávána energie pomocí vedení (vlak, tramvaj, trolejbusy), nebo pomocí baterie (elektromobily, elektrobusy, elektrické motocykly). Ve své práci se zaměřím výhradně na stroje poháněné bateriemi, konkrétně elektromobily. Snaha omezit spotřebu fosilních paliv na minimum není uměle vyvolána a má své opodstatnění, ať už v souvislosti s ekologií nebo potřebou nahradit postupně docházející neobnovitelné zdroje. Faktem je, že fosilních paliv na planetě Zemi není neomezeně, ale teprve s přelomem tisíciletí začíná být toto téma aktuální. Například zásoby ropy, suroviny naprosto klíčové pro dopravu po celém světě, v nalezištích již nezbývá tolik, abychom s ní mohli plýtvat. Naopak. Studie firmy British Petroleum ukazuje, že ropné vrty budou moci při stále rostoucí spotřebě lidstvu dodávat ropu ještě přibližně příštích 52 let. [1] Padesát let se zdá jako dlouhá doba, ale nikdo z nás se nechce dostat do situace, kdy paliva bude nedostatek. Na základě velmi vysoké poptávky a nízké nabídky by se mohlo stát, že cena začne stoupat, a osobní automobil by se znovu stal luxusem pouze pro několik vyvolených. Spotřebu ropy můžeme do určité míry ovlivnit nepopulárními downsizingy motorů, hybridními pohony nebo „čistými“ elektromobily.

Dalším důvodem, proč je aktuálně elektromobilita na vzestupu, je trend snižování nepříznivých dopadů na životní prostředí, které mohou vést ke globální klimatické změně. Především v Evropské unii jsou automobilky nuceny snižovat emise. Do roku 2030 mají závazek splnit normy produkce emisí, které udávají o jednu třetinu nižší hodnotu produkce oxidu uhličitého oproti roku 2020. [26] Tento požadavek je reálně splnitelný pouze s rapidním nástupem hybridních a elektrických pohonů. Pokud jde o uvolňování emisí, v tomto ohledu je provoz elektromobilů bezkonkurenční. Elektromotory mají při provozu emise v podstatě nulové, jsou dobře recyklovatelné a v porovnání se spalovacími motory nepotřebují častou a nákladnou údržbu. Potíž všech dnešních elektroaut spočívá v bateriích. V automobilech se používá výhradně Li-Ion baterií, které prozatím nelze smysluplně recyklovat. Jejich výroba je navíc velmi energeticky náročná a výrobní postupy neekologické.

Největší kámen úrazu je ovšem dojezd elektromobilů. Nejsilnější produkčně vyráběné elektroauto světa je Tesla Model S P100D, které pohání 100 kWh akumulátor. Tento elektromobil má momentálně největší kapacitu baterií, a tudíž i největší dojezd. Ten americká firma udává až k 600 km, ale v praxi se podaří dosáhnout maximálně 400-450 km na jedno nabití. Tyto hodnoty jsou ovlivněny stylem jízdy, celkovou spotřebou

elektrické energie (např. klimatizací, rádiem, vyhřívanými sedačkami atd.), ale také závislostí kapacity baterie na venkovní teplotě. I takovouto vzdálenost lze považovat za dostačující, pokud je elektromobil využíván na denní dojíždění za prací v běžné dojezdové vzdálenosti. Nevýhodu baterií lze pocítit až na delších vzdálenostech, kdy přichází potřeba doplnit energii pro elektromotor. Vyvíjí se několik perspektivních způsobů doplnění elektrické energie do akumulátorů. Jako reálně využitelné řešení do budoucna se jeví aplikace průtokových baterií. Tato technologie spočívá v jednoduché výměně odčerpáním vybitého elektrolytu z baterií a následném natankování nabitého. Druhým perspektivním způsobem, také ve vývoji, je indukční nabíjení baterií za jízdy přímo ze silnice. [29] Toto řešení by ovšem bylo velmi nákladné pro globální použití. V současné době se využívá dobíjení pevně instalovaných akumulátorů ve vozidle, na které se ve své práci zaměřím.

Důležitým faktorem pro rozvoj elektromobility budou stále více veřejná místa, kde uživatelé elektrických aut budou moct baterie dobít. Na takových místech musí být speciálně uzpůsobené nabíjecí systémy, které nazýváme nabíjecí stanice. U nabíjecích stanic je důležitou vlastností jejich výkon, protože právě výkon nabíječky určuje čas potřebný k dobití baterie. Na nejmodernějších rychlonabíjecích stanicích lze dosáhnout nabití na 80 % kapacity za přibližně půl hodiny. V porovnání s rychlostí tankování je půl hodina nezanedbatelný nedostatek. Počet hybridů a elektromobilů do budoucna poroste a je nutné připravit infrastrukturu i sítě samotné. Na nárůst prodeje i popularity elektrifikovaných automobilů reagují společnosti poskytující elektřinu rozvojem sítě nabíjecích stanic a modernizací současných nabíjecích systémů. Těmito klíčovými prvky rozvoje elektromobility se také budu zabývat ve své bakalářské práci.

Téma elektromobility mi přijde velmi perspektivní a technologicky i ekonomicky zajímavé. Ve druhé kapitole přiblížím dnes nejpoužívanější nabíječky v České republice včetně jejich standardů a nabíjecích režimů. Ve třetí kapitole se zaměřím na současnou i budoucí infrastrukturu dobíjecích stanic a ve čtvrté kapitole na modelových příkladech pořízení a provozu nabíjecích stanic porovnáám technicko-ekonomické parametry jednotlivých nabíjecích systémů.

2 Nabíjení elektromobilu

Dobíjení je klíčová součást celého principu elektromobility. Jak již bylo řečeno, bez nabíjecích stanic se uživatelé elektromobilů neobejdou. Bohužel dnes není vůbec jednoduché se v této problematice správně orientovat. Nabíjet elektromobil můžeme stejnosměrným (DC) a střídavým (AC) proudem. Baterie pro své nabití potřebuje výhradně stejnosměrný proud, kdežto motor elektromobilu výhradně proud střídavý. Nejčastěji se používá čtyřpólový asynchronní (též indukční) motor.[7] Součástí každého vozu tak musí být střídač napětí a proudu, který pro motor mění DC proud z baterie na AC proud. Pro nabíjení z normální AC 230 V nebo 400 V zásuvky slouží nabíječka přímo zabudovaná ve vozidle, tzv. palubní nabíječka. Součástí této nabíječky je usměrňovač. Různorodost těchto vestavěných nabíječek přináší nepřehlednost, protože každý výrobce používá jiné specifikace. Tato vestavěná nabíječka omezuje maximální vstupní výkon, a tudíž i rychlost dobíjení. Maximální možná rychlost dobítí vozidla tedy závisí na dvou parametrech. Za prvé na maximální možné zatížitelnosti zásuvky nebo nabíječky, definovaná napětím (230 V – 400 V), maximálním výstupním proudem a počtem fází. Za druhé výkonem integrované nabíječky a počtem fází, které je schopná využít. V domácích podmínkách máme dvě možnosti, jak elektromobil dobít. Buď ze standardní domácí zásuvky 230 V a 16 A na jedné fázi, nebo 400 V třífázové. Maximální výkon třífázové zásuvky se spočítá jako:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad (1)$$

kde:

P ... příkon [W]

U ... fázové napětí [V]

I ... proud [A]

$\cos\varphi$... účinník [-]

U běžné domácí zásuvky tedy máme výkon zhruba 3,7 kW, u třífázové pak 11 kW. To znamená, že za jednu hodinu je napájení do baterie schopno dodat energii 3,7 kWh, respektive 11 kWh. A podle kapacity baterie můžeme lehce dopočítat, jak dlouho bude dané rozhraní baterii nabíjet. Například Tesla Model S P100d má 100 kWh baterii, tudíž by ji obyčejná zásuvka nabíjela 27 hodin. U třífázové zásuvky s výkonem 11 kWh nabijete Renault Zoe s 22 kWh baterií cca za 2 hodiny, avšak BMW i3 se stejnou kapacitou baterií budete nabíjet 6 hodin. Pro tento modelový příklad zanedbáváme ztráty, ale v praxi je potřeba brát je v potaz. Tento velký rozdíl má na svědomí právě integrovaná palubní nabíječka, protože v případě BMW umí pracovat pouze s jednou fází, takže propustí výkon pouhých 3,7 kW, i když je dimenzována na 7,4 kW. Takto nadimenzovaná je z důvodu, že se v průmyslových oblastech a některých dalších místech vyžadujících vyšší odběr nachází třífázové zásuvky s 32 A místo 16 A a výkon se tedy zdvojnásobí. [8]

Jak je z úvodního textu o nabíjení patrné, situace není příliš přehledná a v tomto podtématu své bakalářské práce bych rád objasnil témata jako nabíjecí standardy, nabíjecí režimy. Dále se zaměřím klasifikaci stejnosměrných a střídavých nabíjecích stanic z technického i ekonomického hlediska a detailněji se zaměřím také na možné řešení nabíjení elektromobilových akumulátorů do budoucna.

2.1 Nabíjecí režimy

Obecně tyto režimy můžeme rozdělit do čtyř tříd. První tři režimy upravují podmínky pro nabíjení střídavým proudem, čtvrtý režim pak udává podmínky pro nabíjení stejnosměrným proudem. Režim 1 používáme pro domácí nabíjení z obyčejné zásuvky, režim 2 musí mít na rozdíl od režimu 1 pokročilejší ochranné parametry. U posledního střídavého režimu musí být použita nabíjecí stanice či wallbox (AC nabíjecí stanice menších rozměrů pro umístění na zeď), pomocí kterého si může palubní nabíječka automobilu řídit nabíjecí parametry. Režim 4 pak upravuje podmínky pro použití nabíjení stejnosměrným proudem.

2.1.1 Režim 1

V režimu 1 spočívá nabíjení v připojení na standardní domácí jednofázovou zásuvku. Dle normy musí režim 1 splňovat bezpečnostní předpisy a vyhlášky, také musí mít uzemňovací vodič. Obvod musí obsahovat proudový chránič, musí mít ochranu proti zkratu a přetížení. Tento režim je reálně velmi jednoduše proveditelný, a tak je často využíván např. pro wallboxy v domácnostech. Režim 1 ovšem není vybaven ochranou v kabelu, tudíž může dojít k oteplování v kabelu při dobíjení maximálním proudem – nejčastěji 16 A, již nepřijatelným ztrátám nebo dokonce porušení izolace. [9, 10]

2.1.2 Režim 2

Režim 2 se využívá především v zemích, kde legislativa nepovoluje režim 1. Tato legislativa se týká právě zmiňované ochrany v kabelu, které hlídá správné připojení a uzemnění. [9, 10]

2.1.3 Režim 3

Režim 3 spočívá v použití nabíječky a taktéž využívá střídavý proud ze sítě. Tato nabíječka musí být vybavena řídicím vodičem, který je připojen k řídicí jednotce a kostře elektromobilu. Tento vodič slouží k zjišťování odezvy z řídicí jednotky. Signál putuje řídicím vodičem do jednotky v podobě malého proudu a následně se vrací do nabíjecí stanice zemnicím vodičem. Pokud nikde nenastává chyba, tento signál zapříčiní sepnutí nabíjecího systému a dobíjení může začít. To znamená, že pokud není k zařízení připojen žádný kabel, tak je nabíječka nečinná a nemá žádný odběr. Zároveň však při náhlém

odpojení řídicí jednotka vyhodnotí špatný stav, pošle vypínací signál do stykače a ten vypne. Zamezí tak vzniku elektrického oblouku mezi konektorem a elektromobilem. Existují i jiné ochrany proti elektrickému oblouku, například přenosem signálu do elektrické sítě nebo bezdrátově. Všechny tyto zmiňované systémy umožňují zákazníkovi, potažmo jeho řídicí jednotce, komunikovat s dodavatelem energie přímo po síti. Tomu se odesílají informace o odebrané energii s dobou nabíjení. Kromě usnadnění vyúčtování můžeme tyto přenosy informací využívat také k technologii Vehicle to grid, která je určena pro provozovatele distribuční sítě, aby mohl lépe řídit její zatížení. Zákazník přes mobilní aplikaci sdělí distributorovi, jakou kapacitu baterie a za jaký čas chce nabít, ten pak může snáze regulovat parametry v síti. Dodavatel na oplátku poskytne slevu z ceny energie odběrateli. [9, 10]

2.1.4 Režim 4

Tento ve výčtu poslední režim spočívá v nabíjení stejnosměrným proudem. K tomu potřebujeme externí zařízení v podobě nabíječky, která odebírá střídavý proud ze sítě a následně přes usměrňovač nabíjí baterii automobilu. Kromě měniče nabíječka musí obsahovat řídicí jednotku nabíječky, která komunikuje s řídicí jednotkou vozu a dokáže tak optimalizovat nabíjení, ochrany proti poruše, přepětí a nadproudu a napájecí kabel. Na kabelech v případě stejnosměrných stanic záleží velmi, neboť s tloušťkou kabelu roste i maximální možná velikost proudu, kterou umí kabel přenést a nepoškodí se. Dále pak je velmi důležitá koncovka na kabelu – konektor. [9, 10]

Nabíjecí režimy nám tedy popisují jednotlivé požadavky na ochrany a řízení nabíjecích stanic či wallboxů. Při výběru nabíječky tak nemusíme zjišťovat všechny její parametry. Například pokud chceme v domě využívat lokálního Vehicle to grid, tedy ukládat energii z domu do baterií auta a v případě potřeby ji opět použít, pak nám stačí vědět, že nabíječka musí umět podporovat režim 3. Jedná se tedy o jisté zjednodušení při výběru nabíječky nejen do domácnosti, ale i pro firmy.

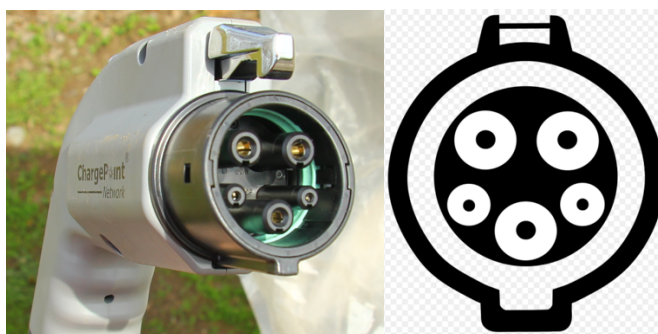
2.2 Nabíjecí standardy

Při výběru a vyhledávání nabíjecí stanice musíme zohlednit nejen její výkon, ale také její kompatibilitu s vozem. Kompatibilitou je myšleno konkrétně kabelové či zásuvkové vybavení v podobě nabíjecího standardu, tedy koncovky na kabelu, kterým stanice disponuje. I přes mnohé snahy o sjednocení typů koncovek na trhu s elektromobily zatím existuje několik různých druhů. V podstatě existují 2 druhy pro nabíjení stejnosměrným proudem a 2 pro střídavé dobíjení. Velmi často se setkáváme s redukcemi, aby uživatelé elektromobilů s jedním určitým typem mohli nabít u stanic s typem jiným. Speciální případ je u Tesly, která na svých superchargerech dobíjení

obstarává pomocí vlastních speciální koncovek a zároveň může nabíjet jen vozy Tesla.[11]

2.2.1 Yazaki Typ 1 (SAE J1772 / IEC 62196-2)

Prvním typem pro nabíjení střídavým proudem je Typ 1 Yazaki. V Evropě je poměrně unikátní, dominantní roli hraje především na Americkém trhu a v Japonsku. Dokáže nabíjet pouze přes jednu fázi, tj. ze standardní domácí zásuvky. Maximální přenositelný výkon je tedy 7,4 kW při 230 V a 32 A. Konektor Yazaki se skládá z 5 kolíků, přičemž jeden je nabíjecí, dva jsou zemní a dva řídicí. Standard vhodný především pro elektromobily či hybridy značek Chevrolet, Ford, Toyota, Mitsubishi, Kia, Citroen, atd. [11]



Obrázek 1 - Typ 1 Yazaki, převzato z [12]

2.2.2 Mennekes Typ 2 (IEC 62196-2)

V Evropě nejčastěji rozšířeným standardem pro střídavé dobíjení je konektor od německé firmy Mennekes se stejnojmenným názvem – Mennekes Typ 2. Jedná se o konektor se schopností přenést až 22 kW s využitím všech třech fází při 400 V a 32 A na fázi. Konektor je sedmikolíkový, přičemž tři kolíky jsou fázové nabíjecí, dva zemní a dva řídicí. Tento standard využívají hlavně evropské značky v čele s VW, Audi, BMW, Porsche, aj. [11, 13]



Obrázek 2 - Typ 2 Mennekes, převzato z [13]

2.2.3 CHAdeMO

Prvním z konektorů pro stejnosměrné dobíjení je standard asijského konsorcia společností Nissan, Mitsubishi, Subaru a později Toyota, tedy společnosti Tepco, s názvem CHAdeMO. Od roku 2010 se jedná o celosvětově uznávaný standard pro rychlodobíjení. Zkratka CHAdeMO vznikla z výrazu „Charge de Move“, přeloženo jako

„Nabij pro pohyb“. Tento standard dokáže přenést až 62,5 kW při 500 V a 125 A. [11, 15, 17]



Obrázek 3 - Standard CHAdeMO, převzato z [14]

2.2.4 Systém CCS Combo (IEC 62196)

Konecťka CCS combo umožňuje nabíjet střídavě jednofázově nebo třífázově, a zároveň rychlonabíjet stejnosměrně. Tento standard je nejnovější, vznikl v roce 2012 a je celosvětově využívaným. CCS Combo však můžeme rozdělit ještě na Combo 1 a Combo 2. Rozdělení je provedeno podle střídavého dobíjení. Combo 1 znamená, že do konektoru je vestavěn konektor Typ 1 Yazaki a do Combo 2 Typ 2 Mennekes. I zde platí, že Combo 2 je nejvíce využíváno v Evropě a Combo 1 je majoritně americká a asijská záležitost. [11, 17]



Obrázek 4 - CCS Combo 2 (vlevo female, vpravo porovnání koncovek CCS2 (vlevo) a Mennekes, převzato z [16])

2.2.5 Shrnutí nabíjecích standardů

V současnosti se používají čtyři typy nabíjecích standardů. Nejdůležitější myšlenkou celé této kapitoly je, že si uživatelé elektromobilů musí bedlivě hlídat, jaké mají vestavěné nabíjecí standardy ve svých autech, k jakým nabíjecím stanicím míří a popřípadě jaké další kabely si s sebou vozí. Kabely jako takové jsou si navzájem plně nekompatibilní. Na trhu se v posledních letech začínají objevovat redukce mezi jednotlivými standardy (hlavně pro pomalé nabíjení střídavým proudem). Výrobci by se do budoucna měli snažit unifikovat nabíjecí standard společný pro všechna vozidla, aby situace ohledně nabíjení

bylo o něco jasnější a jednodušší. Evropské standardy jsou již od 18. 11. 2017 povinně definovány legislativou EU, což znamená další krok k unifikaci.

2.3 AC dobíjecí stanice

Jak již bylo zmíněno, střídavé dobíjecí stanice jsou ideální volbou pro relativně pohodlné domácí nabíjení. Patří sice mezi nejpomalejší způsoby, jak elektromobil nabít, ale je zbytečné mít v garáži supercharger, když na nabití přes noc nikdo nespěchá. Navíc jsou AC wallboxy oproti DC nabíječkám několikanásobně levnější a prostorově nenáročné. K této variantě nabíječek přistupují i velké firmy na českém trhu jak pro vlastní použití, tak pro komerční účely. Hlavním rozdílem a výhodou, proč použít doma wallbox a ne obyčejnou zásuvku, je právě podpora režimu 3, tedy podpora komunikace nabíjecí strany s automobilem. Palubní nabíječka automobilu dokáže v případě problémů s nabíjením nebo zhoršených nabíjecích podmínek (např. teploty) poslat signál wallboxu a tím regulovat například výstupní proud nabíjecí strany. Výhodné je instalovat tyto kompaktní wallboxy na veřejná místa do parkovacích domů a nákupních center. Venkovní AC nabíječky se využívají hlavně ve městech nebo na větších tazích. Tyto lokace využívají i firmy ČEZ a.s. a Pražská energetika a.s. ČEZ jako státní podnik musí vypisovat veřejné konkurzy na dodavatele a využívá nabíjecí stanice eVolve od firmy Circontrol. Pořizovací ceny takovýchto stanic se pohybují mezi 100 a 150 tisíci. Z počátku byly stanice vybaveny 22 kW na jednom výstupu a 230 V, 16 A druhou zástrčkou, ale s rostoucím počtem elektromobilů byla společnost nucena dovybavit druhou výkonnější variantou, a tudíž současné „normální“ nabíjecí stanice disponují výkonem 2x22 kW schopné na tento plný výkon dobíjet dvě auta naráz.

Dále nabíječka obsahuje čtečku unikátních RFID karet vydávaných danou společností, pomocí které si zákazník stanicí odemkne a následně zaplatí za elektřinu. Nechybí zde ani přehledný display s informacemi o množství odebíraného proudu a celkové době nabíjení. Stanice [19, 20]



Obrázek 5 - AC nabíjecí stanice společnosti ČEZ, převzato z [20]

Druhá dříve zmiňovaná společnost PRE provozuje 46 standardních nabíjecích míst. Pražská energetika a.s. nemusí dodavatele soutěžit, a tak používá celou škálu dobíjecích stanic. Výkonově nejvíce podobná stanice těm od ČEZu je box od finské značky Ensto. Konkrétně box Ensto Chago ve dvou provedeních. Starší model Ensto Chago Premium EVC 100, který zvládne nabíjet s výkonem 22 kW jeden elektromobil, a navíc je na něm instalovaná „domácí“ zásuvka s výkonem 3,6 kW. Druhý box Ensto Chago Pro EVF 200 dokáže obstarat souběžné nabíjení pro dva elektromobily plným výkonem 22 kW.



Obrázek 7 - Ensto Chago Pro EVF 200, převzato z [22] Obrázek 6 - Ensto Chago Premium EVC 100, převzato z [22]

Oficiální pořizovací cena je 91 800 Kč u jednodušší varianty Chago EVC 100. Novější a dražší provedení EVF 200 vyjde na 120 825 Kč. [21, 22]

Kompaktnějším provedením, vhodnějším například do obchodních center, je nabíječka Ensto Chago Wallbox EVB 200. Její výstupní výkon je až 22 kW ovšem na jednu linku. To



Obrázek 8 - Ensto Chago Wallbox EVB 200, převzato z [22]

znamená, že pokud budu chtít nabíjet dvě vozidla naráz, každé se bude nabíjet rychlostí 11 kW za hodinu. Wallbox je tudíž vhodný spíše pro nabíjení, kdy auto nepotřebujeme

využívat, tedy přes noc nebo během dne v práci, popřípadě pro vozidla s hybridním pohonem. Výhoda oproti Chago Pro a Chago Premium je v potřebném nižším jištění, rezervovaném příkonu a rozměrech. Pořizovací cenu firma Ensto uvádí 55 350 Kč.

Rozměry ekvivalentní stanice k poslední zmíněné nabíječce je další u nás používaná stanice od německé firmy ABL – eMH3 twin (obrázek 9). Oproti Wallboxu od Ensto však dokáže dodávat 22 kW na oba své výstupy a zajistí tak rychlejší souběžné nabíjení.



Obrázek 10 – ABL eMH3, převzato z [24]



Obrázek 9 - Keba KeContact P30, převzato z [23]

Posledním využívanějším wallboxem je Keba KeContact P30 (obr. 10). Tato nástěnná nabíječka je dle mého názoru zaměřená spíše na soukromé použití. Je velmi malá a má pouze jeden výstup. Na výstupu dokáže dávat až 22 kW, a tak pohodlně nabije kterýkoliv automobil v řádech hodin, například nejvýkonnější Teslu do 8 hodin. Zároveň se jedná o cenově nejdostupnější nabíječku, kterou lze pořídit kolem 26 000 Kč. [21, 23, 24]

Velmi elegantním zabudováním nabíječky do pouliční lampy je chytrý nápad od start-upové společnosti SM!GHT. Tato velmi odlišná a velmi futuristická nabíječka do budoucna počítá s plně elektrifikovanou dopravou a dobíjecí lampou pro dvě parkovací místa podél ulic. Nabíječka má výkon až 22 kW na jednom výstupu. Kromě funkce dobíjecí a osvětlovací slouží také jako pouliční kamera, veřejná Wi-Fi síť a SOS stanice pro případ nouze. Velkou nevýhodou je ovšem cena. Bez daně je k dodání za 250 000 Kč, přitom zvládne nabíjet jako poslední zmiňovaný wallbox od firmy Keba, který lze pořídit skoro za desetinu. Nicméně tento koncept by mohl být do budoucna velmi chytrým řešením, jak zlepšit infrastrukturu dobíjení a zároveň zlepšit bezpečnost na ulicích. [21, 25]

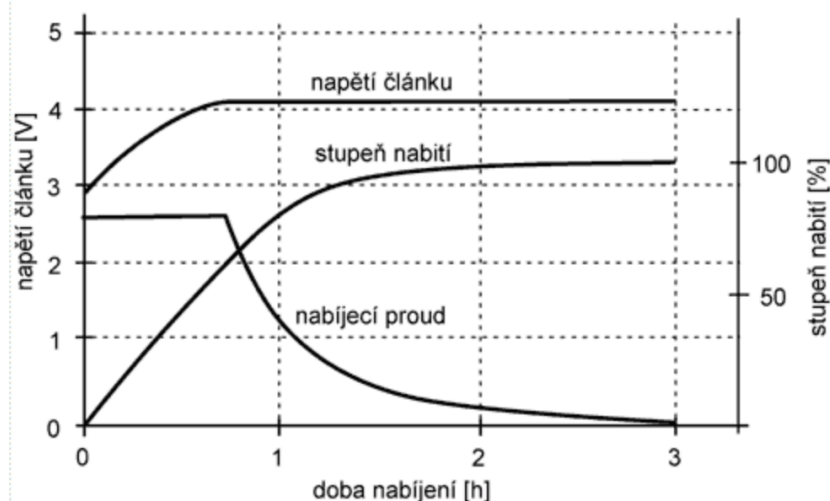
2.3.1 Shrnutí

Střídavé dobíjecí stanice sice nabízí při nejlepší stejné parametry jako průmyslové zásuvky, ovšem na veřejných místech se vyplatí jejich instalace především díky spravování účtu za elektřinu. Uživatel má možnost po nabití okamžitě zaplatit buď

pomocí karet k tomu určených daným provozovatelem, nebo pomocí kreditní karty. Stanice zároveň zablokuje kabel uvnitř vozu, dokud zákazník nezaplatí. Tuto výhodu u běžných zásuvek nemůžeme jednoduše zajistit. Další výhodou je přímá komunikace mezi palubním počítačem elektromobilu a nabíječkou. Auto samo dokáže s nabíječkou komunikovat a určit, jakým proudem má nabíjet například pro zajištění dobré životnosti baterie.

2.4 DC dobíjecí stanice

Nabíjení stejnosměrným proudem, takzvané „rychlónabíjení“ zprostředkovávají DC nabíjecí stanice. Takové stanice mají výkon alespoň 50 kW a jsou napájeny střídavým proudem. Každá DC stanice tedy obsahuje vestavěný usměrňovač, přes který prochází proud do elektromobilu. Po připojení dobíjecího kabelu k elektromobilu auto samo rozpozná, že je nabíjeno DC proudem a odpojí palubní nabíječku, která by jen brzdila nabíjení. Do baterie tak rovnou putuje proud usměrněný nabíjecí stanicí. Na rozdíl od střídavých stanic, u rychlonabíječek neprobíhá nabíjení rovnoměrně. DC stanice jsou schopné nabít baterii nejvýkonnějších elektromobilů na 80 % kapacity za 30 minut. Zbývající kapacita ovšem vyžaduje zhruba jednou tolik. Zároveň také záleží mnohem více na teplotě okolí a kondici baterie. U standardní 230 V zásuvky se při malých proudech tento fakt neprojeví tolik, jako u DC stanic. Kvůli nesymetrickému nabíjení se na delších cestách, kdy je potřeba nabít a pokračovat v jízdě, vyplatí dobít jen na 80 %, raději než čekat jednou tolik kvůli jedné pětině dojezdu. Na obrázku 11 můžeme vidět charakteristiku stupně nabití v závislosti na čase. Ta nám dokazuje, že do 80 % kapacity se baterie nabíjí s konstantní strmostí a ke konci se nabíjení postupně zpomaluje.



Obrázek 11 – Průběh napětí a proudu v závislosti na čase nabíjení, převzato z [30]

DC stanice jsou mnohem dražší a složitější na vybudování. Nejen že se jejich ceny pohybují kolem 600-800 tisíc, ale k těmto stanicím je již potřeba přivádět vysoké napětí. Pokud se navíc nějaká firma chystá stavět více těchto rychlonabíječek vedle sebe, pak se vyplatí investovat do nové trafostanice a být připojený přímo na hladinu vysokého napětí.



Obrázek 12 - ABB Terra 53 CJG, převzato z [27]

Vybudování stanice stojí okolo milionu korun, ale časem se zaplatí. Velmi nákladná položka je ovšem fixní složka platby za rezervovaný příkon. U nás typická stanice ABB Terra 53 má celkový výstupní výkon 93 kW. Většinu dne je však plně nevyužita, za rezervovaný výkon je ovšem nutné platit. U rychlonabíječek již má smysl uvádět účinnosti, neboť třeba 5 % ztraceného výkonu již není zanedbatelná hodnota výkonu. Nejmodernější nabíjecí systémy se s účinností pohybují v rozmezí 94-96 %. Výše zmíněná, nejpoužívanější stanice u nás, ABB Tera 53, má účinnost 94 %. Výkon 93 kW je rozdělen v případě varianty Terra 53 CJG na 3 výstupy. CCS combo výstup má výkon 50 kW (400 V a 125 A stejnosměrných). Výstup s CHAdeMO koncovkou má stejný výkon při stejných napěťových a proudových parametrech. Třetím výstupem je pak myšlena zásuvka na 43 kW střídavých při 400 V a 3x63 A. Nabíječka ovšem dokáže současně nabíjet pouze jedno auto stejnosměrně a jedno střídavě s plným výkonem. Proto postačí mít rezervovaný výkon na 93 kW a ne 143 kW. Pořizovací cena rychlonabíječek obecně se pohybuje kolem 700 000. Od poloviny roku 2018 začíná docházet k doplňování sítě o nové modely Terra 54. Nabíječka je to v podstatě stejná, jsou použity pouze novější materiály. Jediný velký rozdíl je ve variantě pro dobíjení elektroautobusů, kde maximální výstupní napětí je 920 V! To při proudu 125 A je výstupní výkon 115 kW! Nutno ovšem podotknout, že tato nejvýkonnější varianta je pouze pro baterie elektroautobusů o kapacitě přes 600 kWh. [19, 21, 27]

2.4.1 Shrnutí

Rychlonabíjecí DC stanice nachází uplatnění hlavně na strategických místech. Většinou se nachází podél velkých dopravních tahů, aby mohli elektromobilisté rychle dobít a pokračovat v další cestě. Důležitost těchto zařízení je právě v rychlosti, protože v dnešní uspěchané době nemá většina lidí čas čekat několik hodin na dobítí svého auta. Čas do 30 minut je již rozumná doba na zastavení, kterou lze na delší cestě akceptovat. Majitelé elektromobilů s touto skutečností musí počítat a delší cesty plánovat pečlivěji než řidiči automobilů se spalovacími motory. Pořizovací ceny nabíječek jsou vyšší, ale s rostoucím rozvojem je potřeba budovat lepší a rychlejší síť nabíjecích stanic.

2.5 Superchargery

Jako superchargery se označují nabíjecí stanice s výkonem od 100 kW. Nejnámější a nejvíce rozšířené superchargery jsou od firmy Tesla. Na území České republiky najdeme celkem 16. Šest stanic stojí již pár let na dálnici D1 u Humpolce. V letošním roce vyrostlo dalších 10 superchargerů u Vestce u Prahy, kde ČEZ vybudoval velké nabíjecí prostranství pro 25 aut. Tesla superchargery jsou však záležitostí pouze Tesly a žádné jiné elektromobily u nich nedobijete. Co se týče výkonu a rychlosti dobíjení baterií, zde jsou superchargery v běžném provozu bezkonkurenční. Teoretický maximální instalovaný výkon je neuvěřitelných 150 kW na jeden výstup. Tato hodnota je prozatím elektronicky omezena „jen“ na 125 kW z důvodu neúplné připravenosti baterií na takový výkon. Na 80 % kapacity tedy umí dobít 100 kWh baterii za 40 minut a dodat jí tak energii na dojezd téměř 400 km. Tesla bohužel nikde veřejně neuvádí detailní specifikace. Pořizovací cena jednoho stanice odhaduji na 1 100 000 – 1 200 000 korun (dvojnásobný výkon za dvojnásobné peníze). V případě budování superchargerů se vždy počítá i s vybudováním trafostanice s připojením na vysoké napětí, a vyplatí se tudíž instalovat stanic více k jedné trafostanici. [19, 21]



Obrázek 13 – Tesla Supercharger u Vestce, převzato z [28]

2.6 Budoucnost nabíjení

V předchozích kapitolách jsem se zaměřil na současné nabíjecí stanice. Za velmi zajímavý považuji také pohled do budoucna. S globálním přechodem na elektrická auta poháněná akumulátory bude kladen stále větší důraz na dojezd, tedy kapacitu baterií. S rostoucí kapacitou baterií by současné nabíječky dělaly nabíjení pomalejší, a proto bude potřeba najít nové inovativní způsoby nabíjení, popřípadě vylepšit systémy stávající. K zajištění rychlého nabíjení u baterií s velkou kapacitou mohou pomoci ultra výkonné nabíjecí stanice nebo nabíjení baterií během provozu.

2.6.1 Ultra rychlé nabíjecí systémy

Ultra rychlé nabíjecí systémy jsou momentálně ve fázi vývoje a testování. Jejich důležitost ukáže čas, který bude potřeba strávit na nabití nových velkokapacitních baterií. Pro baterie s enormní kapacitou přesahující 200 kWh, které by v současnosti stačily na dojezd srovnatelný s dojezdem automobilů se spalovacím motorem, budou několika set kilowattové nabíječky klíčovým faktorem pro jejich rozvoj. Již dnes firma ABB testuje v provozu stanici ABB Terra High Power, která disponuje výkonem 350 kW. Přenos takovýchto výkonů je velmi náročný na oteplení kabelů při vedení a na baterie samotné. Z tohoto důvodu se využívá aktivního chlazení všech silově namáhaných komponentů. [18]

Velké výkony nabíječek však mohou znamenat i potíže pro síť. Pokud se při globálním používání takto výkonných systémů bude stávat, že všichni uživatelé budou nabíjet ve stejný čas, a ke všemu ve špičce, pak bude síť přetížená. Jako řešení se nabízí využití baterií pro každou nabíječku, které by se nabíjely ze sítě mimo špičku, a pomáhaly by tak vyrovnávat výkyvy sítě. Naopak při špičce by dodávaly energii potřebnou pro elektromobily bez zvyšování zátěže sítě. Řízení dodávání nebo odběru ze sítě by mohli řídit přímo operátoři pomocí využití Vehicle to Grid.

2.6.2 Indukční nabíjení

Bezdrátové nabíjení již není věc pouze budoucnosti. Německé automobilky BMW a Mercedes do svých elektromobilů a hybridů již dávají nabíjecí systém, který je připraven pro indukční nabíjení. Obě firmy používají indukci pro nabíjení automobilu v garážích, kdy elektromobil najede nad indukční desku a zahájí se dobíjení.

Na různých místech na světě se ovšem začíná testovat indukční nabíjení, které je zabudováno v silnici (tzv. dynamické indukční nabíjení). Například Švédsko či Velká Británie dokonce vypisují dotační programy na vybudování zkušebních úseků, které později chtějí převést do praxe. Princip indukčního nabíjení spočívá v proudem protékané primární cívce, která vytváří magnetický tok na straně „nabíječky“. Pomocí magnetického pole se v sekundární cívce indukuje napětí a cívku tak protéká proud. Ten dobíjí baterie elektromobilu přes nabíjecí přijímač (receiver) na podvozku automobilu. Nabíječka dokáže dodávat až 20 kW do rychlosti 100 km/h. Celý tento systém je velmi pohodlný a rozhodně praktický, ovšem hlavním problémem budou finance. Přebudování současných silnic na nabíjecí nevidím jako reálné v horizontu 20 let. Pokud by se ovšem povedlo elektrifikovat všechny silnice, baterie by nemusely mít tak enormní kapacity. Energie ze silnice by byla hnána rovnou do motoru a elektromobil by tak měl malou baterii pouze na přejetí úseků bez vestavěného bezdrátového nabíjení. [29] Obrázek 14 ukazuje 100 metrů dlouhou testovací silnici ve Francii vybudovanou na technologii firmy Qualcomm.



Obrázek 14 – Dynamické indukční nabíjení (převzato z [29])

2.6.3 Výměna elektrolytu

Jak již bylo v textu zmíněno, výměna elektrolytu je jednou z dalších možností nabíjení baterií právě ve vývoji. Odčerpání vybitého elektrolytu a výměna za nabitý, to je proces výměny náplně baterií. Tento způsob se zatím jeví jako jediný, který je rychlostí dodání energie konkurenceschopný fosilním palivům. Výhodou této technologie by mohlo být použití současných nabíjecích stanic. Ty by se přizpůsobily pro výměnu elektrolytu a mohly by jako objekty fungovat dále.

2.6.4 Shrnutí

Kvůli rostoucím tlakům evropské unie na snižování emisí je a bude trendem vyšší elektrifikace automobilů. Jejich vývoj tak musí jít kupředu, hlavně co se týče dojezdu – tedy kapacity baterií. Proto je důležité vyvíjet nové, účinnější a výkonnější nabíjecí systémy. V současné době máme několik alternativ, které je potřeba zdokonalit a následně jejich výrobu zlevnit na minimum, aby se dala hromadně využít. Budoucnost ale nebude pouze o nových nabíječkách, ale také o vyřazovaných bateriích, které se přestávají používat s kapacitou kolem 70 % a budou tak moct posloužit ještě pro vestavění k nabíjecím stanicím a vyrovnávání zatížení sítě. To bude řízeno operátory přes chytré systémy nabíjecích stanic za použití technologie Vehicle to Grid.

3 Infrastruktura nabíjecích stanic

V této kapitole se zaměřím na životně důležitou část celého principu elektromobility, tedy na infrastrukturu dobíjecích stanic. V posledních letech se nacházíme v době rozvoje elektromobility, a proto je zprvu potřeba stavět nabíjecí stanice na strategicky důležitých místech. Před samotnou výstavbou je výhodné rozhodnout, za jakým účelem chceme stanici vybudovat a kolik prostředků vynaložit. Například ve velkých městech je pravděpodobněji vyšší výskyt elektromobilů. Lidé ve městech elektromobily nejčastěji využívají jako dopravní prostředek k dojíždění za prací. Během pracovní doby člověk soukromý automobil většinou nepotřebuje, tudíž tento čas několika hodin může využít pro dobítí svého elektromobilu. Pro toto využití je vhodné použít pomalejší AC nabíjecí wallboxy.

Druhým příkladem je jízda na delší vzdálenosti. Jak již víme, nevýhodou elektromobilů je dojezd, tudíž strategická místa jsou i dálnice a hlavní dopravní tahy. Bez rozumného pokrytí delších vzdáleností majitelé elektroaut nikdy na delší cestu nevyrazí. Pokud se povede dostatečně zahustit infrastrukturu, pak tato nutnost plánování cesty odpadne a užívání elektromobilu se stane komfortnější a praktičtější. Důležité je také zmínit, že na hlavních silničních tazích je potřebné mít DC rychlonabíjecí stanice, protože nikdo nechce při dlouhé cestě trávit čas čekáním několik hodin, aby mohl ujet vzdálenost k další stanici. Jak již bylo řečeno ve druhé kapitole, DC nabíječky dodají energii pro 80 % kapacity baterie do půl hodiny, pak je efektivní jet dál a nečekat jednou tolik pro nabití zbylých 20 %. Naopak pomalé střídavé dobíjecí stanice nacházejí nejčastěji využití v parkovacích domech a obchodních centrech, kde člověk potřebuje strávit víc času a automobil jen stojí, tím pádem má víc času pro dobítí baterií.

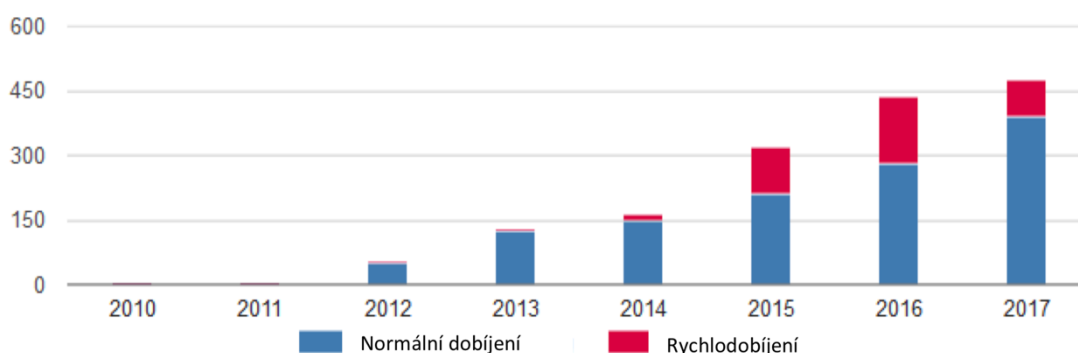
V této části svojí práce se podívám na současný stav infrastruktury nabíjecích stanic v České republice. Následně se zaměřím na podporu výstavby nabíjecích stanic ve formě dotačních programů.

3.1 Současný stav infrastruktury

Současnou infrastrukturu dobíjecích stanic můžeme klasifikovat podle stanic veřejných a neveřejných. Jako soukromé stanice se označují nabíječky, které nejsou veřejně dostupné a nelze na nich elektřinu prodávat. Mezi soukromé stanice řadíme hlavně wallboxy, které lidé používají doma u parkovacího místa a ze své domácí přípojky nabíjí elektromobil či plug-in hybrid nebo firemní nabíječky pro zaměstnance. Neveřejné dobíjecí stanice jsou většinou pomalé (slouží pro dobíjení přes noc) s výkony od 3-11 kW, dle instalované přípojky. Soukromá dobíjecí infrastruktura tvoří hlavní složku nabíjení elektromobilů.

Druhou kategorií jsou veřejná nabíjecí místa. Do této skupiny spadají zařízení, která umožňují komukoliv ke stanici přijet, nabít baterii a zaplatit. Pro tyto účely musí být

uživatel vybaven tzv. RFID kartou, pomocí které se prokáže, a z jeho účtu se odečtou finance, popřípadě kreditní kartou pro okamžité zaplacení. V parkovacích domech a nákupních centrech se nejčastěji využívá střídavých nabíjecích stanic s výkony od 11 do 22 kW. V blízkosti velkých silničních tahů, popřípadě ve velkých městech jsou používány zařízení stejnosměrná s výkony přes 22 kW. Ministerstvo životního prostředí ve svém osvětovém materiálu o elektromobilitě uvádí, že ke konci roku 2017 bylo na území České republiky funkčních přes 450 dobíjecích stanic (AC i DC). [31] Na obrázku 15 můžeme vidět vývoj počtu dobíjecích stanic od roku 2012 do roku 2017.



Obrázek 15 - Počet veřejných dobíjecích stanic v ČR, převzato z [31]

Důležité je, že vidíme prudký nárůst instalace rychlých stejnosměrných stanic. Odhaduje se, že do roku 2025 počet dobíjecích stanic vzroste na 1200. [31] Z toho 700 stejnosměrných a 500 střídavých. Dle odborníků, současný stav infrastruktury, tj. cca 450 nabíjecích stanic, stále není dostatečný pro bezstarostné cestování. Oproti tomu trojnásobek stanic je viděn již jako dostatečně komfortní. [31,19]

Současný stav infrastruktury je tedy dostačující pro pořízení elektromobilu, pokud cesty rádi plánujeme. Zcela dostatečným se stane v momentě, kdy nutnost plánování odpadne s rozvojem patřičně husté sítě dobíjecích stanic.

3.1.1 Čerpací stanice

Každá nabíjecí stanice k sobě potřebuje příslušnou dopravní infrastrukturu, parkovací místa, popřípadě veřejný prostor, kde může uživatel nabíječky strávit čas při dobíjení. Budování takovéto infrastruktury speciálně pro účely nabíjení by bylo velmi nákladné a neekologické. Ve městech není problém umístit nabíječku na veřejné parkoviště, do nákupního centra a podobně. Podél dopravních tepen ovšem takovouto síť parkovišť nalézt nemůžeme, jediným řešením tak mohou být čerpací stanice. Jedná se o pravidelně rozmístěná, velmi dobře elektrifikovaná místa s dostatečnou parkovací kapacitou pro nabíjení automobilů.

V České republice je podle Ministerstva průmyslu a obchodu k 11. 2. 2019 zhruba 4 000 veřejných čerpacích stanic, což je 8x více než nabíjecích stanic. Dalších cca 3 000 jich je

neveřejných (například pro velké dopravce a autobusové společnosti). [34] V případě alespoň částečné elektrifikace autobusů a nákladních automobilů tak mohou být i tyto struktury pohodlně vybaveny místy pro dobíjení přímo na svých odstavných plochách u soukromých čerpacích stanic.

Za postupného docházení ropy tedy do budoucna vyplývá potřeba snižování počtu čerpacích stanic. Tyto výstavby se však nebudou muset zcela rušit, jejich infrastruktura může zůstat zachována pro použití nabíjecích stanic, což považuji za rozumné, ekonomicky výhodné a ekologické řešení.

3.2 Dotační programy

V kapitole 3.1. jsem zmínil odhad, že do roku 2025 počet dobíjecích stanic vzroste nad 1200. Toho bude docíleno zejména díky podpoře alternativních paliv, elektřiny a elektromobility celkově. Lidé nebudou motivováni k pořízení elektromobilu, pokud ho nebudou mít kde dobíjet. Naopak firmy nebudou budovat dobíjecí stanice, pokud nebudou mít jistotu upotřebení jejich zařízení, tedy potencionálního zisku. Ovšem jak jsem již vysvětlil v úvodu svojí práce, alespoň částečný přechod na elektromobilitu je nevyhnutelný. Cestu ven z tohoto začarovaného kruhu nabízí právě dotační programy EU a České republiky.

Důležitost budování hustší infrastruktury a celkové podpory rozvoje elektromobility si uvědomuje i Ministerstvo průmyslu a obchodu, které od roku 2015 pravidelně každé 3 roky bude vydávat Národní akční plán čisté mobility. Ten se zabývá mimo jiné také elektromobilitou, rozvojem infrastruktury nabíjecích stanic a dotováním této problematiky. NAP CM vychází ze směrnice 2014/94/EU Evropské unie, která cílí právě na rozvoj příslušných dobíjecích a plnicích stanic. Výhled NAP CM je do roku 2030, do kterého si dává za cíl, aby elektromobilita byla vnímána jako standardní technologie v dopravě. [32] Za účelem naplnění tohoto strategického cíle, tedy usnadnění výstavby dobíjecí infrastruktury, NAP CM navrhuje následující opatření:

- Investiční podpora budování veřejné dobíjecí infrastruktury
- Investiční podpora budování dobíjecí infrastruktury pro MHD (neveřejné)
- Investiční podpora pro budování firemní dobíjecí infrastruktury (neveřejné)
- Jednotná metodika při procesu schvalování výstavby infrastruktury nabíjecích stanic
- Zvýšení odpisů v 1. roce odpisování pro dobíjecí infrastrukturu
- Povinné kvóty pro developery na konektivitu dobíjecí infrastruktury

3.2.1 Operační program Doprava

Tento program je zaměřen na podporu infrastruktury pro alternativní paliva, přičemž já se zaměřuji opět na elektřinu, tedy dobíjecí stanice pro elektromobily. Řídícím orgánem této výzvy je Ministerstvo dopravy, jehož investiční prioritou je rozvoj nízkouhlíkových

dopravních systémů. V současné době běží výzva Operačního programu Doprava II, která byla plánována na roky 2014-2020. Alokace prostředků pro tuto výzvu je 130 000 000 Kč z Fondu soudržnosti Evropské unie, přičemž dotace je vyplacena ex-post, tedy po ukončení výstavby a zprovoznění nabíječky. Dotační program doprava žadatelům proplácí až 70 % nákladů na výstavbu. Žadající subjekt však musí stavbu své nabíjecí stanice dokončit a stanici zprovoznit do 30 měsíců od podání žádosti o dotaci. Výzev Operačního programu Doprava mohou využít nejen všechny subjekty, které již v tomto sektoru podnikají, ale také nové firmy. V minulosti již na dotaci dosáhlo několik firem, které se již dále nesmí o další dotace ucházet. [32, 33]

3.2.2 Shrnutí

Elektromobilitu je v současné době potřeba dotovat, aby se rozběhla. Toho lze dosáhnout pouze atraktivními dotacemi pro lidi kupující nový elektromobil či hybrid. Motivací pro firmy pro budování hustší infrastruktury jsou dotace na nabíjecí stanice. Výše těchto dotací dosahuje až 70 %, což v případě rychlonabíjecí stanice ušetří statisíce korun.

4 Porovnání technicko – ekonomických parametrů

Čtvrtá kapitola se věnuje porovnání technických a ekonomických parametrů nabíjecích stanic při reálném provozu. Analýza bude provedena na modelovém příkladu na základě dat získaných od společností ČEZ a PRE. Hlavním parametrem, podle kterého budu nabíječky porovnávat, jsou náklady na jednu dodanou kWh, potažmo na jedno nabití. Konkrétně porovnáím malý wallbox o výkonu 22 kW s velkou komerční rychlonabíječkou o výkonu 50 kW. Pro DC nabíječku bude dále provedena analýza nákladů na elektřinu z hlediska druhu napěťové hladiny, na kterou je připojena.

První část této kapitoly obsahuje teoretický úvod, ve kterém budou vysvětlena kritéria, pomocí kterých nabíjecí stanice porovnáím. Dále budou zavedeny teoretické předpoklady, z nichž vycházím v praktických výpočtech.

Ve druhé podkapitole se zabývám ekonomickým zhodnocením střídavé nabíjecí stanice. Kromě nákladů na pořízení a zprovoznění stanice budu brát také v úvahu náklady spojené s dodávkou elektřiny od distributora.

Ve třetí části provedu analýzu obdobnou výše zmíněné, tentokrát pro stejnosměrnou nabíjecí stanici. V tomto případě je nutné rozlišovat mezi připojením stanice do sítě nízkého a vysokého napětí, a to kvůli odlišným nákladům.

V závěru této kapitoly porovnáím AC a DC stanice mezi sebou pomocí mnou vypočítaných hodnot. Dále bude provedena diskuze o konkurenceschopnosti elektromobilů vůči konvenčnímu benzínovému automobilu.

4.1 Teoretický úvod

V následujícím textu budou vysvětleny klíčové pojmy a ukazatele, podle nichž hodnotím pořízení a provoz nabíjecí stanice v této práci. Nejprve se zaměřím na rozdělení nákladů na jednotlivé typy. Poté položím teoretický základ pro výpočet roční ekvivalentní hodnoty nákladů. Ve druhé části zadefinuji počáteční vstupy a teoretické předpoklady použité pro výpočet.

4.1.1 Roční ekvivalentní hodnota nákladů

Tato část práce se zabývá analýzou druhů nákladů v souvislosti s nabíjecími stanicemi. Jako náklad označujeme spotřebu práce nebo prostředků v peněžním vyjádření. Náklady tedy reprezentují určitý tok peněz nebo majetku do podniku, který se firma snaží přetvářet ve výrobky nebo služby za účelem zisku. Zisk je definován jako rozdíl mezi výnosy, tedy tím, co společnost utrží, a náklady. Na mém modelovém příkladu by tedy k zisku došlo, pokud by byla cena za dodanou 1 kWh vyšší, než náklad na výrobu této 1 kWh. Celkové náklady na výrobu 1 kWh můžeme rozdělit do několika skupin, a sice na investiční, provozní a jednorázové.

Investiční náklady reprezentují výdaj nutný k pořízení nějakého majetku. Jako majetek označují nabíjecí stanice a například pozemek, na kterém bude stanice provozována. Tím se dostávám ke druhému typu – provozním nákladům.

Provozní náklady jsou výdaje nezbytně nutné k provozu stanice jako takové. Mezi tyto náklady patří náklady na údržbu a opravu nebo náklady za elektřinu. U těchto nákladů ještě rozlišujeme jednorázové, fixní (stálé) a variabilní (proměnné) náklady. Fixní náklady jsou nezávislé na spotřebě, variabilní náklady se mění se spotřebou. [35]

Všechny tyto náklady budou vždy uvedeny v tabulce pro každý výpočet celkové roční ekvivalentní hodnoty nákladů – RCF. Aby bylo možné určit roční ekvivalentní hodnotu nákladů, je nutné rozpočítat investice do jednotlivých let pomocí anuity. Přenásobením čisté současné hodnoty investice anuitou dojde k rovnoměrnému rozdělení diskontovaných peněžních toků do jednotlivých let.

Anuitní faktor závisí na diskontní sazbě neboli alternativním nákladu kapitálu a na době životnosti. Hodnota diskontu vychází z teorie ušlé příležitosti, tzv. opportunity cost. Pokud bychom za peníze nekoupili nabíječku, ale investovali po dobu životnosti, mohli bychom vydělat určité procento peněz na úroku. Diskont tedy reprezentuje časovou hodnotu peněz a riziko, se kterým investujeme. RCF tedy spočítáme jako:

$$RCF = NPV \cdot a = NPV \cdot \frac{(1+r)^{T_z} \cdot r}{(1+r)^{T_z} - 1}, \quad (2)$$

kde:

a ... anuita

NPV ... čistá současná hodnota investice

r ... diskont

T_z ... doba životnosti

Metodu hodnoty ročních ekvivalentních nákladů volím kvůli odlišné době životnosti prvků projektu výstavby nabíjecí stanice. Abychom v rovnici viděli všechny druhy nákladů, je potřeba si uvědomit, co vlastně NPV je. Čistá současná hodnota je suma diskontovaných cashflow (v mém případě vždy nákladové – nepočítám se ziskem).

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_z} \frac{CF}{(1+r)^{T_z}} = N_i + \sum_{t=0}^{T_z} \frac{N_{o,u} + N_{fix} + N_{var}(Q)}{(1+r)^{T_z}}, \quad (3)$$

kde:

CF ... Nákladové cashflow

N_i ... investiční náklady v roce nula

$N_{o,u}$... náklady na údržbu a opravu

N_{fix} ... fixní náklady

$N_{var}(Q)$... variabilní náklady závislé na množství Q

Upravenou rovnicí NPV nyní dosadíme pro rovnici RCF. Po přenásobení anuitou z rovnice odstraníme sumu a jmenovatel, neboť tento výraz je převrácenou hodnotou anuity. Výsledná rovnice pro RCF bude následující:

$$RCF = N_i \cdot a + N_{o,u} + N_{fix} + N_{var}(Q), \quad (4)$$

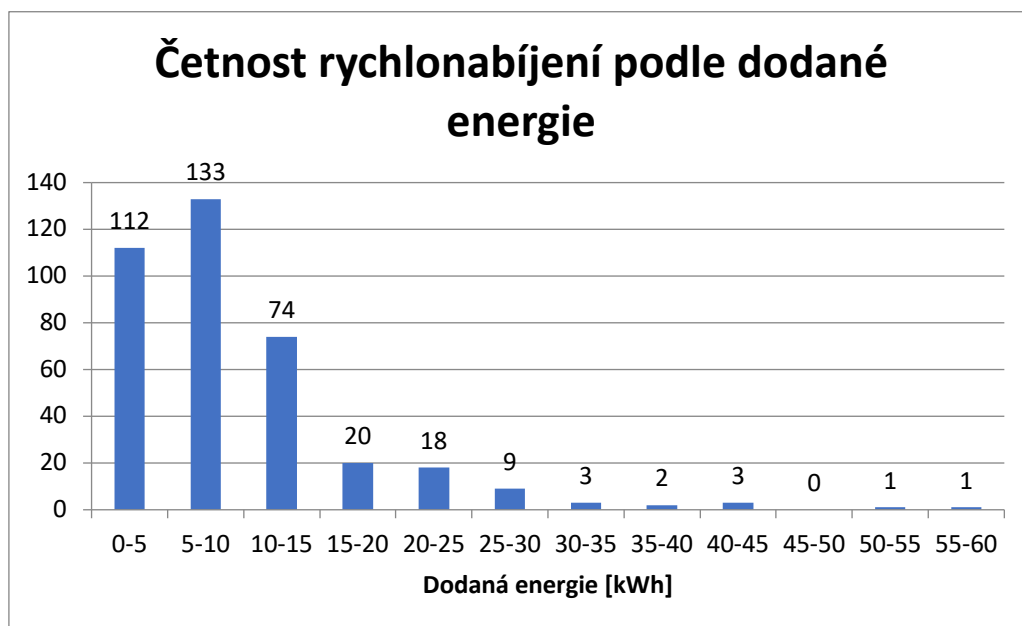
Nutné je také podotknout, že investici hodnotím jako projekt, nikoliv z pohledu investora. Nemusím tedy řešit, jak by byl projekt financován, kde seženu peníze na projekt atd. Ve výpočtech také zanedbávám všechny druhy daní (např. daň z příjmu), protože můj projekt může být realizován za různých daňových podmínek.

4.1.2 Zavedené předpoklady

V této části zavedu předpoklady pro své výpočty. Abych ukázal cenový rozdíl mezi AC a DC nabíječkami, vybral jsem si pro svůj model DC nabíječku, která disponuje pouze jedním 50 kW nabíjecím kanálem. Toto zjednodušení jsem provedl z důvodu toho, že pokud by měla ještě AC linku na nabíjení, poté by do mých výpočtů vstupovalo příliš mnoho proměnných. Musel bych také odhadovat, kolik energie se dodá jakým způsobem, což by přineslo spousty nepřesností.

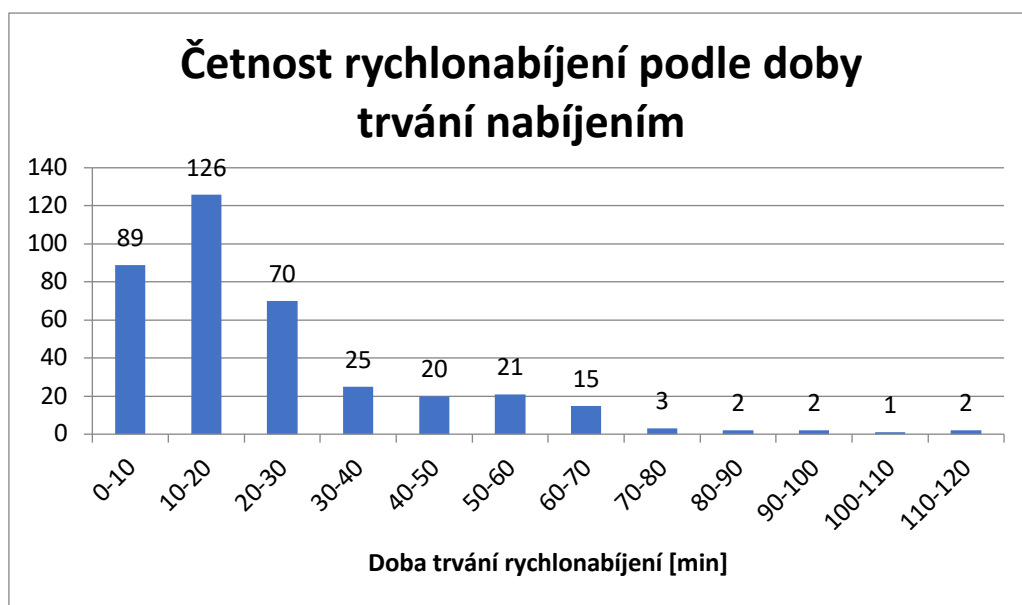
Abych mohl spočítat anuitu, musím odhadnout diskontní míru. Ta je dána oportunitním nákladem kapitálu, inflací a rizikovostí investice [36]. Jelikož je elektromobilita v počátcích a na nabíjecích stanicích se v současnosti vydělat nedá, rizikovost investice nepovažuji za důležitý faktor pro výpočet diskontu. Pokud se některá z domácích rozhodne pro wallbox, nebudou elektřinu prodávat, tudíž neočekávají žádný zisk. Pokud se rozhodne nějaká společnost investovat do rychlonabíječky, vždy se o to pokusí s velkou dotací a vědomím, že v současné době nemohou v podstatě z provozu nic vydělat. Hodnota inflace se podle Českého statistického úřadu pohybuje kolem 2,1 % pro rok 2018 a ČNB se dlouhodobě bude snažit udržet hodnotu kolem 2 %. [37] Opportunity cost investovaného kapitálu určím na cca 3 %. Pro svůj model tedy počítám s diskontní sazbou 5 %. Pro srovnání, míra výnosnosti kapitálu v regulované distribuci a přenosu elektroenergetiky se určuje na základě WACC (Weighted Average Cost of Capital - Vážený průměr nákladů kapitálu), které ERÚ určil pro toto období na hodnotu 6,44 %. [46] Tato hodnota se od mé liší pouze nepatrně, proto lze říci, že můj odhad byl dostatečně přesný. Jelikož na diskontu záleží jednotlivé výpočty RCF, vždy udělám citlivostní analýzu na diskont.

Své výpočty budu provádět v přepočtu ceny na jednu kWh. Každý si ale lépe dovede představit jedno nabití elektromobilu, a tak pro tyto účely budu uvádět, že jedno nabití elektromobilu je do cca 20 kWh. Toto tvrzení opírám a data naměřená společností PRE a.s. na jejich nabíjecí stanici v pražských Holešovicích [21].



Obrázek 16 - Sloupcový graf v závislosti počtu nabití na dodané energii [21]

Nabíječka o výkonu 50 kW dokáže 20 kWh dodat do půl hodiny, tedy lze předpokládat, že teoretické maximum je obsloužit za den 48 zákazníků.



Obrázek 17 – Sloupcový graf v závislosti počtu nabití na době trvání nabíjení

Reálně naměřená data také potvrzují, že nejvíce zákazníků nabíjí mezi deseti a dvaceti minutami, naprostá většina pak do půl hodiny.

Cenu elektřiny budu počítat s tarify pro elektromobilitu od dodavatele ČEZ. U AC nabíječky se jedná o tarif D27d, u DC nabíječky o tarif C27d při připojení do sítě NN, který je obdobou D27d, pouze se vztahuje na podnikatele. Můj předpoklad je takový, že

stejnou dobíjecí stanicí si pořídí pouze firma, protože obyčejný člověk s jedním elektromobilem takovou stanicí nevyužije a bude pro něj ekonomicky velmi nevýhodná.

4.2 Modelový příklad AC nabíjecí stanice

V této kapitole se zaměřím na výpočet, kolik bude stát obyčejného člověka s elektromobilem 1 kWh, pokud si pořídí malou AC nabíječku v podobě wallboxu domů. V první části určím parametry nabíjecí stanice, hodnoty všech potřebných investic a spočítám náklady na elektřinu pro předpokládanou denní spotřebu elektromobilu.

Ve druhé části uvedu výsledné hodnoty a provedu jejich diskuzi. Na základě diskuze následně provedu citlivostní analýzy na parametry, které mohou být klíčové pro tuto úlohu.

4.2.1 Složky investice do AC wallboxu

Abychom mohli přikročit k samotným výpočtům, musíme definovat parametry nabíjecí a počáteční podmínky pro modelový příklad. Jako fyzická osoba budu instalovat AC nabíjecí stanici o výkonu 22 kW s pořizovací cenou 40 000 Kč. Pro stanici budu zřizovat samostatné odběrné místo. Výkon 22 kW si žádá třífázové připojení na 400 V a 32 A. V případě zřizování nové třífázové přípojky platím 500 Kč za ampér. Za připojení tedy zaplatím 16 000 Kč. Druhou možností je zvednutí příkonu současné přípojky. Tím bych ušetřil na připojovacím poplatku. Následkem tohoto rozhodnutí by byla nutnost být obezřetný v době, kdy připojím auto do nabíječky, aby současně nebyl prováděn další velký odběr (vaření, praní, atd.). Pro jednoduchost jsem přistoupil k první zmíněné variantě, tedy nové přípojce.

Jak název „wallbox“ napovídá, musí být umístěn na zeď vedle parkovacího místa elektromobilu. Je nutné tedy vynaložit náklady na zpevnění zdi a přizpůsobení parkovacího místa pro pohodlné fungování. Tyto náklady jsem ocenil na 10 000 Kč. Další důležitou složkou nákladů jsou náklady na údržbu a opravu (například přejetý kabel může být problémem). Ty jsem vyčíslil na 2 000 Kč za rok.

Všechny náklady rozpočítané na jeden rok zobrazuje následující Tabulka 1:

Tabulka 1 - Náklady domácího AC wallboxu

Položka	Cena	Životnost	Roční částka
AC Stanice	40 000	10	5 180,18 Kč
Development lokality	10 000	10	1 295,05 Kč
Připojení	16 000	40	932,45 Kč
Náklady na údržbu			2 000,00 Kč
		Celkem za rok:	9 407,68 Kč

Příklad výpočtu:

$$RCF_{ACstanice} = N_i \cdot \frac{(1+r)^{T_z \cdot r}}{(1+r)^{T_z - 1}} = 40\,000 \cdot \frac{(1+0,05)^{10 \cdot 0,05}}{(1+0,05)^{10-1}} = 5\,180,18 \text{ Kč} \quad (5)$$

4.2.2 Náklady na elektřinu

Při výpočtu ceny elektřiny vycházím z předpokladu, že uživatel přípojky je fyzická osoba, která vlastní elektromobil. Tarify pro domácnosti nesou zpravidla označení s počátečním písmenem D. Tarify pro podnikatele pak začínají písmenem C. Díky předpokladům, že připojení je pro fyzickou osobu s elektroautem, mohu počítat s výhodnějšími cenami v tarifu D27d uzpůsobenému právě pro elektromobilitu. Tento tarif je specifický svým velmi výhodným nízkým tarifem po dobu večerních a nočních 8 hodin. Distributor (v mém případě ČEZ) určuje, kterých 8 hodin v době přes noc od 18:00 do 8:00. Tento čas je pro mě logický ze dvou důvodů. Dává smysl, že lidé budou nabíjet elektromobil po návratu z práce, když nejsou celý den doma, tudíž jim tento čas vyhovuje. Na druhou stranu pro celou elektrickou síť je velmi výhodné, když se bude odebírat větší množství energie v dobu mimo špičky, aby případně nemuselo docházet k odstávce uhelných, či dokonce jaderných elektráren (ty jsou mnohem hůř regulovatelné, než například vodní).

Cena elektřiny se skládá z regulované a neregulované složky elektřiny. Regulovaná složka je určována Energetickým regulačním úřadem a spadá do ní cena za silovou elektřinu ve vysokém a nízkém tarifu a cena za příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem. Neregulovanou složku určuje distributor energie. Dále položky tarifů můžeme rozdělit na fixní a variabilní poplatky. U tarifů nízkého napětí platí, že fixní poplatky jsou malé, variabilní naopak velké. Mezi fixní poplatky patří poplatek za činnost operátora trhu s elektřinou OTE, platba za rezervovaný příkon dle hodnoty jističe, stálá platba za dodávku elektřiny a od jisté spotřeby i poplatek na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů POZE. Tato spotřeba bude později spočítána a promítnuta do grafu. [45]

Variabilní náklady jsou větší složkou za platbu za elektřinu. Patří mezi ně platba za elektřinu odebranou ve vysokém a nízkém tarifu. Nazývají se variabilní, jelikož záleží na odebraném množství elektřiny. Zde zavádím další předpoklad a sice, že průměrný elektromobil na 100 km spotřebuje 20 kWh energie. Běžný uživatel elektromobilu za práci dojíždí například do Prahy z nějakého satelitu kolem a za den ujede průměrně právě 100 km. Každý den tak vzniká teoretická potřeba dobít 20 kWh energie. Ne vždy uživateli vyjde, aby elektromobil nabíjel v nízkém tarifu, a tak 25 % odebrané energie je i v tarifu vysokém. Za rok tedy odebere 20 kWh krát 365 dní, tedy 7,3 MWh. Výpočet celkové ceny elektřiny je nastíněn v tabulce 2:

Tabulka 2 - Výpočet ceny elektřiny pro AC Wallbox

Tarif D27d		
Položka	Jednotková cena	Celková roční cena
Vysoký tarif	3901,61 Kč/MWh	7 120,44 Kč
Nízký tarif	1370,58 Kč/MWh	7 503,93 Kč
Měsíční poplatky	300,00 Kč	3 600,00 Kč
Nižší podle spotřeby nebo jističe - POZE	16,41 Kč/A/počet fází	18 904,32 Kč
	598,95 Kč/MWh	4 372,34 Kč
Celková cena za energii		22 596,70 Kč
Cena 1 kWh		3,10 Kč

Položka „Vysoký tarif“ v sobě skrývá cenu za dodávku a distribuci elektřiny ve vysokém tarifu, daň z elektřiny a poplatek za systémové služby. Pod pojmem „Nízký tarif“ jsem schoval cenu za dodávku a distribuci elektřiny v nízkém tarifu, daň z elektřiny a poplatek za systémové služby. Měsíční poplatky reprezentují pravidelně vynaložené platby za rezervovaný příkon a platbu za OTE. Poslední položka POZE určuje platbu za obnovitelné zdroje energie.

Celkový náklad na energii při spotřebě 7,3 MWh za rok vychází 22 596,7 Kč [38]. Nyní stačí k této roční částce připočíst roční částku nákladového cashflow (tj. sečíst dvě zelená políčka z tabulek 1 a 2) a celkovou sumu vydělit celkovou roční spotřebou. Vyjdou nám tak celkové náklady na 1 kWh:

$$RCF_{Celkové} = N_{icelkové} + N_{elektřina} = 9\,407,68 + 22\,596,7 = 32\,004,38 \text{ Kč} \quad (7)$$

$$N_{1kWh} = \frac{N_{icelkové} + N_{elektřina}}{E_{spotřeb}} = \frac{9\,407,68 + 22\,596,7}{7300} = 4,38 \text{ Kč}, \quad (8)$$

kde:

$RCF_{Celkové}$... celkové náklady při běžném provozu nabíjecí stanice na 1 rok

$N_{icelkové}$... celkové investiční náklady

$N_{elektřina}$... celkové náklady na elektřinu

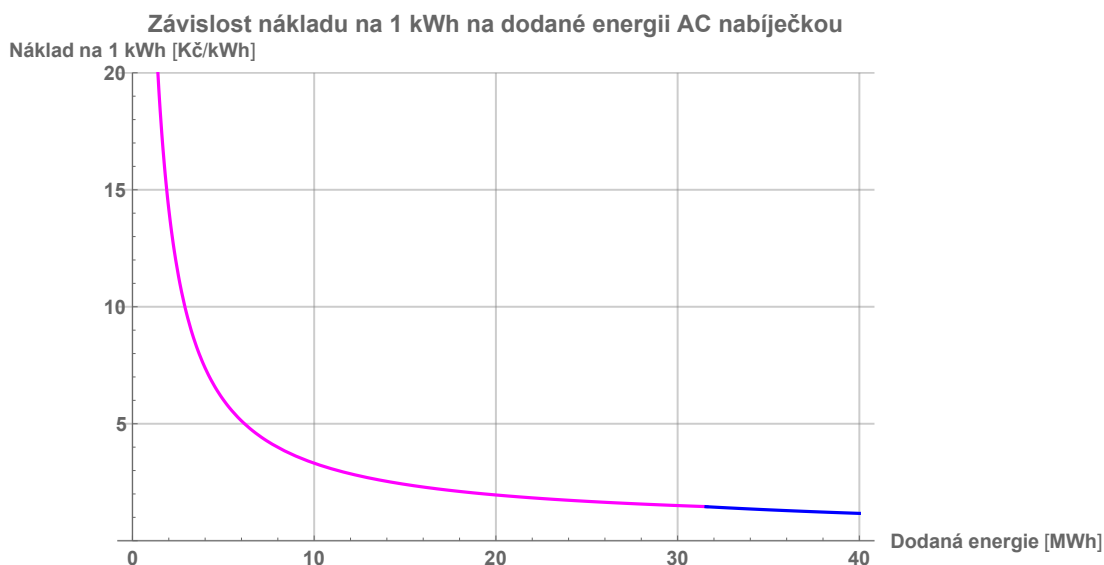
$E_{spotřeb}$... celková spotřebovaná energie

Celková cena 1 kWh je tedy 4,38 Kč při průměrné denní spotřebě 20 kWh. Jedno nabití tedy vyjde na 87,6 Kč. Zároveň tedy uživatel automobilu na elektrický pohon jezdí za 0,876 Kč/km, což je velmi dobrá cena, jak bude později ukázáno v kapitole konkurenceschopnosti elektromobilů.

4.2.3 Citlivostní analýza

V této kapitole vysvětlím důležitost použití citlivostní analýzy. V mých výpočtech některá vstupní data odhaduji. I když se jedná o odhady podpořené reálnými daty, potřebuji

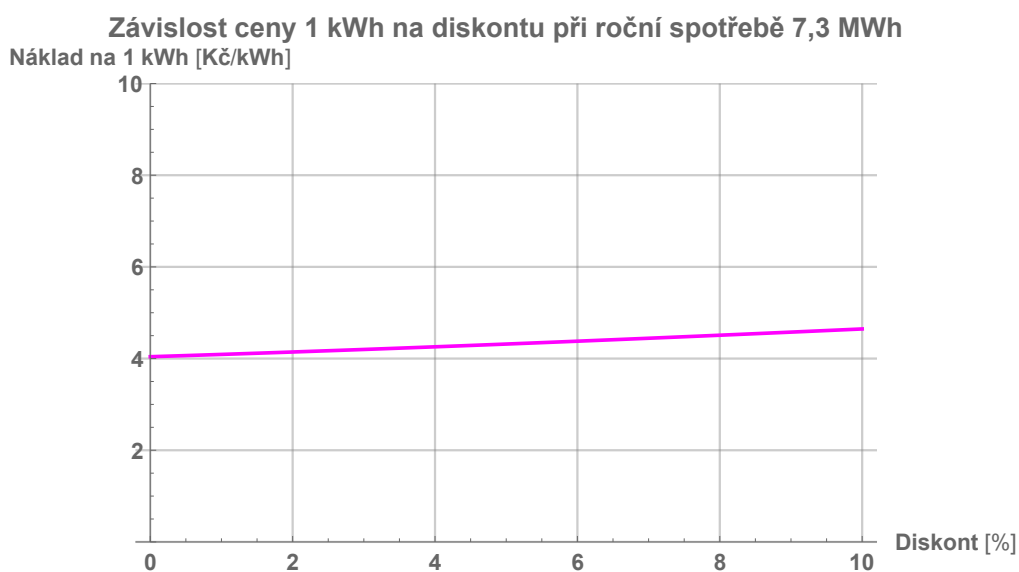
vytvořit model, ze kterého bude patrné, jak bude výsledek vypadat, pokud změní vstupní údaj. Můj model se tak do jisté míry stane univerzálním nástrojem pro obdobné výpočty. Na začátku výpočtů jsem odhadl roční spotřebu energie, a proto nyní vytvořím citlivostní analýzu na dodanou energii při diskontu 5 %.



Obrázek 18 - Graf závislosti ceny 1 kWh na dodané energii

Z grafu je patrné, že s rostoucí spotřebou cena 1 kWh klesá. Dále je v grafu oddělen bod, ve kterém se z variabilní složky POZE stane fixní složka. Tohoto bodu graf dosáhne při spotřebě 31,56 MWh. Detaily výpočtů jsou doloženy v příloze.

Dalším faktorem, který může ovlivnit celkovou cenu jedné kilowatthodiny je diskontní míra. Tu jsem odhadl a pro výpočty použil na 5 %. V následujícím grafu je vyobrazena citlivostní analýza na diskontní sazbu od 0 do 10 % při roční spotřebě 7,3 MWh.



Obrázek 19 - Graf závislosti nákladů na 1 kWh na diskontu

Na citlivostní analýze můžeme pozorovat, že změna diskontu výsledný náklad na 1 kWh změní jen nepatrně (v řádech desítek haléřů na jedno procento diskontu).

4.3 Modelový příklad DC nabíjecí stanice

V této kapitole se zaměřím na výpočet celkových nákladů na pořízení, provoz a údržbu jednodílné stejnosměrné nabíjecí stanice. Celkové náklady znovu podělím celkovou dodanou energií, abych zjistil náklady na 1 kWh. V první části určím parametry nabíjecí stanice, hodnoty všech potřebných investic a spočítám cenu elektřiny pro teoretickou ideální spotřebu rychlonabíjecí stanice v běžném provozu. Cena elektřiny v tomto případě je závislá na typu sítě, do které je nabíječka připojena. Nákladové cashflow tedy spočítám pro připojení do sítí nízkého a vysokého napětí.

4.3.1 Složky investice do DC nabíjecí stanice

Nejprve musím určit vstupní data modelové situace, stejně jako u AC nabíjecí stanice. V tomto případě jsem firma, která kupuje, zprovozuje a provozuje rychlonabíjecí stanici. Pro zjednodušení jsem vybral nabíjecí stanici, která disponuje pouze jedním nabíjecím kanálem o výkonu 50 kW. Takové se sice v běžném provozu běžně nevyskytují, ale pro modelovou situaci je to perfektní varianta pro porovnání připojení stanice do sítí NN a VN (zařízení s 50 kW se ještě nechá připojit do sítí NN). Standardně používají se stanice s kombinovaným stejnosměrným a střídavým výstupem. V kapitole 2.4. jsem uvedl tuto stanici v rešerši. K tomuto zjednodušení jsem přistoupil z důvodu zanedbatelného využívání pomalejšího AC nabíjení. Stanice jsou v dnešní době tak málo vytížené, že pokud zákazník přijede ke stojanu, většinou má volné místo a může si tak vybrat mezi AC a DC. Většina uživatelů jede k rychlonabíjecí stanici za účelem rychlého dobití, a tak předpokládám, že si vždy vybere rychlejší DC řešení.

Ceny stejnosměrných nabíječek se pohybují od 600 000 – 800 000 Kč. Pro svůj výpočet použiji částku na nižší hranici, tedy 600 000 Kč. Jelikož nabíječku budu pořizovat jako firma, je na ni možné získat dotaci. Ke dnešnímu dni je většina nově pořízených rychlonabíječek spolufinancována dotačními programy České republiky, respektive Evropské unie. [19] Výši dotace uvažuji maximální – 70 %. V kapitole 3.2. jsou dotace probrány podrobněji. Maximální životnost nabíječky odhaduji na 10 let.

DC nabíjecí stanici nelze postavit všude. Je nutné vybrat veřejně dostupné místo, zakoupit či pronajmout pozemek a zajistit development lokality (přivést silniční komunikaci a zajistit parkovací místa). Ve svých výpočtech používám na výši této částky kvalifikovaný odhad firmy ČEZ, který je 500 000 Kč. Pravidelná roční částka za pronájem a údržbu pozemku a zařízení je 40 000 Kč. Další náklady se odvíjejí od způsobu připojení do sítě.

4.3.2 Stanice připojená do sítí nízkého napětí

Pro připojení nabíjecí stanice do sítí nízkého napětí, je potřeba zřídit novou přípojku. Způsob ocenění takové přípojky je v tomto případě stejný, jako u AC nabíjecí stanice. Za připojení se platí 500 Kč za každý ampér. Stanice o výkonu 50 kW vyžaduje příkon ze sítě alespoň 3 x 63 A při 400 V. Z jednoduchého vynásobení ceny za jeden ampér počtem ampérů nám vyjde výsledná cena za připojení 31 500.

Následující tabulka zobrazuje náklady na pořízení, provozování a údržbu stanice:

Tabulka 3 - Investiční náklady DC stanice ze sítí NN

Položka	Cena	Životnost	Roční částka
DC Stanice (s dotací 70 %)	180 000	10	23 310,82 Kč
Development lokality	150 000	20	12 036,39 Kč
Náklady na nájem a údržbu, IT			40 000,00 Kč
Připojení 3x63 A	24885	40	1 450,24 Kč
		Celkem za rok:	76 797,46 Kč

Příklad výpočtu:

$$RCF_{DCstan} = N_i \cdot \frac{(1+r)^{T_z \cdot r}}{(1+r)^{T_z} - 1} = 600\,000 \cdot 0,3 \cdot \frac{(1+0,05)^{10 \cdot 0,05}}{(1+0,05)^{10} - 1} = 23\,310,82 \text{ Kč} \quad (10)$$

Nyní je pro zjištění celkového ročního ekvivalentního cashflow potřeba zjistit náklady na energii. Pro určení ceny energie je důležité zjistit celkovou roční spotřebu a následně vybrat tarif. Celkovou roční spotřebu určím na základě úvahy nad maximální efektivností takové stanice. V teoretických předpokladech jsem určil, že jeden zákazník nejčastěji nabíjí do 30 minut a odebere v průměru 20 kWh. Za den se teoreticky dá stihnout 48 cyklů, tedy dodat 960 kWh. Taková úvaha ovšem není realistická. Za prvé jsou části dne, kdy se nabíjet nebude vůbec – primárně přes noc. Za druhé, pokud se stanice stane takto přetížená, uživatelé budou muset na nabití čekat v pořadí a stanice se tak stane neatraktivní. V praxi se počítá s maximální využitelností kolem 15 nabíjecích cyklů za den – cca 30 % disponibility. I tato čísla jsou na dnešní reálné počty zákazníků bohužel přemrštěná, nicméně pro orientační zjištění ceny 1 kWh v této modelové situaci dostačující. Celková roční spotřeba pro 10 nabíjecích cyklů za den je tedy 73 MWh. Po provedení tohoto výpočtu pro ideální počty zákazníků provedu výpočet s reálnými daty pro porovnání hodnot.

Již jsem objasnil, pro jakou spotřebu chci úlohu počítat. Zbývá zjistit tarif pro elektřinu. Nejlepším řešením pro tuto situaci je tarif „Elektromobilita“ pro podnikatele C27d. [44] Podmínkou získání tohoto tarifu je vlastnit elektromobil, nebo na něj mít prokazatelné užívací právo. Tento tarif je také strukturován do dvou variabilních složek. Rozlišuje platbu za elektřinu odebranou ve vysokém a nízkém tarifu. Nízký tarif funguje během nočních hodin stejně jako u tarifu D27d. Zde je předpoklad přesně opačný než u

AC stanic, protože 75 % elektřiny je odebráno ve vysokém tarifu, zbytek v nízkém. Náklady na elektřinu jsou spočítány v následující tabulce:

Tabulka 4 - Cena elektřiny pro DC nabíječku ze sítě nízkého napětí

Tarif C27d		
Položka	Jednotková cena	Celková cena
Vysoký tarif	3901,61 Kč/MWh	198 267,27 Kč
Nízký tarif	1571,71 Kč/MWh	28 683,71 Kč
Měsíční platby	768,93 Kč	9 227,16 Kč
Nižší podle spotřeby nebo jističe - POZE	13,56 Kč/A/počet fází	30 754,08 Kč
	495 Kč/MWh	36 135,00 Kč
Cena za spotřebované MWh		266 932,22 Kč
Cena 1 kWh: (čistě el.)		3,66 Kč

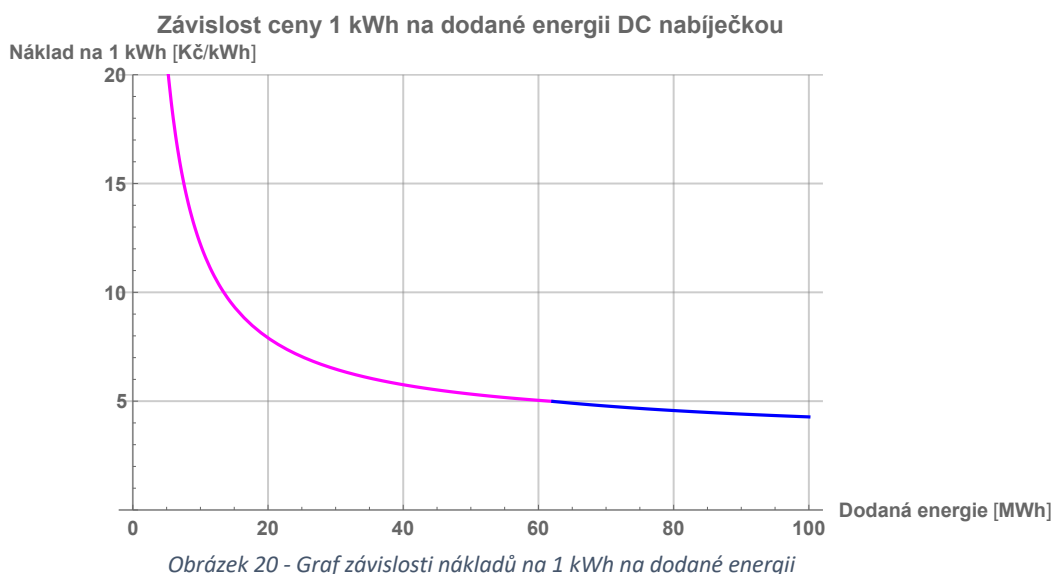
*Položky byly vysvětleny u tabulky 2 a i zde platí stejně

Celková cena za spotřebovanou elektřinu je 266 932,22 Kč. K této částce připočtu roční ekvivalentní náklady nabíjecí stanice a vydělíme celkovou spotřebou, abych získal náklad na 1 kWh při optimálním vytížení nabíjecí stanice.

$$RCF_{Celkové} = N_{icelkové} + N_{elektřina} = 76\,797,46 + 266\,932,22 = 343\,729,68 \text{ Kč} \quad (10)$$

$$N_{1kWh} = \frac{N_{icelkové} + N_{elektřina}}{E_{spotřeb}} = \frac{76\,797,46 + 266\,932,22}{73000} = 4,71 \text{ Kč} \quad (11)$$

Celkový náklad na 1 kWh dodanou nabíječkou při spotřebě 73 MWh za rok je tedy 4,71 Kč. Jedno nabití vyjde provozovatele na 94,2 Kč. V tomto případě bude znovu nutné udělat citlivostní analýzu na dodanou energii. Z citlivostní energie pak bude patrné, jaké ceny dnes platí provozovatelé za provoz nabíjecí stanice a poskytování těchto služeb. Následující graf zobrazuje závislost nákladu na 1 kWh na dodané energii:



Současná situace s počty zákazníků u nabíjecích stanic bohužel není takto optimistická. Průměrný odběr z DC rychlonabíjecí stanice velmi záleží na regionu, ve kterém je stanice umístěna. V Praze tento průměr je nižší (kolem 1 MWh) z důvodu velkého počtu stanic a vysoké konkurence. Naopak například v Liberci či Brně můžeme mluvit o průměru kolem 2 MWh. Z citlivostní analýzy tedy vyplývá, že náklady na 1 kWh při takto malé spotřebě se pohybují v řádech několika desítek korun. Pro 2 MWh roční spotřeby je cena 1 kWh 46,62 Kč. Za takto vysokou cenu tedy může vysoká pořizovací cena nabíječky a její nízké využití.

4.3.3 Stanice připojená do sítí vysokého napětí

V kapitole 4.3.3 se budu zabývat celkovými náklady na 1 kWh pro případ připojení stejnosměrné stanice do sítí vysokého napětí. Naprosto nutnou složkou celkových nákladů na tento projekt je investice do trafostanice pro transformaci vysokého napětí na napětí nízké. Další nutností pro zřízení připojení na vysoké napětí je registrace subjektu zúčtování pro odběr z VN. Jedná se o jednorázový poplatek, který lze opět pomocí anuity rozpočítat do jednotlivých let. Tabulka 5 zobrazuje celkový součet ročních ekvivalentních nákladů na zprovoznění DC nabíjecí stanice.

Tabulka 5 - Investiční náklady DC stanice ze sítí VN

Položka	Cena	Životnost	Roční částka
DC Stanice	180 000	10	23 310,82 Kč
Development lokality	150 000	20	12 036,39 Kč
Připojení (včetně trafostanice)	1 000 000	40	58 278,16 Kč
Náklady na nájem a údržbu, IT			40 000,00 Kč
Cena za registraci subjektu zúčtování	100000	20	8 024,23 Kč
		Celkem za rok:	141 649,60 Kč

V dalším kroku je opět nutné postoupit k výpočtu ceny energie. Pro odběry z vysokého napětí platí opět různé tarify, ale výpočet ceny elektřiny je mnohem složitější. Cena elektřiny se rozděluje na regulovanou a neregulovanou složku, přičemž regulované ceny můžeme dohledat pouze v Energetickém regulačním věstníku Energetického regulačního úřadu, nikoli přímo v ceníku distributora. Neregulovaná složka elektřiny pak závisí na konkrétním distributorovi. Pro svůj příklad jsem si opět vybral opět ČEZ v zastoupení své dceřiné společnosti ČEZ ESCO, která se zabývá prodejem silové energie.

Regulovaná složka elektřiny se spočítá na základě počáteční úvahy o budoucí spotřebě. Pro menší odběry (takový odběr bude definován v citlivostní analýze) se využívá tzv. jednosložková regulovaná cena energie, kdy se paušální poplatek za každou odebranou 1 MWh násobí celkovou spotřebou. Druhou možností regulované ceny elektřiny je vícesložková regulovaná cena elektřiny. Využívá se pro vyšší odběry (přesné číslo opět vyplyne z citlivostní analýzy), a to z důvodu závislosti na rezervovaném příkonu. Vícesložková cena má dvě hlavní složky. Cena za rezervovaný příkon a cena za použití sítě vysokého napětí. Ostatní položky regulované ceny elektřiny, jako například cenu za příliš vysoký jalový výkon vrácený do sítě, nebo překročení maximálního čtvrt hodinového výkonu pro tuto úlohu zanedbávám, neboť neočekávám tyto výjimečné stavy. [42,41] Abych mohl později ve své práci porovnat DC nabíječku připojenou různými způsoby, počítám tedy se stejným odběrem 73 MWh v tarifu C27d pro vysoké napětí. Zde platí totožné podmínky nízkého a vysokého tarifu – tedy 8 hodin denně mezi 18:00 a 6:00 funguje výhodný nízký tarif pro elektromobily. I do této situace přenáším předpoklad, že 75 % energie bude odebíráno ve vysokém tarifu. Celkovou cenu za 1 kWh elektřiny pro odběr 73 MWh za rok zobrazuje následující tabulka:

Tabulka 6 – Tabulka celkových nákladů na elektřinu pro jednosložkovou regulovanou cenu

Jednosložková cena energie:		
Regulovaná složka:		
Položka	Jednotková cena	Celková cena
Jednosložkový tarif	7042,41 Kč/MWh	514 095,93 Kč
Podporované zdroje elektřiny	2 947,23 Kč	35 366,78 Kč
Cena za OTE	4,54 Kč	54,48 Kč
Celkem jednosložková regulovaná:		549 517,19 Kč
Neregulovaná složka ČEZ ESCO:		
Vysoký tarif	1643 Kč/MWh	89 954,25 Kč
Nízký tarif	1369 Kč/MWh	24 984,25 Kč
Stálá platba	65,00 Kč	780,00 Kč
Celkem neregulovaná:		115 718,50 Kč
Celková cena elektřiny:		665 235,69 Kč
Celkový roční náklad na nabíječku:		141 649,60 Kč
Cena elektřiny za 1 kWh:		9,11 Kč
Cena 1 kWh včetně nabíječky:		11,05 Kč

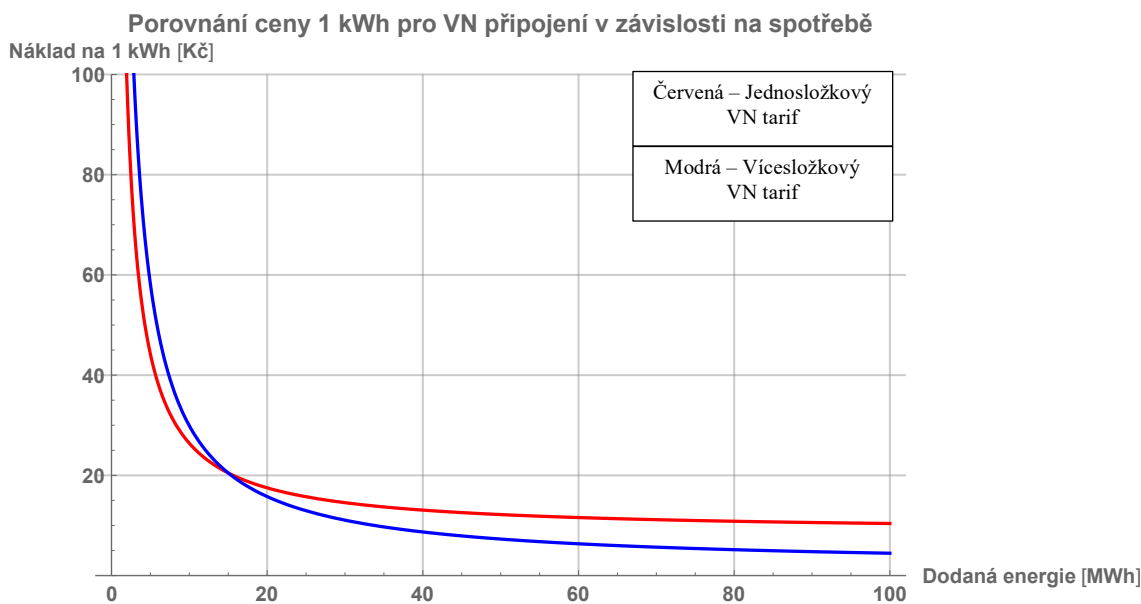
Celkové náklady na dodanou 1 kWh jsem vypočetl na 11,05 Kč. K výsledku jsem došel součtem celkových nákladů na vybudování stanice a celkovou cenou dodané elektřiny vydělené celkovým počtem kWh. [41,43]

Nyní budu pokračovat výpočtem celkové ceny 1 kWh pro vícesložkovou regulovanou část ceny elektřiny. Následně do jednoho grafu provedu citlivostní analýzy obou možností regulované složky elektřiny z čehož určím, která možnost lépe vyhovuje jakým odběrům. Následující tabulka zobrazuje celkové náklady na 1 kWh pro vícesložkovou regulovanou cenu elektřiny:

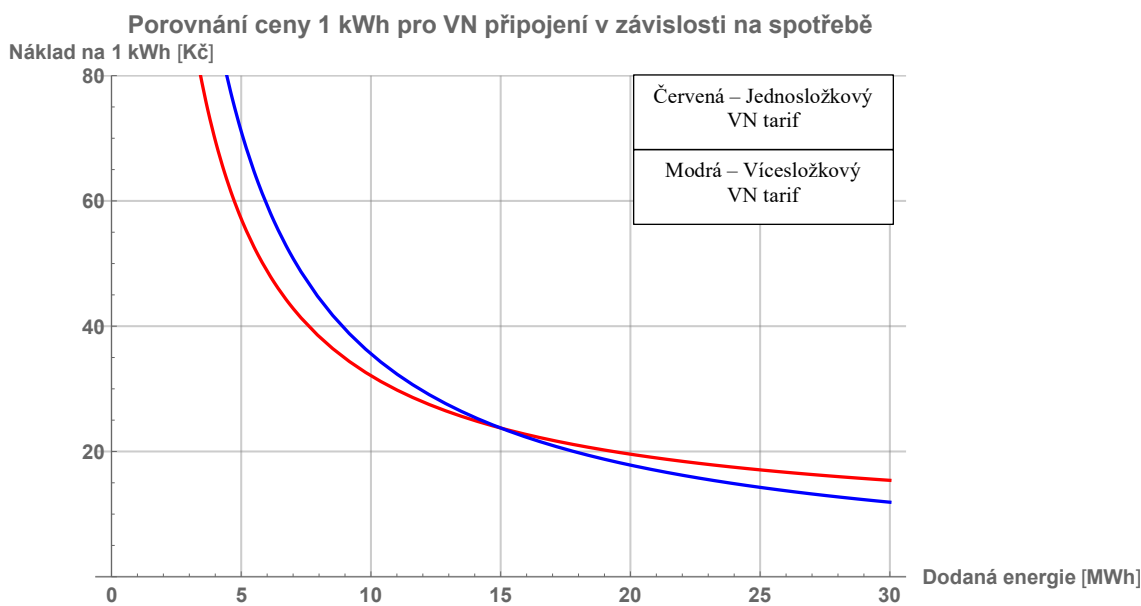
Tabulka 7 - Tabulka celkových nákladů na elektřinu pro jednosložkovou regulovanou cenu

Vícesložková cena energie:		
Regulovaná složka:		
Položka	Jednotková cena	Celková cena
Rezervovaná kapacita:	174,54 Kč/MW/měsíc	104 724,60 Kč
Cena za použití sítě VN:	60,77 Kč/MWh	4 436,21 Kč
Podporované zdroje elektřiny:	58,94 Kč/MW/měsíc	35 366,78 Kč
Cena za OTE:	4,54 Kč	54,48 Kč
Celkem vícesložková regulovaná:		144 582,07 Kč
Neregulovaná složka ČEZ ESCO:		
Vysoký tarif	1643 Kč/MWh	89 954,25 Kč
Nízký tarif	1369 Kč/MWh	24 984,25 Kč
Stálá platba	65,00 Kč	780,00 Kč
Celkem neregulovaná:		115 718,50 Kč
Celková cena elektřiny:		260 300,57 Kč
Celkový roční náklad na nabíječku:		141 649,60 Kč
Cena elektřiny za 1 kWh:		3,57 Kč
Cena 1 kWh včetně nabíječky:		5,51 Kč

K výsledku jsem došel stejným způsobem, jako u jednosložkové regulované ceny. Celkový náklad na 1 kWh je tedy 5,51 Kč. [42,43] Pro 73 MWh roční spotřeby se tedy vyplatí fungovat ve vícesložkovém VN tarifu. Jak se pravdivost tohoto tvrzení ovšem bude měnit se spotřebou nám ukáže následující citlivostní analýza:



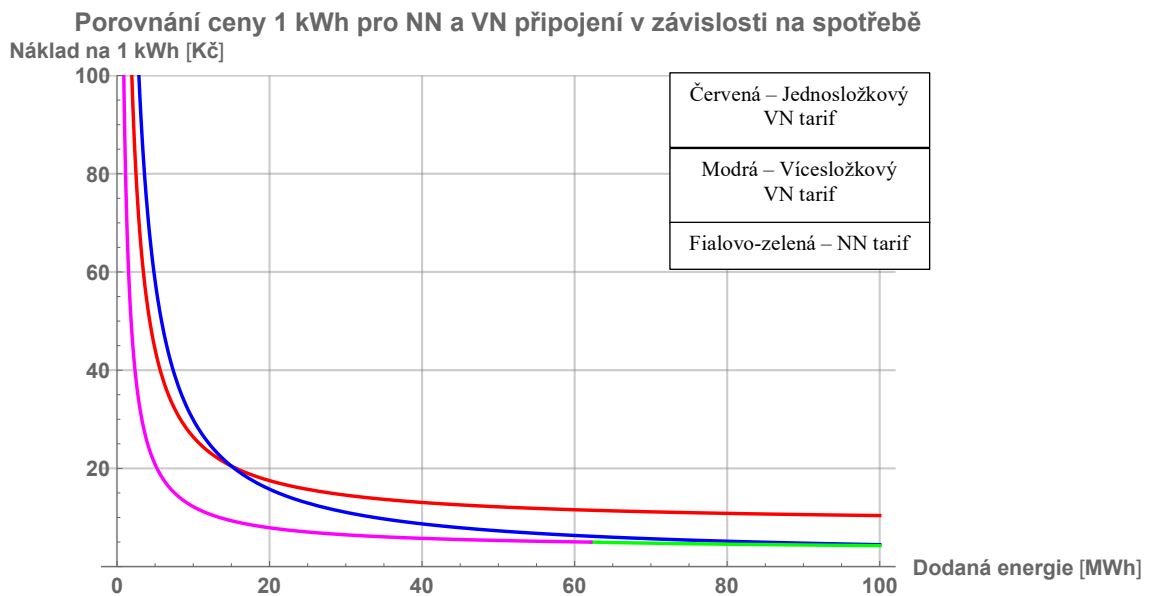
Z citlivostní analýzy je patrné, že pro „nízké“ spotřeby je výhodnější červená křivka, která představuje použití jednosložkové regulované ceny elektřiny. Pro vysoké spotřeby je naopak výhodnější druhá varianta. Důležitým úkolem je tedy zjistit, do jakého odběru uvažovat o jednosložkové regulované složce ceny energie. Pro tento účel jsem vytvořil přibližný graf v místě, kde se obě křivky protínají.



Z grafu je patrné, že se křivky protínají při spotřebě 15 MWh. Pokud tedy budeme uvažovat o připojení do VN sítí, pro odhadovanou roční spotřebu do 15 MWh se vyplatí pořídit tarif s jednosložkovou regulovanou cenou elektřiny. Roční spotřeba jedné rychlonabíjecí stanice se v průměru pohybuje kolem 1-2 MWh. Do této přípojky je tedy při současné spotřebě možné vměstnat stanic několik. Při současných reálných

spotřebách se náklad na 1 kWh s použitím jednosložkového tarifu vyšplhá na cenu 188,41 Kč. Vícesložková varianta vyjde dokonce na 286,15 Kč.

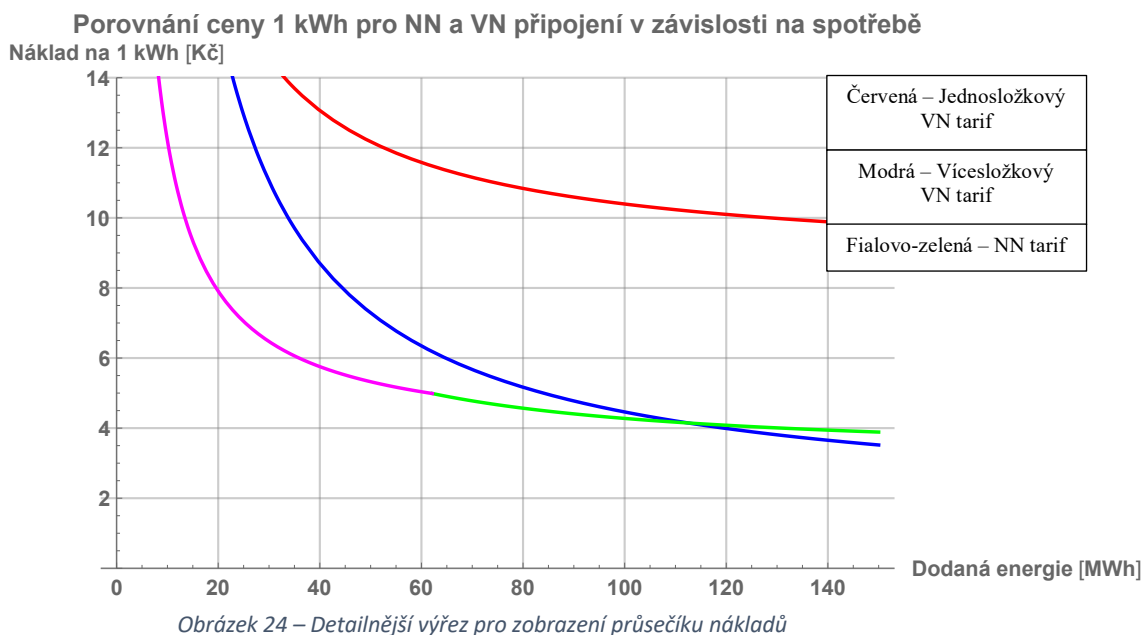
Nyní je ještě nutné porovnat připojení do sítí vysokého a nízkého napětí. Pro 73 MWh je levnější provoz v nízkém napětí. Náklad na 1 kWh z NN je 4,71 Kč oproti 5,51 Kč z VN. Následující graf porovnává náklady mnou probraných tří možností připojení DC stanice do sítě:



Obrázek 23 - Porovnání nákladů na 1 kWh pro různé způsoby připojení

Z grafu je patrné, že při současných spotřebách se vždy vyplatí připojit nabíječku do sítí nízkého napětí, pokud je to možné. Příkon alespoň 50 kW není totiž schopná síť nízkého napětí dodat všude. Možné je to pouze ve velkých městech s dostatečně silnou sítí. Možnost tohoto připojení musí být vždy konzultována s provozovatelem sítí v dané lokalitě.

Do budoucna bude důležité uvažovat nad ideálními čísly, tj. jako v modelových příkladech například 73 MWh na stanici na rok. Pokud těchto stanic postavíme vedle sebe více a vytvoříme tak nabíjecí parkoviště, celková dodaná energie může ze sítě VN dosahovat hodnot několika set MWh za rok. Připojení do NN by nemělo být také problémem, neboť pro tyto účely se vždy zřizuje samostatné odběrné místo a nikdy by tedy nebylo přesaženo cca 50 kW. V takovém případě bude platit graf následující:



Z grafu vyplývá, že pro odběry vyšší než 115 MWh se vyplatí více stanic připojit na jednu přípojku do sítí VN. Ty svým výkonem bohatě postačí. Předpokladem ovšem je dostatečná připravenost sítí nízkého napětí pro připojení více DC stanic. Tato kapitola přinesla základní úvod do problematiky tarifů a připojení nabíjecích stanic do sítě. Za důležité teď považuji porovnat mezi sebou varianty AC a DC nabíjecích stanic, neboť každá možnost má své klady i zápory, pro které se v praxi běžně používají.

4.4 Porovnání DC a AC nabíjecích stanic

Kapitola 4.4 se věnuje porovnání DC a AC nabíjecích stanic na základě tvrzení a dat podložených mými výpočty v této práci. Porovnávat budu na základě dvou hlavních kritérií, a sice z pohledu financí a z pohledu času potřebného pro dobití.

4.4.1 Porovnání z hlediska financí

Abych mohl porovnávat cenu jedné dodané kWh, zvolil jsem pro modelové situace ideální celkovou spotřebu. V obou případech je tato spotřeba reálně uskutečnitelná. AC wallboxy jsou cca desetkrát levnější na pořízení, proto absolutně srovnávat tyto hodnoty nemá smysl. Z výsledků ovšem plyne, že i přes takto rozdílné pořizovací ceny jsou náklady na 1 kWh dodanou DC stanicí pouze 1 - 3x vyšší (záleží na typu připojení DC stanice). Za tento fakt mohou především velké dotace. Náklad na 1 kWh u AC wallboxu je pro reálně udržitelnou roční spotřebu 7,3 MWh 4,38 Kč. Wallbox se v tomto případě využívá pro soukromé účely nabíjení elektromobilu doma u garážového stání. Náklady na 1 kWh DC stanice pro odběr 73 MWh se pohybují od 4,71 Kč ve variantě připojení do sítí NN. Pro připojení do sítí VN jsem určil náklady na 5,51 Kč. Ve výsledku tedy porovnávám náklad 4,38 Kč za 1 kWh z AC wallboxu, náklad 4,71 Kč z DC stanice

připojené do sítí NN a náklad 5,51 Kč z DC stanice připojené do sítí VN. Z pohledu ceny 1 kWh je tedy nejméně výhodnější AC nabíjecí stanice.

4.4.2 Porovnání z hlediska času pro dobití

Teoretický čas potřebný pro dobití akumulátorů elektromobilu je přímo úměrný výkonu nabíjecí stanice. V praxi hraje roli ještě řídicí jednotka vozu, která dle svých potřeb a nároků baterií na co nejmenší namáhání může omezovat výstupní výkon nabíjecí stanice. Porovnávám wallbox o výkonu 22 kW s rychlonabíječkou o výkonu 50 kW. Stejnoseměrná rychlonabíječka tedy bude nabíjet téměř dvaapůlkrát rychleji. Pokud zde vezmu v potaz náklady na 1 kWh, tak ty korespondují s rychlostí nabíjení. Zhruba dvakrát rychlejší dobití stojí více peněz. Rychlejší nabíjení je tedy vykoupené cenou, na druhou stranu je taková nabíječka atraktivnější pro zákazníka z pohledu času stráveného nabíjením. Připojení DC stanice pak vyjde levněji do sítí nízkého napětí.

4.5 Diskuze konkurenceschopnosti elektromobilů

Nyní již vím, kolik stojí nabití elektromobilu. S touto informací jsem schopný spočítat, jestli provozní náklady na palivo dvou ekvivalentních automobilů budou vycházet výhodněji pro elektrickou či benzínovou variantu. Pro porovnání jsem si vybral v České republice nejprodávanější elektromobil VW e-Golf a jeho benzínový ekvivalent. Oba automobily mají pořizovací cenu kolem 1 000 000 Kč. Jelikož se navenek jedná o totožná auta, očekávám stejné jízdní vlastnosti. Automobily mají stejný odpor vzduchu a přibližně stejnou hmotnost (e-Golf je o cca 200 kg těžší kvůli bateriím). Pro výpočet budu používat teoretická data od výrobce, která uvádí vždy velmi optimistická čísla z testů za ideálních podmínek, kterých nejde v praxi nikdy dosáhnout. Pro toto řešení jsem se rozhodl z důvodu, že nemám osobní zkušenosti ani s jedním z vozů a nemohu tak poskytnout reálnější data. Nutno dodat, že pro jednoduché porovnání v této práci to považuji za dostatečné.

4.5.1 Palivové náklady benzínového vozu

Firma VW na svých internetových stránkách uvádí spotřebu pro cca stejně výkonný zážehový čtyřválec 5,1 l/100 km. [39] Ceny pohonných hmot se v posledních měsících mění velmi dynamicky, ale pro můj účel porovnání bohatě postačí odhad na základě mé vlastní zkušenosti. V měsíci dubnu roku 2019 se pohybovala průměrná cena benzínu kolem 32 Kč/l. U ceny velmi záleží na lokalitě napříč celou Českou republikou.

Nyní vím spotřebu vozu i cenu pohonných hmot, takže dokážu spočítat, kolik je potřeba zaplatit na palivo za ujetých 100 km prostým vynásobením spotřeby vozu cenou paliva. Na 100 km je tedy potřeba natankovat za 163,2 Kč.

4.5.2 Náklady na energii elektromobilu

Nyní je pro možnost porovnání důležité spočítat náklady na energii pro elektromobil. Pro výpočet opět použijí teoretickou hodnotu spotřeby udávanou firmou Volkswagen, kterou přenásobím mnou vypočtenou hodnotou nákladů na elektřinu dodanou z domácího wallboxu. Udávaná spotřeba Volkswagenu e-Golf je 13,2 kWh/100 km. [40] Mnou vypočtená cena 1 kWh je 4,38 Kč. Za 100 ujetých kilometrů je tedy potřeba zaplatit 57,8 Kč. Tato cena bude platná za předpokladu dodržení předpokladů pro výpočet této ceny elektřiny v příslušné kapitole.

4.5.3 Porovnání výsledků

Z vypočtených hodnot vychází, že elektrické auto může mít až 3x nižší náklady na „palivo“. V diskuzi o konkurenceschopnosti však musíme vzít v úvahu i ostatní výhody a nevýhody obou automobilů. V otázce maximálního dojezdu připadá velká výhoda na stranu benzínového provedení Golfu. Nádrž 50 l poskytuje dostatek paliva pro dojezd kolem 1 000 km. To je oproti kapacitě baterií 38,5 kWh a dojezdu necelých 300 km opravdu velkým pozitivem. Nutno však podotknout, že s rostoucím stářím baterie její kapacita klesá, tudíž nejde maximální dojezd zaručit. Komponenty elektromobilu jako například elektromotor tedy mají delší životnost než baterie. Na druhou stranu provozní náklady má elektromobil v podstatě nulové (žádné provozní kapaliny, filtry, podstatně levnější servis a opravy). Emise elektromobilu jako takového jsou také nulové.

Pokud tedy člověk bude uvažovat o koupi elektromobilu na úkor automobilu se spalovacím motorem, musí zvážit, zda-li je ochoten vyměnit dojezd a čas strávený dobíjením za několikrát levnější náklady spojené s provozem.

5 Závěr

V úvodu své práce jsem probral základní motivaci, proč je důležité rozvíjet mobilitu na alternativní paliva. Za hlavní důvody rozvoje elektromobility jsem označil omezené zdroje fosilních paliv, špatné ovzduší ve velkých městech a globální oteplování. Jako alternativní palivo pro svou práci jsem zvolil elektřinu a dále jsem přiblížil základní problematiku elektromobility a dobíjecích stanic obecně. Za nejnešťastnější věc jsem označil dojezd současných elektromobilů a rychlost nabíjení baterií v porovnání s tankováním fosilních paliv.

Prvním úkolem mojí práce bylo provést technicko-ekonomickou rešerši nabíjecích stanic, které v současné době fungují na našem území. Za důležité technické parametry považuji druhy nabíjecích režimů, které popisují v první části druhé kapitoly. Ty nám popisují jednotlivé požadavky na ochrany a řízení nabíjecích stanic či wallboxů. Zjednodušují tak orientaci v jednotlivých požadavcích na legislativní požadavky na bezpečnost a ochrany.

V další podkapitole jsem se zaměřil na nedílnou součást všech nabíječek, konkrétně na nabíjecí standardy. Tyto koncovky zajišťují kompatibilitu vozu a nabíjecí stanice. Ukázal jsem, že existují střídavé a stejnosměrné koncovky, které jsou ještě rozděleny na majoritně evropské a asijsko-americké. Z této části bych podtrhl problematiku nekompatibility mezi standardy, která může způsobit problémy při nabíjení.

Za hlavní bod celé druhé kapitoly považuji rozdělení nabíjecích stanic na DC stejnosměrná a AC střídavá nabíjecí zařízení. V nejdůležitější části druhé kapitoly jsem jednak objasnil rozdíly mezi těmito technologiemi, jednak poukázal na výhody a nevýhody nabíjecích stanic. Střídavé dobíjecí stanice jsou výhodné, pokud máme čas na delší nabíjení například přes noc nebo během pracovního dne. Od běžných zásuvek se liší schopností komunikace mezi vozem a nabíječkou tak, aby si automobil dokázal regulovat vstupní proud pro udržení dobré životnosti baterie a omezení poruch. Kvůli těmto důvodům se vyplatí wallbox pořídit. Pořizovací ceny střídavých stanic a wallboxů jsou od 20 do 150 tisíc korun a jsou tedy mnohem levnější než DC stanice. Oproti tomu cena stejnosměrných stanic se pohybuje v číslech od 600 000 Kč. Ty jsou potřebné na místech kolem páteřní dopravní sítě, tedy velkých silničních tahů. Čas potřebný k dostatečně efektivnímu nabití se udává do půl hodiny, což je čas přijatelný k zastávce na dlouhé cestě.

Poslední podkapitolu druhé kapitoly jsem věnoval unikátním superchargerům od firmy Tesla, které u nás za poslední roky byly vystavěny. Jedná se o nejsilnější DC nabíječky, které jsou veřejně v provozu. Nabíjet mohou ovšem pouze vozy téže značky.

Druhým mým úkolem bylo analyzovat a zhodnotit současný stav infrastruktury, na což jsem se zaměřil v kapitole třetí. Zjistil jsem, že aktuální počet dobíjecích stanic je něco přes 450. Tento počet je dostatečný pro používání elektroauta, avšak ne komfortní. Prognóza do roku 2025 říká, že počet stanic se takřka ztrojnásobí.

Posledním tématem, na které jsem se zaměřil byla podpora rozvoje elektromobility. Česká republika má nejen pro tyto účely vytvořený národní akční plán čisté mobility. Hlavním dotačním programem spojeným s rozvojem nabíjecích stanic je Operační program Doprava (již ve své druhé fázi).

V poslední čtvrté kapitole jsem se zaměřil na modelové příklady pořízení nabíjecích stanic a porovnání nákladů na 1 kWh. Pro porovnání jsem vybral 22 kW wallbox a 50 kW rychlonabíjecí stanici, jakožto zástupce střídavých a stejnosměrných nabíjecích stanic. Nejprve jsem uvedl, na jakém principu hodlám stanice porovnávat, následně jsem definoval ekonomickou teorii nutnou k výpočtu RCF projektů. Před přikročením k výpočtům samotným jsem určil teoretické předpoklady podložené o data společností ČEZ a PRE.

Modelové situace jsem počítal celkem tři. První byla připojení domácí střídavé stanice do sítí nízkého napětí. Pro svůj výpočet jsem zvolil tarif pro elektromobilitu a s pomocí dalších zavedených předpokladů jsem vypočítal celkový náklad na 1 kWh dodanou střídavým wallboxem. Tuto hodnotu jsem určil na 4,38 Kč. Následně jsem provedl citlivostní analýzy na spotřebu energie a na diskont. Druhá modelová situace měla za úkol vyřešit celkové RCF projektu vybudování a provozu DC nabíjecí stanice připojené opět do sítí NN pro firemní účely. Celkové náklady na 1 kWh v tomto případě vyšly na 4,71 Kč. Nutno podotknout, že spotřebič o výkonu 50 kW lze připojit od sítí NN jen v případě, je-li tato síť dostatečně silná. Takové sítě se vyskytují převážně v Praze. Opět byla provedena citlivostní analýza na spotřebované množství energie. Ve třetím případě jsem počítal náklady pro DC stanici připojenou do sítí vysokého napětí. Zjistil jsem, že je možné použít dvě varianty regulované složky elektřiny, které významně ovlivní cenu energií, tudíž i celkový náklad na 1 kWh. Pro jednosložkovou regulovanou cenu jsem pro 73 MWh určil celkový náklad na 11,05 Kč, ve vícesložkové variantě regulované ceny je celkový náklad nižší, a sice 5,51 Kč. Z citlivostní analýzy na spotřebu jsem určil, při jaké spotřebě se tyto varianty protnou. Z toho vyplývá, která varianta se více vyplatí pro konkrétní spotřebu projektu.

Na základě vypočtených hodnot jsem následně porovnal ekonomické parametry jednotlivých zařízení. V poslední části svojí práce jsem provedl diskuzi konkurenceschopnosti elektromobilů. Z té vychází, že elektromobil e-Golf lze provozovat mnohem levněji než benzínový ekvivalent. Vše je ovšem na úkor dojezdu automobilu.

Při zpracování této práce a vyhodnocování výsledků jsem došel k zajímavým otázkám a potencionálním problémům. Rostoucí počty elektromobilů a čím dál tím větší výkony nabíjecích stanic budou znamenat vysoké nároky na elektrizační soustavu. Její posilování však bude muset někdo zaplatit. Nabízí se tak například zahrnout do celkové ceny elektřiny poplatků na podporu elektromobility (obdobu podpory OZE). To by ovšem zvedlo cenu za nabití elektromobilu a provoz elektrických aut by tak byl méně výhodný. Otázkou také je, jaká konečná částka by byla potřeba k posílení sítí a elektráren, aby byla uspokojena celková poptávka po elektřině.

Obecně velmi špatně odhadnutelným problémem jsou ceny silové elektřiny a baterií pro elektromobily. Pokud by došlo ke zvyšování těchto cen, náklady na 1 kWh se zvýší. Rychlé zvyšování cen baterií a zhoršování jejich spolehlivosti zase může nepříznivě ovlivnit popularitu elektromobility. Náklady na 1 kWh vypočítané v této práci jsou tudíž závislé na aktuálním ceníku elektřiny.

Třetím vážným problémem, který by byl důsledkem masivního přechodu na elektromobilitu je paradoxně spotřební daň na benzín. Z každého 1 litru benzínu prodaného v ČR odchází 12,84 Kč státu. [47] V celkovém množství se jedná o enormní částku vybranou na daních, o jejíž velkou část by stát přišel. Bylo by nutné uvalit spotřební daň na elektřinu, aby se tato ztráta vykompenzovala?

Závěrem bych rád dodal svůj přínos touto prací. Vytvořil jsem funkční model, ve kterém pomocí změny parametrů nabíjecí stanice mohou občané i firmy otestovat, na kolik korun je vyjde případné pořízení a provoz nabíjecí stanice. Pokud jsou navíc úplně lajky, první část v podobě podrobné rešerše pomůže čtenáři v základní orientaci v této problematice. Zjistil a dokázal jsem, že za současných podmínek je ekonomicky nejvýhodnější připojit stanici do sítí nízkého napětí.

6 Seznam použité literatury a zdrojů

1. Statistická zpráva o světové energii, British Petroleum [Online]. červen 2018 [cit. 2018-10-20]. Dostupné na: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>
2. Nový typ průtokové baterie, Solární novinky [online]. Praha [cit. 2018-12-1]. Dostupné na: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2017062108/novy-typ-prutokove-baterie-ktery-muze-zmenit-budoucnost-hybridu-a-elektromobilu>
3. Romare M., Dahllöf Lisbeth. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries [online]. C 243. IVL Swedish Environmental Research Institute 2017 [cit. 2018-10-20]. ISBN 978-91-88319-60-9. Dostupné z: <https://www.ivl.se/english/startpage/top-menu/pressroom/news/nyheter---arkiv/2017-07-03-ivl-comments-to-reactions-in-media-on-battery-study.html>
4. Přichází doba elektromobilů. Automobilky tlačí přísnější limity pro emise. Euractiv [online]. Praha [cit. 2018-12-1]. Dostupné na: <https://euractiv.cz/section/cr-v-evropske-unii/news/prichazi-doba-elektromobilu-automobilky-tlaci-i-cim-dal-prisnejsi-limity-pro-emise/>
5. Electric vehicle [online]. Cadex Electronics Inc, ©2003 – 2018. Praha [cit. 2018-10-20]. Dostupné na: https://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev
6. Tisková zpráva Trh s elektromobily zaznamenal v prvním pololetí 2/3 nárůst. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. červenec 2017 [cit. 2018-10-20]. Dostupné na: <https://www.cdv.cz/tisk/trh-s-elektromobily-zaznamenal-v-prvnim-pololeti-2-3-narust>
7. AC Propulsion tzero. Clean Technica [online]. Praha [cit. 2018-10-24]. Dostupné na <https://cleantechnica.com/our-team/>.
8. Nabíjecí stanice pro elektromobily. Hybrid.cz [online] Praha [cit. 2018-10-24]. Dostupné na: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stance-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>.
9. Připojení elektromobilu k dobíjecí stanici. Schneider electric [online]. Praha [cit. 2018-10-24]. Dostupné na: http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider_teorie.pdf
10. Druhy a režimy nabíjení. Phoenix Contact [Online]. Praha [cit. 2018-10-25]. Dostupné na: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/sk?1dmy&urile=wcm:path:/skcs/web/main/solutions/subcategory_pages/E_Mobility_charging_methods_charging_modes/a2fad0f3-f69e-442d-af9a-2f81eab201ea
11. Průvodce možnostmi dobíjení elektromobilu. E.ON [Online]. Praha [cit. 2018-10-25]. Dostupné na: <https://www.ecofuture.cz/clanek/pruvodce-moznostmi-nabijeni-elektromobilu>
12. SAE J1772. Wikipedia [Online]. Praha [cit. 2018-10-25]. Dostupné na: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
13. Mennekes Type 2. Mennekes [Online]. Praha [cit. 2018-10-25]. Dostupné na: [http://www.mennekes.co.uk/index.php?id=latest&tx_ttnews\[tt_news\]=929&cHash=01b41da3b646a7f3e257cbbce0cc5d3f](http://www.mennekes.co.uk/index.php?id=latest&tx_ttnews[tt_news]=929&cHash=01b41da3b646a7f3e257cbbce0cc5d3f)

14. CHAdeMO. Wikipedia [Online]. Praha [cit. 2018-10-25]. Dostupné na: <https://cs.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO>
15. CHAdeMO - technology. ChAdeMO [Online]. Praha [cit. 2018-10-25]. Dostupné na: <https://cs.wikipedia.org/wiki/CHAdeMOhttps://www.chademo.com/technology/technology-overview/>
16. Type 2 connector. Wikipedia [Online]. Praha [cit. 2018-10-26]. Dostupné na: https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector
17. European CCS conquers world. InsideEVs [Online]. Praha [cit. 2018-10-26]. Dostupné na: <https://insideevs.com/european-ccs-type-2-combo-2-conqueres-the-world/>
18. ABB launches world's fastest ev charger, ABB [Online]. Praha [cit. 2018-12-12]. Dostupné na: <https://new.abb.com/news/detail/4412/abb-launches-worlds-fastest-e-vehicle-charger-at-hannover-messe-strengthening-its-leadership-in-sustainable-mobility>
19. Eva Polanská, projektový manažer, Útvar čisté technologie ČEZ, a.s. [Ústní rozhovor]. Praha – centrála ČEZ, 11. 10. 2018. Praha [cit. 2018-11-25].
20. Veřejné dobíjecí stanice ČEZ, /E/MOBILITA [Online]. Praha [cit. 2018-11-25]. Dostupné na: <http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeni-na-cestach.html>
21. Adam Čečák, Manažer e-mobility, Pražská energetika, a.s. [Ústní rozhovor]. Praha – centrála PRE, 24. 9. 2018. Praha [cit. 2018-11-28].
22. Ensto EV charging products, Ensto [Online]. Praha [cit. 2018-11-28]. Dostupné na: <https://www.ensto.com/products/electric-vehicle-charging-products/>
23. Keba KeContact P30, Keba [Online]. Praha [cit. 2018-11-28]. Dostupné na: https://www.keba.com/en/emobility/products/product-overview/product_overview
24. ABL eMH3 Wallbox, ABL [Online]. Praha [cit. 2018-11-28]. Dostupné na: <https://www.abl.de/en/products/emobility/wallbox-emh3.php>
25. Sm!ght Base Tower, Sm!ght [Online]. Praha [cit. 2018-11-28]. Dostupné na: <https://smight.com/en/base-tower>
26. Acceleration of sales of electric and low-emission cars, Green Car Congress [Online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné na: <https://www.greencarcongress.com/2018/10/20181004-ep.html>
27. ABB Terra 53 CJG, ABB [Online]. [cit. 2018-11-30]. Dostupné na: https://library.e.abb.com/public/ec424199091749ffbcc41d609c0338c2/ABB_EVI_ProductLeaflet_Terra53_nd_web.pdf
28. Tesla Supercharger Humpolec, Pražský deník [Online.] Dostupné na: <https://prazsky.denik.cz/galerie/otevreni-nove-dobijeci-stanice-tesla-supercharger.html?photo=8>
29. Dynamic Wireless Charging, Chargedevs [Online]. [cit. 2018-12-7]. Dostupné na: <https://chargedevs.com/features/dynamic-wireless-charging-whats-feasible-qa-with-qualcomms-graeme-davison/>

30. Li-ion: Vývoj baterií [online]. 2005 [cit. 2018-12-9]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2005/xsimicek.htm>
31. Elektromobilita – osvětový materiál, Ministerstvo životního prostředí [Online]. [cit. 2018-12-7]. Dostupné na: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOPSPZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSPZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf)
32. Národní akční plán čisté mobility, Ministerstvo průmyslu a obchodu [Online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné na: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf>
33. Operační program doprava, Ministerstvo dopravy [Online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné na: http://web.opd.cz/wp-content/uploads/2018/07/vyzva_65_SC_2.2_OPD-dobijeci-stanice-paterni-sit_2018-08-28.pdf
34. Zpráva o aktualizaci a stavu Evidence čerpacích stanic pohonných hmot v ČR k 11. 2. 2019, Ministerstvo průmyslu a obchodu [Online]. [cit. 2019-2-22]. Dostupné na: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/statistika-cerpacich-stanic-pohonnnych-hmot/zprava-o-aktualizaci-a-stavu-evidence-cerpacich-stanic-pohonnnych-hmot-v-cr-ke-11-2-2019--243951/>
35. Kritéria efektivity investic (BI – EKP), Ing. Blanka Kučerková, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze [Online]. [cit. 2019-27-3]. Dostupné na: <https://edux.fit.cvut.cz/oppa/BI-EKP/cviceni/Kritéria%20ekonomické%20efektivnosti.pdf>
36. Diskontní sazba, Středoevropské centrum pro finance a management [Online]. [cit. 2019-29-3]. Dostupné na: <http://www.finance-management.cz/150indexAboutServer.php>
37. Inflace, spotřebitelské ceny, Český statistický úřad [Online]. [cit. 2019-29-3]. Dostupné na: https://www.czso.cz/csu/czso/inflace_spotrebitelske_ceny
38. Ceník pro domácnosti na 3 roky, ČEZ Distribuce, a.s. [Online]. [cit. 2019-30-3]. Dostupné na: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2019/moo/web_new_cenik_elektrina_na_3_roky_moo_201811_cezdi.pdf
39. Technická data VW Golf, Volkswagen a.s. [Online]. [cit. 2019-12-4]. Dostupné na: <https://www.volkswagen-liberec.cz/images/autoenge/block/golf/cenik/vw-golf-technicka-data.pdf>
40. Volkswagen e-Golf, Volkswagen a.s. [Online]. [cit. 2019-14-4]. Dostupné na: <https://www.volkswagen.cz/e-golf>
41. Energetický regulační věstník, Energetický regulační úřad [Online]. [cit. 2019-18-4]. Dostupné na: https://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV_10_2018.pdf/3feb1c47-0aa0-4766-a0d0-39715afd9fe0
42. Vyhláška o pravidlech trhu s elektřinou č. 408/2015 Sb., zákonyprolidi.cz [Online]. [cit. 2019-18-4]. Dostupné na: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-408#cast10%20>

43. Ceník elektřiny - smlouva na dobu neurčitou z VN, ČEZ ESCO, a.s. [Online]. [cit. 2019-20-4]. Dostupné na: https://www.cezesco.cz/file/edee/komodity/tydenni-ceniky/elektrina_123_1_10.pdf
44. Ceník elektřiny - smlouva na 3 roky pro podnikatele, ČEZ Prodej, a.s. [Online]. [cit. 2019-20-4]. Dostupné na: https://www.cez.cz/edee/content/file/ceniky/mop/ele/web_cenik_elektrina_na-3-rok_mop_112018_cezdi.pdf
45. Ceník elektřiny - smlouva na 3 roky pro domácnosti, ČEZ Prodej, a.s. [Online]. [cit. 2019-20-4]. Dostupné na: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2019/moo/web_new_cenik_elektrina_na_3_roky_moo_201811_cezdi.pdf
46. Zásady cenové regulace prodloužené do 2020, ERÚ [Online]. [cit. 2019-30-4] Dostupné na: <https://www.eru.cz/documents/10540/3550177/Zasady-cenove-regulace-IV-RO-prodlouzene-do-2020.pdf/6788c6c3-4711-4042-b5c1-1985ed59bceb>
47. Výpočet zdanění u benzínu a nafty, finance.cz [Online]. [cit. 2019-1-5] Dostupné na: <https://www.finance.cz/dane-a-mzda/dph-a-spotrebni-dane/spotrebni-dane/mineralni-olej/>

7 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - TYP 1 YAZAKI, PŘEVZATO Z [11]	6
OBRÁZEK 2 - TYP 2 MENNEKES, PŘEVZATO Z [12]	6
OBRÁZEK 3 - STANDARD CHADEMO, PŘEVZATO Z [13]	7
OBRÁZEK 4 - CCS COMBO 2 (VLEVO FEMALE, VPRAVO POROVNÁNÍ KONCOVEK CCS2 (VLEVO) A MENNEKES, PŘEVZATO Z [15])	7
OBRÁZEK 5 - AC NABÍJECÍ STANICE SPOLEČNOSTI ČEZ, PŘEVZATO Z [20]	8
OBRÁZEK 6 - ENSTO CHAGO PRO EVF 200, PŘEVZATO Z [22]	9
OBRÁZEK 7 - ENSTO CHAGO PREMIUM EVC 100, PŘEVZATO Z [22]	9
OBRÁZEK 8 - ENSTO CHAGO WALLBOX EVB 200, PŘEVZATO Z [22]	9
OBRÁZEK 9 - ABL EMH3, PŘEVZATO Z [24]	10
OBRÁZEK 10 - KEBA KECONTACT P30, PŘEVZATO Z [23]	10
OBRÁZEK 11 - PRŮBĚH NAPĚTÍ A PROUDU V ZÁVISLOSTI NA ČASE NABÍJENÍ, PŘEVZATO Z [30]	11
OBRÁZEK 12 - ABB TERRA 53 CJG, PŘEVZATO Z [27]	12
OBRÁZEK 13 - TESLA SUPERCHARGER U VESTCE, PŘEVZATO Z [28]	13
OBRÁZEK 14 - DYNAMICKÉ INDUKČNÍ NABÍJENÍ (PŘEVZATO Z [29])	15
OBRÁZEK 15 - POČET VEŘEJNÝCH DOBÍJECÍCH STANIC V ČR, PŘEVZATO Z [31]	17
OBRÁZEK 16 - SLOUPCOVÝ GRAF V ZÁVISLOSTI POČTU NABITÍ NA DODANÉ ENERGII [21]	23
OBRÁZEK 17 - SLOUPCOVÝ GRAF V ZÁVISLOSTI POČTU NABITÍ NA DOBĚ TRVÁNÍ NABÍJENÍ	23
OBRÁZEK 18 - GRAF ZÁVISLOSTI CENY 1 kWh NA DODANÉ ENERGII	27
OBRÁZEK 19 - GRAF ZÁVISLOSTI NÁKLADŮ NA 1 kWh NA DISKONTU	27
OBRÁZEK 20 - GRAF ZÁVISLOSTI NÁKLADŮ NA 1 kWh NA DODANÉ ENERGII	31
OBRÁZEK 21 - CITLIVOSTNÍ ANALÝZA ZÁVISLOSTI NÁKLADU NA 1 kWh NA CELKOVÉ ROČNÍ SPOTŘEBĚ	34
OBRÁZEK 22 - VÝŘEZ CITLIVOSTNÍ ANALÝZY PRO HLEDÁNÍ PRŮSEČÍKU MOŽNOSTÍ REGULOVANÝCH CEN ZA ENERGII	34
OBRÁZEK 23 - POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA 1 kWh PRO RŮZNÉ ZPŮSOBY PŘIPOJENÍ	35
OBRÁZEK 24 - DETAILNĚJŠÍ VÝŘEZ PRO ZOBRAZENÍ PRŮSEČÍKU NÁKLADŮ	36

8 Seznam příloh

- 1) AC.nb
- 2) DC.nb
- 3) DCzVN.nb
- 4) nabíječky_výpočet.xlsx

