

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2021

**ADAM
ELIS**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Elis** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **482418**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Provozní bilance off-grid dobíjecí stanice na vodíkové palivové články

Název bakalářské práce anglicky:

Operational balance of off-grid charging station with hydrogen fuel cells

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte, provozně a ekonomicky zhodnoťte off-grid dobíjecí stanici pro elektromobily, která bude využívat vodíkové palivové články

Díleč cíle:

1. Rešerše současných řešení dobíjecích stanic pro elektromobily
2. Rešerše stavu vývoje technologií palivových článků
3. Rešerše způsobů výroby, uchování a transportu vodíku
4. Návrh a výpočet parametrů modelové dobíjecí stanice na bázi vodíkových palivových článků
5. Návrh komponent dobíjecí stanice
6. Provozně-ekonomická bilance navržené dobíjecí stanice na bázi vodíkových palivových článků

Seznam doporučené literatury:

webové zdroje

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc., ústav energetiky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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

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 29. května 2021

.....

Adam Elis

Anotační list

Jméno autora:	Adam Elis
Název BP:	Provozní bilance off-grid dobíjecí stanice na vodíkové palivové články
Anglický název:	Operational balance of off-grid charging station with hydrogen fuel cells
Akademický rok:	2020/2021
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí BP:	doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 59 Počet obrázků: 33 Počet tabulek: 3 Počet příloh: 1
Klíčová slova:	Dobíjecí stanice, Vodík, Palivové články, Provozní bilance
Keywords:	Charging station, Hydrogen, Fuel cells, Operational balance
Anotace:	Cílem této práce je vytvoření návrhu dobíjecí stanice pro elektromobily, která je napájena vodíkovými palivovými články. V první části se práce zabývá rešerší typů a způsobů konvenčního dobíjení a následně také rešerší palivových článků a vodíku. V druhé části je v práci navržena dobíjecí stanice s palivovými vodíkovými články. Navržená dobíjecí stanice je ekonomicky zhodnocena a porovnána s konvenčním dobíjením.
Abstract:	The aim of this thesis is to design a charging station for electric vehicles that is powered by hydrogen fuel cells. The first part of the thesis deals with the research of types and methods of conventional charging and then the research of fuel cells and hydrogen. In the second part, the thesis proposes a hydrogen fuel cell charging station. The proposed charging station is economically evaluated and compared with conventional charging.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, panu doc. Ing. Tomáši Dlouhému, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování méj bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Černému za průběžné konzultace k danému tématu bakalářské práce.

Obsah

Seznam symbolů, indexů a zkratek.....	9
1. Úvod.....	10
2. Konvenční dobíjecí stanice	12
2.1. Princip technologie	12
2.2. Režimy dobíjení elektromobilů.....	12
2.3. Dobíjení podle proudu.....	13
2.4. Dobíjení podle místa instalace	15
2.4.1. Soukromé dobíjecí stanice.....	15
2.4.2. Veřejné dobíjení	16
2.5. Budoucnost dobíjení.....	18
2.5.1. Indukční dobíjení	18
2.5.2. Chakratec.....	19
3. Off-grid dobíjecí stanice.....	20
3.1. Fotovoltaické off-grid dobíjecí stanice	21
3.2. Off-grid dobíjecí stanice na palivové články	22
3.2.1. Princip Palivových článků.....	22
3.3. Paliva.....	23
3.4. Typy palivových článků	23
3.5. Příklad dobíjecí stanice na palivové články - H-Power EV charging	26
3.6. Vodík.....	27
3.6.1. Výroba vodíku	27
3.6.2. Skladování vodíku	28
3.6.3. Transport vodíku.....	30
3.7. Závěr teoretické části	31
4. Návrh vodíkové dobíjecí stanice.....	32
4.1. Modelová situace maximální vytíženosti	32
4.1.1. Průběh dobíjení elektromobilu.....	34
4.1.2. Výpočet optimální velikosti baterie dobíjecí stanice a potřebného výkonu palivových článků.....	36
4.1.3. Volba baterie	37
4.1.4. Volba palivového článku	37
4.1.5. Spotřeba kyslíku a vodíku	38
4.1.6. Produkce vody a tepla	39

4.1.7.	Návrh uchování vodíku	39
4.2.	Ekonomická bilance dobíjecí stanice	40
4.2.1.	Metoda výpočtu	40
4.2.2.	Investiční náklady	41
4.2.3.	Provozní náklady.....	43
4.2.4.	Podíl fixních a variabilních nákladů	44
4.2.5.	Výpočet provozní bilance pomocí metody LCOE.....	45
4.3.	Citlivostní analýza	46
4.3.1.	Citlivost ceny palivových článků	47
4.3.2.	Citlivost ceny kontejnerové baterie.....	48
4.4.	Porovnání s konvenčním dobíjením a palivy	49
5.	Závěr	51
6.	Zdroje.....	53
7.	Příloha č. 1	58
8.	Přiložené soubory	59

Seznam symbolů, indexů a zkratk

AC	Alternating current - střídavý proud
DC	Direct current - stejnosměrný proud
CO₂	Oxid uhličitý
CO	Oxid uhelnatý
LCOE	Levelized cost of energy – srovnatelné náklady na elektřinu
SOC	State of charge – stav nabití

1. Úvod

Elektromobilita je známá již skoro dvě staletí. Již Robert Anderson sestavil mezi lety 1832–1839 jednoduchý elektrický přepravník. A první český elektromobil sestrojil František Křižík v roce 1895.^[1]

Největší rozmach však elektromobilita pocítila až v posledních letech. Vyspělé státy se snaží ekonomicky podporovat elektromobilitu, a tím snížit lokální emise ve stále se rozrůstajících městech. Státy zavádějí příspěvky na elektromobily. Do států nejvíce podporujících elektromobily určitě patří Norsko. V Norsku majitelé elektromobilů neplatí silniční daně, mýtné brány ani samotnou registraci vozidla. Navíc díky velkému podílu hydroelektráren na výrobě elektrické energie je elektromobilita skutečně ekologická.^[10] Jednotlivá města je také podporují v rámci různých benefitů. Například v Praze mají elektromobily veškeré veřejné parkování zdarma.

Elektromobily produkují emise prakticky nulové. Bohužel je zatím problém s recyklací baterií, které pohání elektromotor. Elektromobily mají také několik dalších předností. Velkou výhodou jsou nízké provozní náklady. Ve městech, když elektromobil stojí v zácpách nebo na semaforech, tak nespotřebovává žádnou energii k udržení provozu motoru, jelikož se motor jednoduše vypne. Další výhodou je akcelerace, která je neporovnatelně lepší než u automobilů na spalovací motory. Servis je také jednodušší a levnější. Nemusíte provádět údržby, jako je například výměna oleje, filtrů a svíček. Celkově elektromotor je značně jednodušší než spalovací.

Velkou nevýhodou je však nedostatečná infrastruktura dobíjecích stanic po světě. Největší počet dobíjecích stanic najdeme v Číně. Čína má na svém území přes 500 tisíc dobíjecích stanic. Z toho 200 tisíc jsou rychlodobíjecí stanice. Druhý největší trh s dobíjecími stanicemi je ve Spojených Státech Amerických, kde je necelých 80 tisíc dobíjecích stanic. Až po těchto zemích jsou státy Evropy. V České republice je přibližně 450 veřejných dobíjecích stanic. Velkou výhodou však zůstává fakt, že majitelé elektromobilů mohou dobíjet pomalým dobíjením doma přes noc. Dle odhadů až 90 % nabíjení bude probíhat právě takhle. Můžeme předpokládat, že veřejné dobíjecí stanice se budou využívat pouze pro delší cesty.

Evropská unie tlačí své členské státy k čím dál tím většímu omezování emisí. Česká republika se zavázala Evropské Unii, že do roku 2030 sníží emise o 40 % oproti roku 1990.^[8] Členské státy se snaží snížit spotřebu fosilních paliv, a tím nebýt tak závislé na ostatních zemích. Zásoby fosilních paliv nejsou bezedné. Dá se očekávat, že pokud by poptávka po fosilních palivech neklesala, zemské zásoby těchto paliv by ubývaly, a tím by rostla jejich cena. Mohli bychom se dostat do situace, kdy již nebude doprava osobním automobilem pro každého možná. V letošním roce vyšla nová norma pro automobilky EURO 6d. Diesellové vozidlo nesmí překročit emise 80 miligramů oxidu dusíku na jeden kilometr při jakékoliv jízdě a benzinové vozidlo 60 miligramů na kilometr. To nutí automobilky začít vyrábět některé vozy pouze jako elektromobily.

S nárůstem elektromobilů však vzniká problém, jak doplňovat energii do baterií ukrytých ve voze. V dnešní době má skoro každá rodina v domácnosti alespoň dva automobily. Tato auta parkují na ulicích, kde nemají přístup k dobíjecí síti. Též lidé jezdí o víkendech ven z měst na výlety nebo jezdí na dovolené autem do zahraničí. Na to bohužel zatím elektromobily nejsou připravené. Dojezd těch nejlepších elektromobilů se pohybuje okolo 500 km. Síť dobíjecích stanic je zatím velmi řídká a u většiny z nich trvá dobíjení příliš dlouho. Je potřeba budovat nové dobíjecí stanice s vysokým výkonem, které dobíjení zkrátí. Tím se postupně zlepší i veřejné mínění o elektromobilech. Ne všechny lokality jsou ale vybavené dostatečným elektrickým připojením pro budování těchto rychlých nabíjecích stanic. Z toho důvodu bude nutné využívat systém, který umožní dobíjení vysokým výkonem i v případě úplného odpojení od elektrické sítě. Proto jsem se rozhodl, že se ve své práci budu zabývat dobíjecími stanicemi, které nejsou připojeny k elektrické síti.

Téma elektromobility mi přišlo vždy zajímavé a především aktuální. Momentální největší problém vidím v nedostatečné síti dobíjecích stanic, což zmenšuje využitelnost a praktičnost elektromobilů. V této práci popisuji druhy dobíjecích stanic, jejich výhody a nevýhody. V praktické části provedu návrh dobíjecí stanice, která nebude závislá na energetické síti a bude si vyrábět vlastní energii z vodíku.

2. Konvenční dobíjecí stanice

2.1. Princip technologie

Konvenční dobíjecí stanice pro elektromobily používají k dobíjení baterií energii z elektrické sítě. Jde o velmi jednoduchý proces. Pomocí konektoru zapojíte kabel od dobíjecí stanice do automobilu a tím spustíte dobíjení. Nabíjecí stanice nabíjí buď pomocí střídavého elektrického proudu (AC), nebo pomocí stejnosměrného elektrického proudu (DC).

2.2. Režimy dobíjení elektromobilů

Dobíjecí režimy udávají podmínky pro bezpečné nabíjení. Rozdělení se zabývá způsobem zabezpečení před nebezpečím úrazu elektrickým proudem a před požárem. Tímto zabezpečením se zabývá evropská norma EN IEC 61851-1:2019 – Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením. Norma popisuje 4 režimy dobíjení. Režimy 1-3 upravují podmínky pro dobíjení střídavým proudem. Režim 4 pak pro stejnosměrný proud.

Režim 1

Při dobíjení elektromobilu pomocí režimu 1 používá dobíječka standardní zásuvku se střídavým proudem. Jelikož dobíjecí stanice nijak nekomunikuje s vozidlem, je zapotřebí ochrana pojistkami a proti zemnímu spojení. Při dlouhém dobíjení na maximální výkon vzniká nebezpečí zahřátí dobíjecího kabelu. Může tak vzniknout porušení izolace kabelu. Kvůli těmto faktorům je dobíjení omezeno na 10 A. ^[11,12]

Režim 2

Tento režim stejně jako režim 1 využívá standardní jednofázové nebo třífázové sítě. Oproti režimu 1 je však vybaven systémem In-Cable-Control-and-Protective-Device. Systém IC-CPD zajišťuje ochranu před chybovým proudem. Proudové chrániče jsou uschovány v proudové kabelové skřínce. Komunikuje s vozidlem, a tím řídí celý proces dobíjení. Přenáší tak vyšší dobíjecí výkony než režim 1. ^[11,12]

Režim 3

Proudový chránič je zabudován do samotné dobíjecí stanice – wallboxu. Existují tři možnosti pro nabíjení režimem 3. Verze A používá nabíjecí kabel, který je pevně připojen k elektromobilu. Pomocí konektoru se zapojuje pouze do dobíjecí stanice. Verze B používá konektory jak k připojení stanice, tak k připojení vozu. U verze C je dobíjecí kabel pevně připojen k dobíjecí stanici a pomocí konektoru připojujeme pouze elektromobil. ^[11]

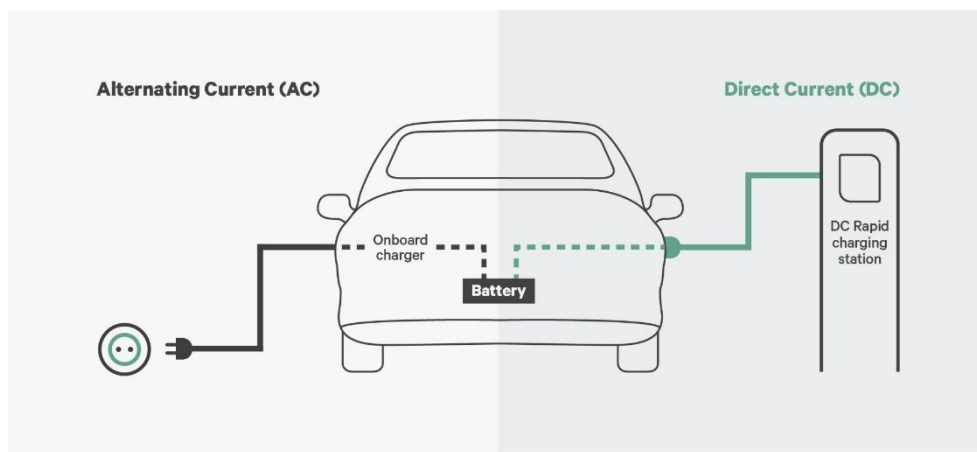
Režim 4

Tento režim se zabývá dobíjením elektromobilu stejnosměrným proudem. Kvůli vysokým nabíjecím výkonům jsou potřeba vysoké bezpečnostní požadavky. Dobíjecí kabel je pevně připojen k dobíjecí stanici. Konektorem ho připojujeme pouze k vozu. Usměrňovač proudu, který usměrňuje proud ze střídavého na stejnosměrný, je zabudovaný v dobíjecí stanici. Dobíječka musí řídit napětí a výkon tak, aby nedošlo k poruše.

2.3. Dobíjení podle proudu

AC dobíjení

U AC stanice teče kabelem do elektromobilu střídavý proud. Automobil však musí tento proud převést na stejnosměrný pomocí zabudované palubní nabíječky. Stejnosměrný proud je dále posílán do baterií. Tyto nabíječky jsou velmi populární pro jejich nízkou cenu a prostorovou nenáročnost. Dobíjení je pomalejší. To však tolik nevádí u domácích dobíjecích stanic, kde se může elektromobil nabíjet celou noc. Palubní nabíječka se stará o to, aby se baterie nepřehřály v důsledku příliš vysokého dobíjecího proudu a aby se baterie nepřebila. Přehřátí a přebití výrazně snižuje životnost baterie. Výkon palubních nabíječek je v rozmezí 3,6 kW až 22 kW podle toho, zda je jednofázová nebo třífázová. Zvýšení výkonu palubní nabíječky by znamenalo i zvýšení nákladů a rozměrových parametrů. V levé části obrázku č.1 je schematicky znázorněno dobíjení pomocí střídavého proudu.

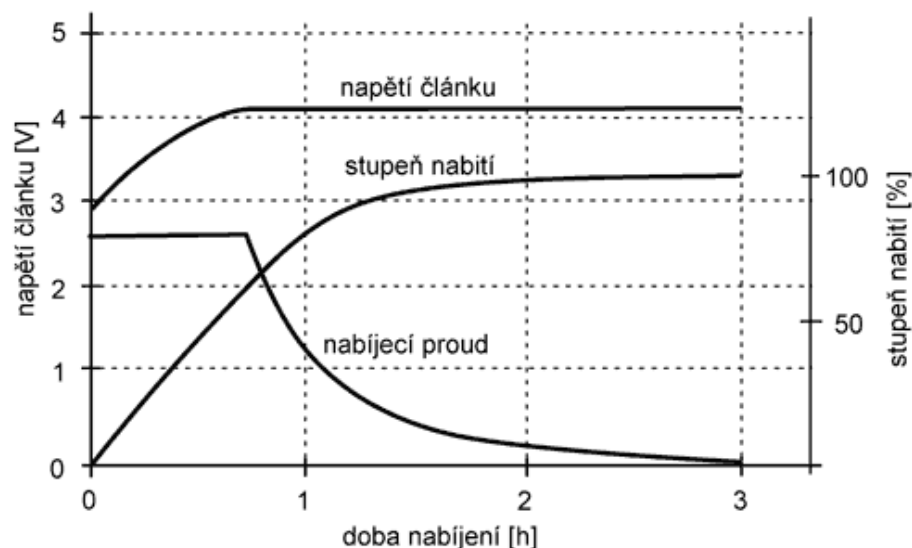


Obrázek č.1 - Schéma dobíjení [17]

DC dobíjení

DC dobíjecí stanice jsou většinou rychlodobíjecí stanice. Díky tomu, že stanice usměrní střídavý proud ze sítě na stejnosměrný, můžeme při samotném dobíjení vynechat palubní nabíječku. Proud teče tedy rovnou ze stojanu do baterie. To celý proces zrychluje. Je až 15x rychlejší než nabíjení přes střídavý proud. Kvůli tomu musí být však nabíjecí stanice mnohem „chytřejší“. Musí zvládnout přizpůsobit parametry dobíjení podle typu a stavu baterie. Tyto stanice jsou schopné dobít moderní elektromobily na 80 % už do 20 minut. Zbýlých 20 % však zabere stejně času. Výkon dobíjecí stanice klesá, jelikož je potřeba dodržet konečné dobíjecí napětí, jinak by baterie ztratila životnost.

Na obrázku č.1 je schematicky znázorněno dobíjení pomocí stejnosměrného proudu. Na obrázku č.2 je znázorněna závislost dobíjecího napětí a proudu na čase. Je zde vidět, že začátek nabíjení, než dosáhneme konečného napětí, je velmi rychlý. Poté musíme držet dobíjecí napětí stejné, tím nám klesá proud a dobíjení se zpomalí.



Obrázek č.2 - Průběh napětí a proudu při nabíjení [16]

2.4. Dobíjení podle místa instalace

2.4.1. Soukromé dobíjecí stanice

Přenosné nabíječky

Téměř vždy při koupi elektromobilu dostanete přenosnou nabíječku k základní výbavě vozu. Nabíječku je možné použít u klasických jednofázových zásuvek s napětím 230 V. Nabíječka nabíjí s maximálním výkonem 3,7 kW. Další možností je použití třífázové zásuvky CEE32A s napětím 400 V. V tom případě dokáže přenosná nabíječka nabíjet s výkonem až 22 kW.^[4] Pro představu automobil Volkswagen E-UP, který má dojezd cca 160 km nabije baterii s kapacitou 18,7 kWh jednofázovou nabíječkou za 8 hodin a třífázovou za 6 hodin.^[5]

Wallbox

Wallboxy se používají k domácímu nabíjení, nabíjení na parkovištích nebo například k nabíjení v garážích obchodních center. Wallbox využívá třífázové zapojení a pomocí střídavého proudu může nabíjet výkonem až do 22kW. Na rozdíl od přenosných nabíječek je wallbox značně chytřejší. Wallbox podporuje nabíjení v režimu 3. Wallbox komunikuje s elektromobilem. Pokud to daný typ elektromobilu umožňuje, dobíjení přes wallbox může být až desetkrát rychlejší než přes běžnou 230 V zásuvku. Moderní wallboxy mají

dynamické přidělování výkonu, které určí, jakým výkonem je možné nabíjet tak, aby



Obrázek č.3 - Wallbox Copper SB zdroj [24]

dobíjení nepřetížilo domácí síť a tím nevyhodilo pojistky.

Také můžou naplánovat dobíjení podle tarifu za

elektřinu tak, aby bylo cenově nejvýhodnější. Ceny

wallboxů se pohybují do 60 000 Kč. [6] Například wallbox

Copper SB je třífázová domácí dobíjecí stanice

s výkonem 22 kW. Disponuje univerzální zásuvkou pro

konektory typu 1 a 2. Díky připojení k Wi-Fi a chytré

aplikaci do telefonů může uživatel řídit dobíjení dálkově.

Stanice vytváří statistiky a plánuje dobíjecí časy a výkony

Pokud uživatel má víc elektromobilů, dokáže stanice distribuovat energii do sekundárních

stanic. Celková cena za tuto stanici je 27 890 Kč.

2.4.2. Veřejné dobíjení

Rychlodobíjecí stanice

Rychlodobíjecí stanice jsou DC dobíjecí stanice. Stanice mají výkony od 50kW až do

180kW. Velkým průkopníkem rychlodobíjecích stanic je společnost ABB. Tato společnost

letos představila dobíjecí stanici Terra 184, která umožní nabíjet tři vozy zároveň

s nabíjecím výkonem až 180kW bez kapalinou chlazeného kabelu. Tato stanice navíc

potřebuje prostor o velikosti pouze 0,5 m². Tím je stanice použitelná jak na čerpací stanice,

tak i do měst. Společnost také myslela na renovaci starších dobíjecích stanic ABB. Proto

půjdou starší modely stanic renovovat na tento výkonnější typ. [13]

Supercharger

Automobilka Tesla minulý rok představila novou dobíjecí stanici Supercharger V3.

Tyto dobíjecí stanice nabízí nabíjení stejnosměrným proudem s výkonem až 250 kW. Tesla

uvádí, že supercharger je schopen dobíjet elektromobil Tesla Model 3 long range rychlostí

1000 mil/hod. Tyto dobíjecí stanice jsou navrženy tak, aby každý zákazník dobíjel na plný

výkon, i když nebude u dobíjecí stanice dobíjet sám. Tím doba dobití elektromobilu klesne

přibližně na 15 minut. Automobily od Tesly navíc zahřívají před nabíjením baterie na

optimální dobíjecí teplotu a tím zkrátí dobíjení o 25 %. [14] V České republice však tento typ

dobíjecí stanice ještě nenajdeme. Nejbližší Supercharger V3 najdeme v Německém Hermsdorfu, který je vzdálený asi 300 km od Prahy. V České republice najdeme pouze Superchargery typu V2, které dokáží nabíjet s výkonem až 150 kW. ^[15] Na těchto dobíjecích stanicích však můžou dobíjet pouze elektromobily od firmy Tesla.



Obrázek č.4 - Tesla Supercharger zdroj: [25]

Dobíjecí stanice s bateriemi

Pokud nabíjíme elektromobil z elektrické sítě v místě, kde není dostatečná výkonová kapacita, je třeba kapacitu navýšit. To je možné buď posílením distribuční sítě elektrické energie nebo skladováním energie přímo v dobíjecích stanicích v bateriových systémech nebo jiných podobných zařízeních. Tím snížíme nároky na odběr ze sítě. Například v Praze v Holešovicích společnost Pražská energetika postavila v roce 2018 rychlonabíjecí stanici, která vyrábí elektřinu z fotovoltaické elektrárny o výkonu 7,35 kWp. Tu ukládá do baterií s využitelnou kapacitou 87kWh. Využitím baterií snižuje stanice nároky na připojení k síti.

^[7] Za pomoci dobíjecí stanice kombinované s akumulací energie v bateriích lze také optimalizovat využití sítě v průběhu dne, například v čase energetické špičky. ^[3]

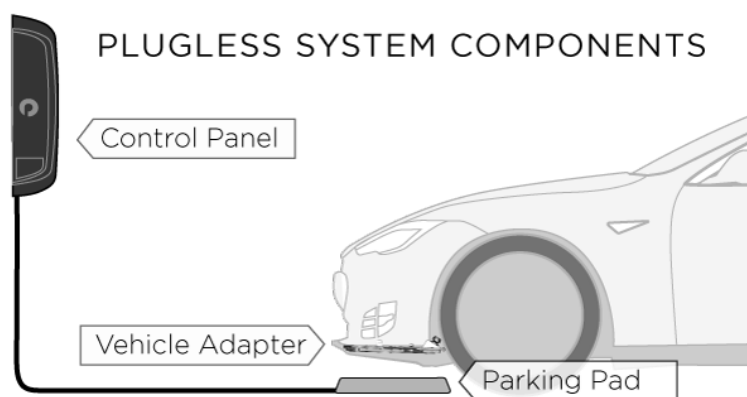


Obrázek č.5 - Dobíjecí stanice Praha - Holešovice [7]

2.5. Budoucnost dobíjení

2.5.1. Indukční dobíjení

Složité dobíjení elektromobilů je stále jedním z hlavních problémů elektromobility. Bezdrátové dobíjení by zjednodušilo dobíjení a eliminovalo problémy s nabíjením vodivým připojením. Bezdrátové nabíjení je možné pomocí elektromagnetické indukce, která vzniká mezi dvěma cívkami. Jedna je ukrytá na silnici a druhá přímo v elektromobilu. Tento typ nabíjení by zvýšil bezpečnost a odolnost nabíjecí stanice. Cena takové stanice by byla však značně vyšší. ^[18] Účinnost indukčních dobíjecích stanic je nižší než u drátových. Tím se zvyšuje doba dobíjení. Společnost Evatran vyrábí již pro několik elektromobilů indukční dobíjecí stanici plugless. Plugless se vyrábí podle typu aut s výkonem 3,6 kW nebo 7,2 kW. ^[19] Další automobilka, která chce proniknout na trh s indukčním nabíjením je Jaguar. Jaguar chce v Oslu dobíjet své elektromobily I-Pace indukčním dobíjením. Oslo by pak tyto vozy využívalo jako taxíky. Dobíjecí desky by měly mít výkon kolem 50 kW. ^[20]



Obrázek č.6 - Schéma indukčního dobíjení plugless [21]

2.5.2. Chakratec

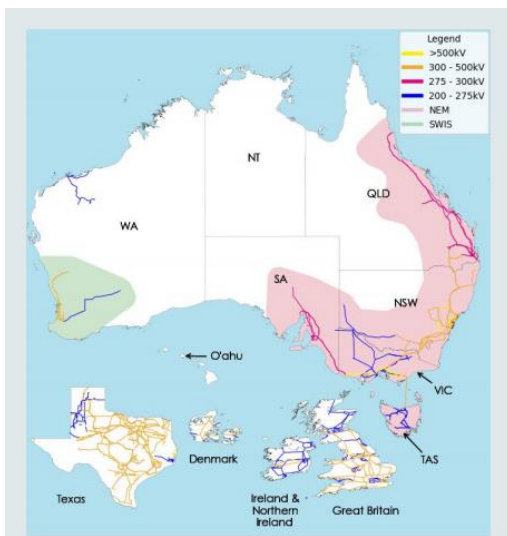
Společnost Chakratec vyvinula technologii Kinetic Power Booster, která usnadňuje nasazení rychlých nabíjecích stanic kdekoli, včetně míst se slabou sítí. Nabíjecí stanice využívá setrvačnick, který nahrazuje baterii v dobíjecím stojanu. Pomocí výkonové rezervy v síti dobíjecí stanice roztočí setrvačnický a tím uloží energii do doby, až bude potřeba dobíjet elektromobil. Takovou dobíjecí stanicí postavila Pražská energetika ve spolupráci se Škodou Auto v pražských Letňanech. Dobíjecí stanice roztáčí deset 150kg setrvačnicků. Díky této technologii dokáže dobíjecí stanice dobíjet dvojnásobným výkonem, než co by zvládla dobíjecí stanice z dostupné kapacity sítě. [22,23]



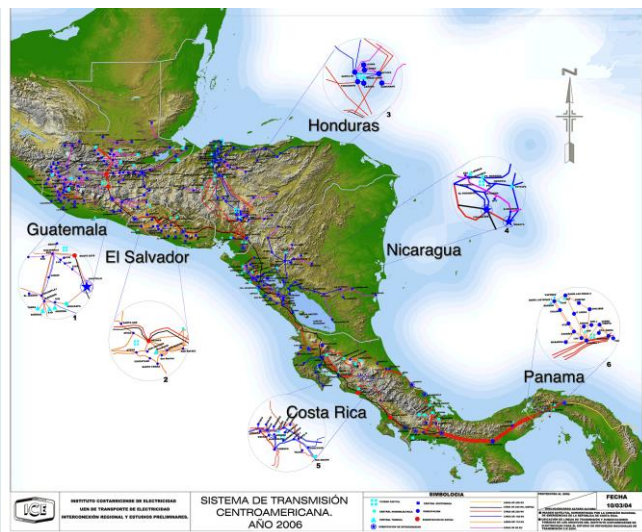
Obrázek č.7 - Dobíjecí stanice Chakratec v Letňanech [22]

3. Off-grid dobíjecí stanice

V budoucnu dobíjecí stanice připojené k elektrické síti budou mít na síť špatný vliv. Vznikem nových stanic by mohlo docházet k přetížení a budou potřeba rekonstrukce a zvýšení kapacity distribučních sítí. Tento problém by mohly vyřešit off-grid dobíjecí stanice, které by byly nezávislé na elektrické síti. Tyto dobíjecí stanice by využívaly zdroj energie, který by byl přímo v místě dobíjecí stanice. To by pomohlo také k vybudování nových dobíjecích stanic v oblastech, kde je špatně dostupná elektrická síť. Vybudování off-grid stanic by bylo ekonomicky výhodnější než zavedení elektrické sítě do těchto špatně dostupných oblastí. Tyto oblasti v Evropě moc nenajdeme, ale například ve střední Americe nebo v Austrálii ano. Ani ve středozemí USA není pokrytí elektrickou sítí ideální. Kvůli přírodním podmínkám není v těchto oblastech tak hustá elektrická síť jako v Evropě. Využitím obnovitelných zdrojů nebo dostupných paliv pro palivové články v dané oblasti by se řešení problému s elektrickou sítí značně zjednodušilo.



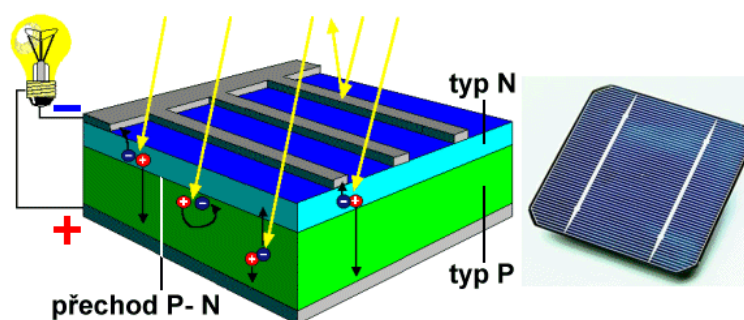
Obrázek č.8 - Rozložení elektrické sítě v Austrálii [28]



Obrázek č.9 - Rozložení elektrické sítě ve střední Americe [27]

3.1. Fotovoltaické off-grid dobíjecí stanice

Fotovoltaický článek je polovodičová dioda využívající PN přechod. PN přechod je tvořen dvěma vrstvami polovodičů. Křemíkový polovodič P je anoda, která obsahuje přebytek záporně nabitých elektronů. Na desce polovodiče P je tenká vrstva polovodiče typu N, která obsahuje kladné díry. Při osvětlení fotovoltaického článku se začnou elektrony z polovodiče P uvolňovat a přesouvat do polovodiče typu N. Mezi těmito vrstvami vznikne PN přechod, na kterém se vytvoří napětí cca 0,5 V. Tyto články zapojené sériově nebo paralelně tvoří fotovoltaický panel.

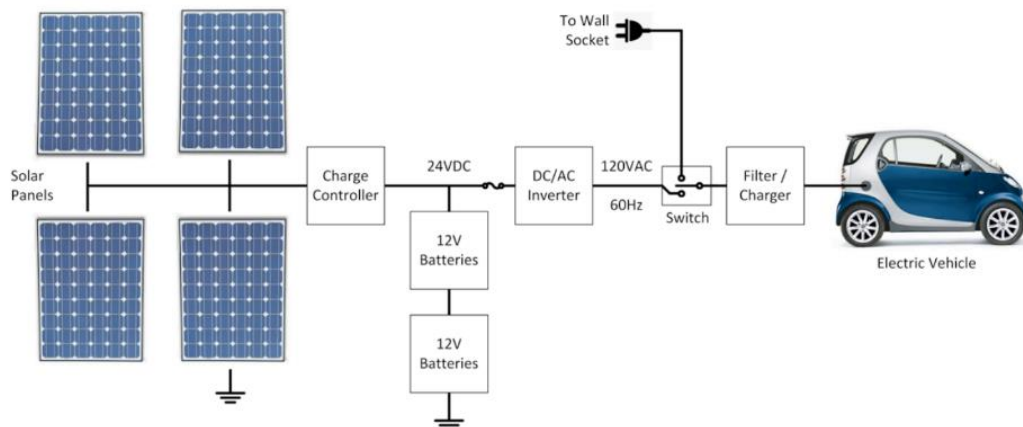


Obrázek č.10 - Schéma PN přechodu [30]

Společnost MTECH Laboratories vytvořila prototyp dobíjecí stanice pro jeden elektromobil, který nazvala Sun-Car-Kit. Sun-Car-Kit si vyrábí elektřinu pouze pomocí čtyř solárních panelů umístěných na střeše dobíjecí stanice s celkovým výkonem 1020 Wp.^[29] Střecha zároveň slouží nejen k ochraně elektromobilu, ale také k ochraně baterií před přehříváním od slunečního záření. Výsledný prototyp dokáže bez problému dobíjet malý elektromobil typu Smart EQ ForTwo. Při testování v New Yorku dokázala stanice nabíjet baterie výkonem 1-4 kWh i v nepříznivých podmínkách, když bylo zataženo. Při veřejném využívání je možné výkon zvýšit přidáním fotovoltaických panelů nebo pokud je to pro danou oblast vhodné, vytvořit kombinaci fotovoltaiky a malé větrné elektrárny. Ceny elektřiny z fotovoltaických panelů v posledních letech výrazně klesly. V USA v roce 2017 byla cena elektřiny z fotovoltaiky na hodnotě 0,06\$/kWh. Tím, že počet fotovoltaických panelů stále roste, je cílem do roku 2030 elektřinu z fotovoltaiky ještě o polovinu zlevnit.



Obrázek č.11 - Návrh fotovoltaické stanice [29]

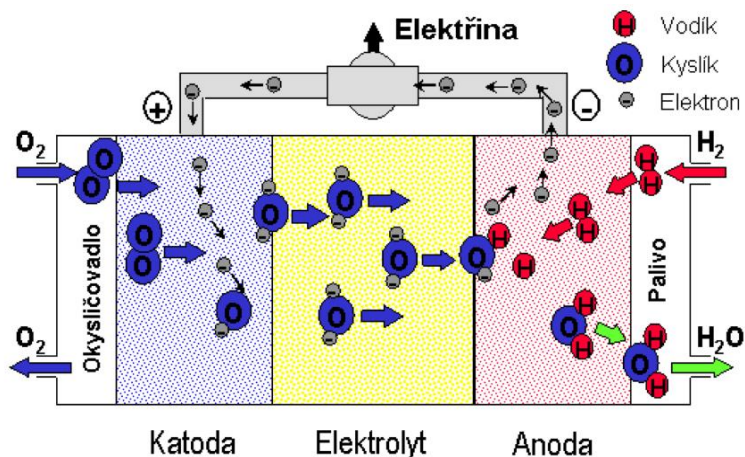


Obrázek č.12 - Schéma dobíjecí stanice Sun-Car-Kit [29]

3.2. Off-grid dobíjecí stanice na palivové články

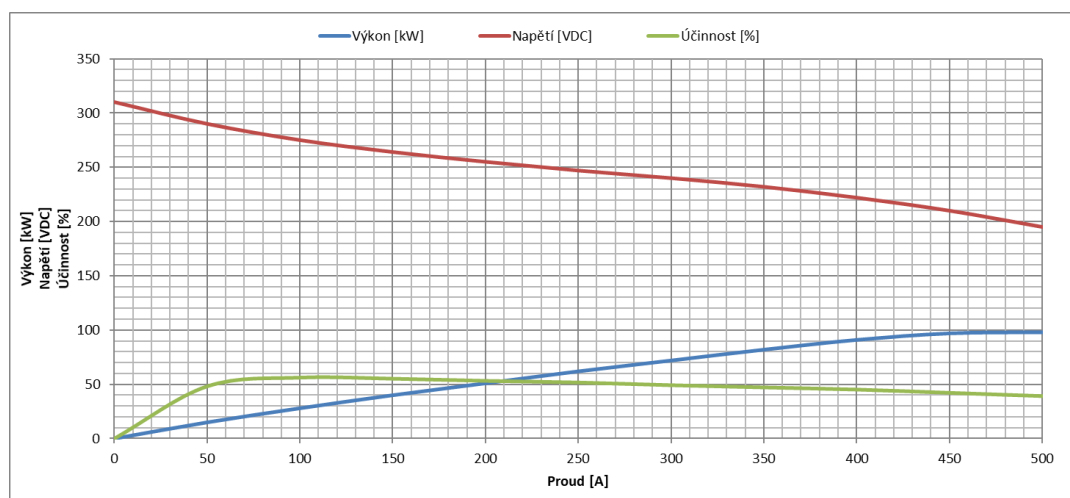
3.2.1. Princip Palivových článků

Palivový článek je elektrochemický článek, který za kontinuálního přívodu paliva a oxidantu přeměňuje při oxidačně-redukční reakci chemickou energii paliva na energii elektrickou. Kromě elektrické energie je vedlejším produktem reakce teplo. Palivový článek používá inverzní elektrolýzu. Oproti bateriím, které jsou na principu elektrolýzy, se však elektrody a elektrolyt palivového článku nemění. Anoda přijímá palivo a katoda oxidant. Na katodě se oxidant (většinou kyslík) redukuje na aniont a prochází k anodě. [34] Na anodě se pak palivo redukuje s kyslíkovým aniontem. Redukcí se uvolňují elektrony, díky kterým vzniká elektrický proud. Vedlejším produktem je voda. [35]



Obrázek č.13 - Princip palivového článku [35]

Účinnost palivových článků se pohybuje okolo 60 %. Pokud však dokážeme využít odpadní teplo, může být účinnost až 85 %. Účinnost článků je však proměnlivá. Mění se podle změny odebíraného výkonu a změny napětí.



Obrázek č.14 - Graf závislosti účinnosti, napětí a výkonu na proudu generovaném palivovým článkem [43]

3.3. Paliva

Nejčastěji používané palivo je vodík. Jeho největší výhodou je, že dokáže reagovat v palivovém článku přímo. Dalšími možnostmi jsou uhlíkatá paliva jako je například methanol, ethanol, bioplyn nebo zemní plyn. Tyto paliva se řadí do nepřímých paliv. Paliva tohoto typu pomocí reformování uvolňují vodík ale i oxidy uhlíku, které následně odstraníme. Celý tento proces se provádí v takzvaných konvektorech. Jako oxidant se využívá kyslík. Ten musí být u alkalických palivových článků (AFC) v čisté formě. U ostatních palivových článků můžeme použít vzduch z okolí, který kyslík obsahuje.

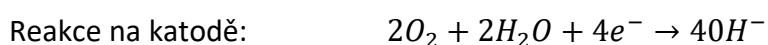
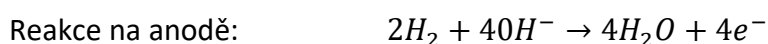
3.4. Typy palivových článků

Palivové články můžeme rozdělovat podle několika kritérií. Podle teploty, elektrolytu nebo podle paliva. Podle teploty můžeme rozdělit palivové články na nízkoteplotní a vysokoteplotní, podle toho, jakou mají provozní teplotu. Nízkoteplotní mají provozní teplotu 80-120°C. Vysokoteplotní mají provozní teplotu vyšší jak 160°C.

Dalším rozdělením je podle typu používaného elektrolytu.

AFC palivové články

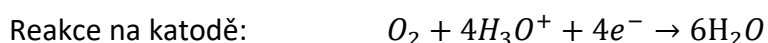
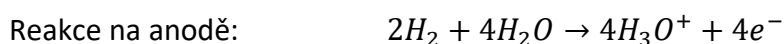
AFC palivové články neboli Alkalické palivové články používají jako elektrolyt hydroxid draselný. Tento typ palivového článku patří mezi neúčinnější.^[38] Dosahuje účinnosti 60-70 %. Jako palivo se používá vodík a jako oxidant je potřeba čistý kyslík nebo kyslík zbavený CO₂. Tento typ palivového článku je totiž velmi náchylný na CO₂ v oxidantu, který poškozují elektrolyt. Provozní teplota se pohybuje okolo 70°C. Nízká provozní teplota umožňuje místo platinového katalyzátoru používat nekovové katalyzátory jako je Nikl. Tím se výrazně sníží cena a rychlost reakce. Díky nízké provozní teplotě se alkalické palivové články používají v kosmu, kdy byly použity v programech Apollo, Skylab nebo Space Shuttle. Astronauti využívali i pitnou vodu, která vzniká při reakci jako vedlejší produkt.



+ elektrická energie + teplo [38]

PEMFC palivové články

Palivový článek s Proton-vodivou membránou se často díky svým rozměrům a pevného polymerního elektrolytu využívají k mobilnímu použití.^[42] Jako elektrolyt palivový článek využívá iontoměničovou polymerní membránu, která je na bázi vody. Voda zajišťuje v membráně dobrou protonovou vodivost. Musíme tedy membránu zvlhčovat. Problém může vzniknout v chladných podmínkách, kdy může membrána zamrznout. Kyselé polymerní membrány jsou citlivé na ionty obecných kovů, a proto musí být katalyzátor na bázi platiny.^[42] Pracovní teploty jsou stejně jako u typu AFC nízké. Pohybují se pod 100 °C. Jako palivo se používá vodík nebo methanol. Oxidantem může být kyslík nebo vzduch. Účinnost článku se pohybuje okolo 40–60 %. Palivové články PEMFC se používají automobilovém průmyslu nebo jako vedlejší generátory elektřiny v domácnostech či například v letadlech.



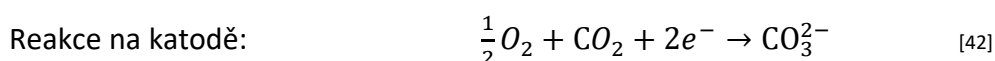
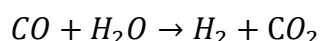
[42]

PAFC palivové články

Palivové články s elektrolytem z kyseliny fosforečné na rozdíl od předchozích článků nejsou tak citlivé na CO.^[42] Jako oxidant se tedy může používat jak kyslík, tak i vzduch. Katalyzátor musí být platinový. Tyto články mají již vyšší pracovní teplotu okolo 180°C. Je možné tedy dobře využít odpadní teplo. Tím se řadí na pomezí mezi nízkoteplotní a vysokoteplotní. Jako palivo se používají uhlíkatá paliva jako je zemní plyn nebo bioplyn, z kterých vyrobíme v konvektorech vodík. Velkou nevýhodou je účinnost. Palivové články PAFC patří mezi nejméně účinné. Jejich účinnost dosahuje kolem 55 %. Dalším problémem je pomalé zahřátí na provozní teplotu. Rovnice reakcí jsou stejné jako u článků PEMFC. PAFC se používají jako zdroje elektřiny pro místa, kde není elektrická síť.

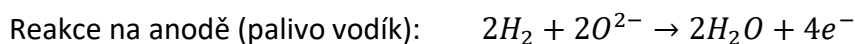
MCFC palivové články

Palivové články MCFC používají elektrolyt z roztavených alkalických uhličitanů.^[42] Patří do vysokoteplotních palivových článků, kdy je jejich pracovní teplota okolo 650 °C. Díky teplotě můžeme použít jako katalyzátor nikl místo vzácných kovů. Oxidanty a paliva používá stejné jako palivový článek PAFC, tedy uhlíkatá paliva nebo vodík a jako oxidanty kyslík či vzduch. Uhlíkatá paliva se mohou reformovat interně.

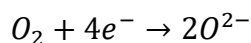


SOFC palivové články

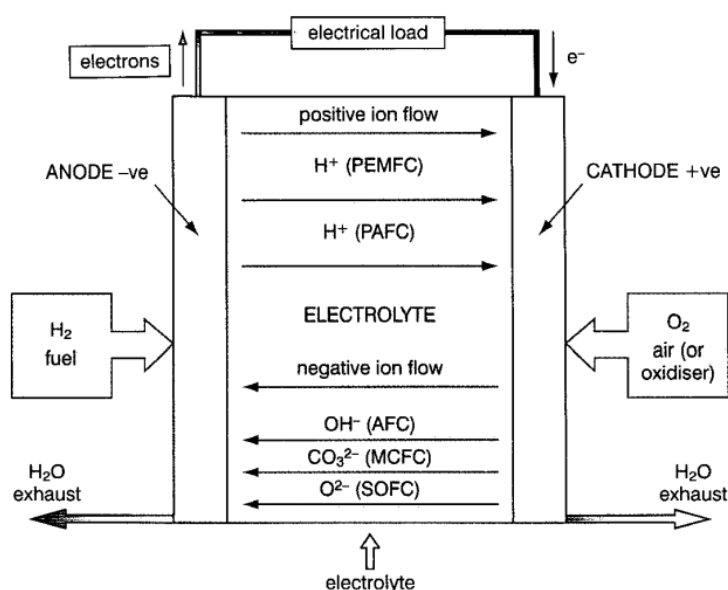
Palivový článek s elektrolytem z pevného oxidu zirkoničitého s příměsí Ytria má největší provozní teplotu z výše uvedených.^[42] Provozní teplota se pohybuje okolo 800 - 1000 °C. Vysoká teplota dovoluje použít levnější nekovový katalyzátor. Uvedení do provozu však trvá delší dobu. Další nevýhodou vysoké provozní teploty je, že článek musí být vytvořen z odolných materiálů. Stejně jako u MCFC je možné interně reformovat uhlíkatá paliva. Účinnost se pohybuje okolo 65 %.



Reakce na katodě:



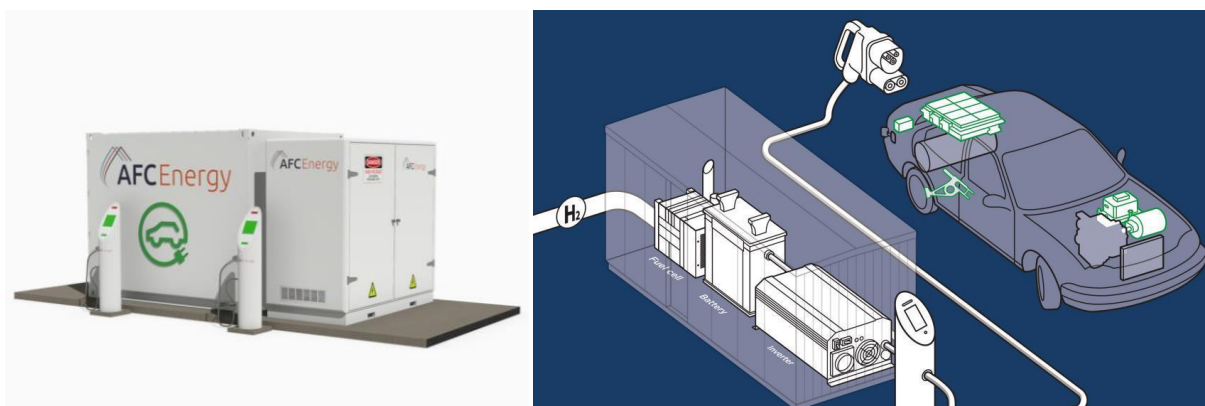
[42]



Obrázek č.15 - Souhrn typů palivových článků [39]

3.5. Příklad dobíjecí stanice na palivové články - H-Power EV charging

Britská společnost AFC Energy vytvořila dobíjecí stanici na vodíkový palivový článek. Dobíjecí stanice používá systém H-Power, který je schopen s co největší účinností uchovávat energii v bateriích pro případné dobíjení elektromobilu. Systém H-Power používá alkalický palivový články HydroX-Cell, které mají výkon 10kW. Celá dobíjecí stanice produkuje jako odpad vodu. Společnosti se podařilo palivový článek, baterie i usměrňovač zabudovat do normalizovaného 40stopého (cca 12 m) kontejneru (viz obrázek č.13). Celý kontejner je dobře izolovaný. Je tak bezpečné tuto dobíjecí stanici používat i ve špatných přírodních podmínkách. [32] Dobíjecí stanice jsou zatím ve dvou variantách. Výkonnější varianta má výkon 160 kW. Baterie mají kapacitu 288 kWh. V roce 2021 však má vyjít nová verze této dobíjecí stanice, která bude mít výkon přes 400kW a kapacitu baterií 360 kWh. Zákazník zaplatí přibližně 9 korun za kWh.

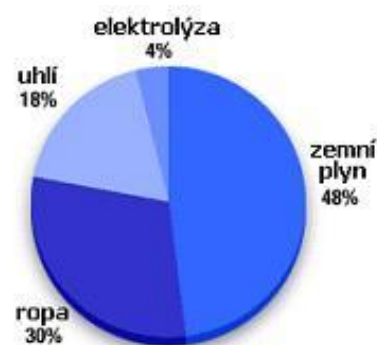


Obrázek č.16 - AFC dobíjecí stanice a její schéma [32,3]

3.6. Vodík

3.6.1. Výroba vodíku

Největším problémem, aby zůstala technologie palivových článků ekologická, je výroba vodíku. Celosvětově se každý den vyrobí přes 127 000 tun vodíku. Bohužel největší podíl vyrábíme pomocí fosilních paliv. Mezi výroby vodíku z fosilních paliv řadíme parní reforming zemního plynu, parciální oxidaci ropných frakcí a zplynování uhlí. Další možnost výroby vodíku je z obnovitelných zdrojů. Vodík můžeme získat pomocí elektrolýzy, vysokoteplotního rozkladu vody nebo pyrolýzou biomasy. Vodík se vyrábí vždy separací od sloučeniny. Vodík tedy můžeme získat také při získávání jiné molekuly. Například při výrobě chloru a hydroxidu sodného je jako vedlejší produkt v menším množství vodík. Pokud by se vodík vyráběl jako vedlejší produkt jiných výrobních procesů, byla by výroba značně levnější.



Obrázek č.17 - Rozložení způsobu výroby vodíku [44]

Parní reforming zemního plynu

Parní reforming zemního plynu využívá metan ze zemního plynu, který reaguje s vodní párou o teplotě 700°C–1000°C.^[46] Reakce probíhá při tlaku 3–25 barů. Pomocí katalyzátoru vzniká z reakce vodík, oxid uhelnatý a malé množství oxidu uhličitého. Tato reakce je endotermická, je tedy potřeba dodávat teplo. Teplo získáme spalováním zemního plynu. Pro snížení emisí se dá však použít teplo z jiných energetických procesů. Využívá se

například teplo z jaderných elektráren, které by jinak zaniklo v chladících věžích. Druhou fází procesu je reakce shift. Tato reakce využije oxid uhelnatý a pomocí katalyzátoru a další přidané páry vznikne vodík a oxid uhličitý. Ten se v závěrečné fázi odstraní spolu s dalšími nečistotami. Tato metoda patří mezi nejčastější a neúčinnější. Účinnost se pohybuje okolo 80 %. Při využití jaderné elektrárny jako zdroje tepla se snižují emise a náklady na výrobu.

Reformní reakce: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

Shift reakce: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

[46]

Elektrolýza

Možnou budoucností ekologické výroby vodíku je elektrolýza. Proces elektrolýzy jsem popsal v kapitole 3.2.1. Princip palivových článků. Palivové články totiž fungují na inverzní elektrolýze. Při klasické elektrolýze je to naopak. Do vodného elektrolytu vedeme stejnosměrný proud, který ho štěpí. Na katodě reaguje kationt vodíku, ze kterého následně vznikne plyn. Odebráním plynu získáváme vodík. K výrobě potřebujeme tedy pouze elektrickou energii a vodu. Jednou z možností je používat přebytečnou elektrickou energii. Pokud je použita elektrická energie čistě z obnovitelných zdrojů energie, mluvíme o Zeleném vodíku. Zelený vodík je tedy vodík, který je vyrobený bez vzniku emisí. Nevýhodou této technologie jsou vysoké náklady na výrobu a účinnost, která je okolo 30 %.

Speciálním typem výroby vodíku je jeho výroba pomocí vysokoteplotní elektrolýzy. Reakce je inverzní k reakci v palivovém článku SOFC. Do reakce dodáváme stejné množství vodní páry a vodíku. Vzniká směs 75 % vodíku a 25 % páry. Nahrazujeme tedy část elektrické energie teplem. Při aplikaci s využitím jaderného reaktoru pro získání tepla může účinnost výroby vodíku dosahovat až 50 %.

3.6.2. Skladování vodíku

Sladování vodíku kvůli jeho nízké hustotě není snadné. Pro efektivní skladování musíme zvýšit hustotu vodíku pomocí zvýšení tlaku nebo snížení teploty. Vodík se tedy skladuje buď jako stlačený plyn, nebo jako kapalina o velmi nízké teplotě. Další alternativní možností je skladovat vodík jako pevnou látku v jiném materiálu.

Skladování plynného vodíku

Skladování plynného vodíku pod tlakem je nejjednodušší a také nejčastější způsob skladování. Vodík se stlačí na tlak 700 barů. Při tomto tlaku má vodík hustotu 42 kg/m^3 . Pro toto uložení se používají buď nízkouhlíkaté nebo legované ocelové bezešvé láhve, nebo tlakové láhve z kompozitních materiálů. Nevýhodou láhví je jejich vysoká hmotnost a poměrně velký potřebný objem v porovnání s nádržemi na benzin nebo naftu. Kompozitní tlakové láhve se skládají z několika vrstev. Vnitřní vrstva polymeru nebo tenká vrstva kovu zabraňuje úniku plynu. Na této vrstvě je nanesená vnitřní a vnější vrstva kompozitního materiálu. Celá láhev je chráněná proti deformaci další vrstvou z polymeru.



Obrázek č.18 - Vodíková tlaková láhev [54]

Skladování kapalného vodíku

Kapalný vodík má hustotu 71 kg/m^3 . Pro dosažení kapalného vodíku musíme snížit teplotu na -253°C . Bohužel dosažení takové teploty je ekonomicky velmi náročné. 40 % energie uložené v palivu spotřebujeme pro dosažení kapalného vodíku. Kryogenní láhve, ve kterých je kapalný vodík skladován, jsou z velmi odolných materiálů. Láhve musí být dobře izolované, aby udrželi nízkou teplotu. Při přenosu tepla z okolí se začne kapalný vodík vypařovat a tím se začne zvyšovat tlak v nádobě. Aby nedošlo k destrukci nádoby, musí mít nádoba regulaci tlaku. Tím se plynný vodík vypouští do okolí. Ztráty dosahují až 3 % denně. Řešením tohoto problému je odebírání plynného vodíku do jiné tlakové nádoby. Tento typ skladování se používá v astronautice.

3.6.3. Transport vodíku

Vodík můžeme přepravovat pomocí normovaných kontejnerů silniční a železniční dopravou. Pro stlačený plyný vodík se používají menší dlouhé tlakové nádoby, které jsou vyskládány do kontejneru. Tlak bývá kvůli omezením nižší než u statického skladování vodíku. Bývá okolo 250 barů. Díky použití kompozitních materiálů, jsou nádrže lehčí, a proto mohou transportovat nákladní vozidla větší množství vodíku. Přívěš jednoho nákladního vozidla může převážet až 720 kg vodíku. Kapalný vodík se převáží v kryogenních nádržích. Tyto nádrže nejsou tak natlakované a přepraví větší množství vodíku než nádrže na plyný vodík.



Obrázek č.19 - Přeprava plyného vodíku [50]

Další možností přepravy plyného vodíku je přeprava potrubím. Tato přeprava je vhodná do oblastí s velkou poptávkou po vodíku. V dnešní době se takto vodík přivádí vodík do různých továren. Tlak vodíku v potrubí bývá kolem 10 až 20 barů. Průměr potrubí se pohybuje v rozmezí 25 až 30 cm. Výstavba potrubí je poměrně drahá. Následný provoz se však řadí mezi nízkonákladové.

Doprava pomocí nákladních automobilů nebo zavedeným potrubím je vhodná pro dobíjecí stanice s vodíkovým palivovým článkem. Je to vlastně stejný princip jako je u dopravy nafty a benzínu do dnešních klasických čerpacích stanic.

3.7. Závěr teoretické části

V teoretické části mé bakalářské práce jsem popsal druhy a režimy dobíjení elektromobilů, které se vyskytují a jsou provozovány po celém světě. Dobíjecí stanice jsou v současné době napájeny buď střídavým nebo stejnosměrným proudem z elektrické sítě. To je nyní již běžná praxe. Vývoj jde však rychle dopředu, hledají se alternativní způsoby dobíjení. Podporou pro snížení nároku na kapacitu elektrické sítě se mohou stát jiné zdroje napájení dobíjecích stanic pro elektromobily. Některé zdroje již nyní pracují jako doplněk elektrické sítě. Například fotovoltaické články používané v kombinaci s běžným typem napájení z elektrické sítě. Dalším nadějným způsobem, který je zatím provozován jen ve zkušebních provozech, je použití vodíkových palivových článků. Z porovnání vlastností známých typů vodíkových palivových článků se jeví jako jeden z nejvýhodnějších palivový články PEMFC. Jednak pro svoji vysokou účinnost, relativně nízkou pracovní teplotu, a především proto, že jako oxidant je možné použít vzduch bez jakékoliv předchozí úpravy. Pro tyto své vlastnosti má tento palivový článek již dnes využití jako vedlejší generátor v průmyslových provozech i domácnostech.

Zdá se, že palivový článek PEMFC má příznivou budoucnost v oblasti dobíjecích stanic pro elektromobily. Rozhodl jsem se tedy v praktické části mé práce podrobněji zabývat touto technologií a navrhnout dobíjecí stanici napájenou vodíkovým palivovým článkem.

Pro praktickou část použiji palivový článek PEMFC. Kromě samotného dobíjení bych rád navrhl efektivní využití odpadního tepla, které se při reakci v palivovém článku vytváří. Palivo, tedy vodík, budu dovážet k dobíjecím stanicím nákladní dopravou nebo pomocí potrubního systému, tak jako se dopravují pohonné hmoty na čerpací stanice. Vodík budu skladovat v plynném skupenství. Tento druh skladování je nejjednodušší. K dobíjení elektromobilů z vodíkového palivového článku využiji rychlodobíjecí typ dobíjecí stanice. energii vyrobenou palivovými články PEMFC budu uchovávat v bateriích, které zabezpečí dostatek výkonu pro rychlodobíjení.

4. Návrh vodíkové dobíjecí stanice

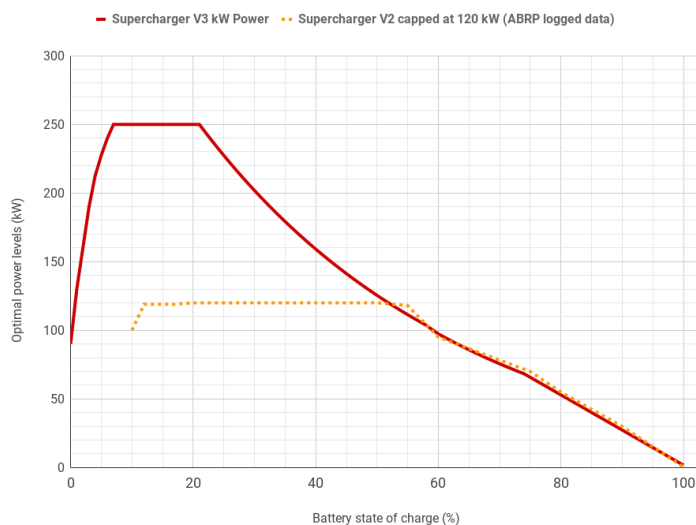
V následující části mé bakalářské práce navrhnu dobíjecí stanici elektromobilu, která bude napájena z vodíkových palivových článků. V první řadě musím vytvořit modelový případ dobíjení baterie elektromobilu ze stojanu. Z tohoto modelu zjistím čas dobíjení jednoho elektromobilu a počet potřebných stojanů na stanici. Z modelového příkladu určím další parametry stanice. Zjistím kolik energie musím stanici dodávat, a podle toho navrhnu baterii ve stanici, která bude tyto stojany napájet. Podle energie také optimalizuji počet a velikosti palivových článků umístěných u stanice. Z palivových článků následně zjistím spotřebu vodíku, díky které navrhnu frekvenci dodávání a uchovávání vodíku. Výsledné optimalizované stanici vypočítám finanční bilanci.

4.1. Modelová situace maximální vytíženosti

Jako příklad pro výpočet jsem si stanovil dobíjecí stojany Tesla supercharger V2 s udávaným výkonem 150 kW. Dobíjecí stanice využívá napětí 480 V. Z rychlého průzkumu mi vyšlo, že průměrná kapacita baterií v elektromobilech je cca 80 kWh. Uvažuji využitelnou kapacitu baterie 70 %, a že na rychlodobíječe se nebude dobíjet do 100 % SOC. Jako modelovou hodnotu ukončení nabíjení volím obvykle používanou hodnotu 80 %. Dobíjet se tedy bude jen mezi 10 a 80 %. Dobíjecí stanice v modelové situaci se nachází v oblasti se špatnou, či žádnou elektrickou sítí. V těchto místech projíždí automobily především přes den. Dobíjecí stanice bude mít 4 stojany, které přes den od 6:00 do 22:00 budou maximálně vytíženy. Mým cílem je navrhnout dobíjecí stanici tak, aby za celý den mohly elektromobily dobíjet optimální výkonovou křivkou.

Tesla Model 3 Long Range on Supercharger V3 Beta - Estimated Charging Curve

Estimated charging power in optimal conditions, typical power will be lower, beta power levels may be modified for release version

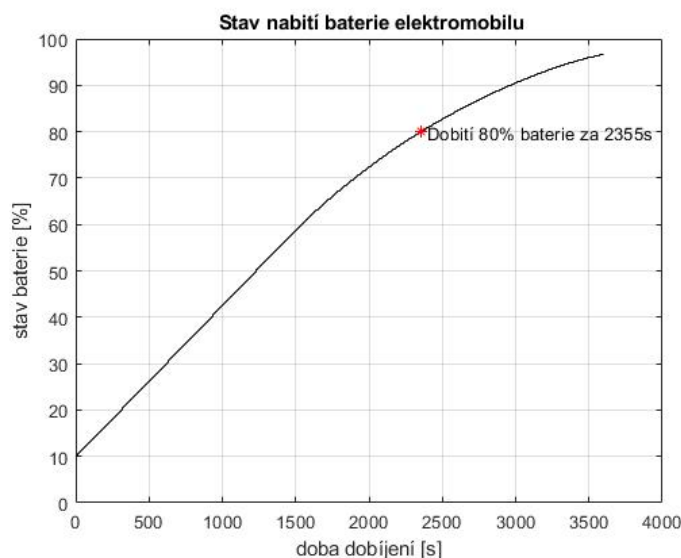


Obrázek č.20 - Výkonová křivka dobíjení – Tesla Supercharger V2

Z výkonové křivky (obrázek č.20) je patrné, že dobíječka dobíjí na maximální výkon 120kW od 10 % do 55 %. Od 55 % do 80 % stavu baterie výkon dobíječky lineárně klesá.

V programu Matlab Simulink jsem si nasimuloval dobíjení elektromobilu s kapacitou baterie 80 kWh a s napětím 375 V na baterii při 10 % kapacity baterie. Využil jsem k tomu bloky CCCV battery charge a Battery. Tato simulace má již v sobě započítanou účinnost dobíjení, která se v čase mění. Obecně se čas dobíjení spočítá jako:

$$\text{čas dobíjení} = \frac{\text{kapacita baterie [kWh]}}{\text{výkon dobíječky [kW]}}$$



Obrázek č.21 - Graf závislosti stavu dobíjení baterie na čase dobíjení

Na obrázku č.21 je znázorněn průběh dobíjení baterie z 10 % kapacity za jednu hodinu. Z grafu můžeme vyčíst, že dobití z 10 % na 80 % kapacity baterie trvá 2 355 s. Jeden elektromobil se tedy bude dobíjet přibližně 40 minut. Pro modelový případ budu předpokládat, že celková doba příjezdu, zapojení elektromobilu, dobití, odpojení a následné vyměnění elektromobilů bude trvat 50 minut.

Rovnice pro výpočet počtu obslužených elektromobilů od 6:00 do 22:00:

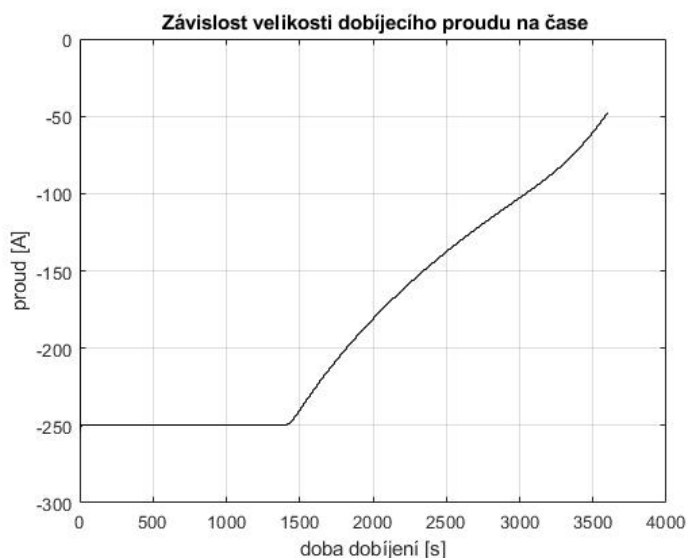
$$\text{počet elektromobilů} = \frac{\text{časové rozmezí} * \text{počet stojanů}}{\text{doba dobíjení elektromobilu včetně příjezdu a odjezdu}}$$

$$n_{EV} = \frac{16 * 60 * 4}{50} = 76,8$$

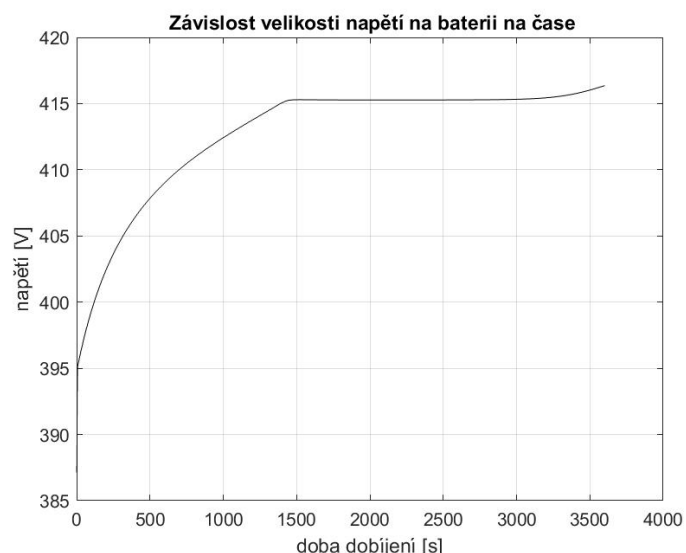
Maximální počet elektromobilů pro tuto situaci je tedy 77 elektromobilů denně.

4.1.1. Průběh dobíjení elektromobilu

Dobíjení do 55 % kapacity baterie provádíme konstantním proudem. Napětí na baterii v této fázi roste. Po překročení 55 % kapacity baterie, začne dobíjecí stanice dobíjet elektromobil konstantním napětím. Proud začne lineárně klesat a tím začne lineárně klesat i výkon. To má za důsledek zpomalení dobíjení, jak můžeme vidět v pravé části dobíjecí křivky na obrázku č.21. V následujících dvou grafech vidíme průběh napětí na baterii a průběh dobíjecího proudu.

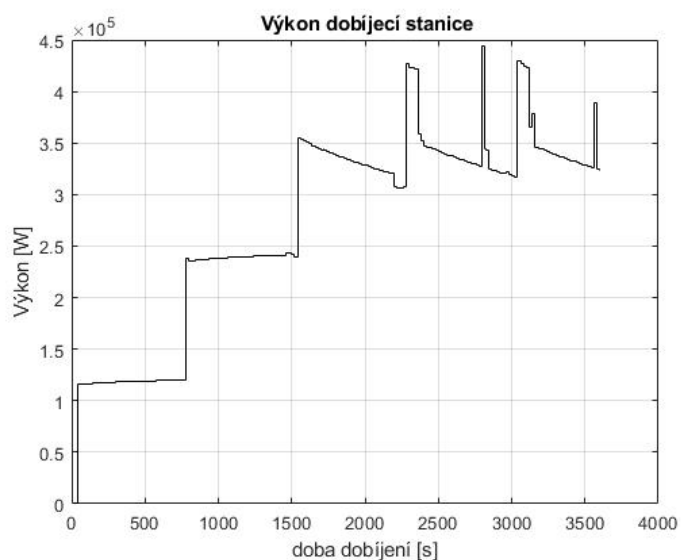


Obrázek č.22 - Graf průběhu dobíjecího proudu



Obrázek č.23 - Graf průběhu napětí na baterii při dobíjení

V optimálním případě budou elektromobily přijíždět postupně tak, aby se na dobíjecích místech střídaly. Pro pravidelné střídání elektromobilů musí přijíždět elektromobily každých 12,5 minuty. Celkový maximální výkon nebude proto tak velký, protože některé elektromobily již budou ve fázi dobíjení, kdy baterie v elektromobilu nevyužívá maximální výkon dobíječky. Pro vytvoření grafu závislosti celkového potřebného výkonu dobíjecí stanice na čase jsem použil simulink, kde jsem nasimuloval první hodinu tohoto modelového příkladu.



Obrázek č.24 - Potřebný výkon dobíjecí stanice za první hodinu modelové situace

4.1.2. Výpočet optimální velikosti baterie dobíjecí stanice a potřebného výkonu palivových článků

V modelovém případě, kdy od 6:00 do 22:00 se nepřetržitě budou dobíjet elektromobily u 4 stojanů, potřebujeme, aby baterie dobíjecí stanice měla dostatečnou kapacitu. Pro výpočet nutné kapacity baterie je potřeba znát celkovou energii, kterou za den elektromobily spotřebují.

Výpočet celkové energie potřebné k dobíjení za den:

$$E_{den} = \text{dobíjená kapacita baterie elektromotoru} * \text{počet elektromobilů za den}$$

$$E_{den} = 56 * 77 = 4,312 \text{ MWh}$$

Hodnota 4 312 kWh je poměrně velká. Baterie tedy bude dobíjená palivovými články nepřetržitě po celý den. Minimální výkon palivových článků musí být takový, aby dokázal vyprodukovat denně energii 4 312 kWh. Palivový článek by měl dobít v noci za 8 hodin baterii, a zároveň musí společně s baterií dokázat dobít všech 77 elektromobilů denně podle ideální dobíjecí křivky. Výkon palivového článku a kapacita baterie musí splňovat následující rovnice:

Pro noc:

$$P_{FC} * 8 = C_{Bat}$$

Pro denní spotřebu:

$$E_{den} = P_{FC} * 16 + C_{Bat}$$

Z těchto dvou rovnic vychází rovnice pro výpočet minimálního výkonu palivového článku:

$$P_{FC \min} = \frac{E_{den}[kWh]}{t[hod]} = \frac{4312}{24} = 179,66 \text{ kW} \cong 180 \text{ kW}$$

Z výkonu palivového článku následně vypočtu potřebnou kapacitu baterie u dobíjecí stanice. Předpokládám, že SOC baterie by neměla klesnout pod 0,1 % její kapacity.

$$C_{B-90\%} = E_{den} - P_{FC} * 16 = 4312 - 180 * 16 = 1432 \text{ kWh}$$

4.1.3. Volba baterie

Pro tento model dobíjecí stanice volím kontejnerovou baterii od společnosti Delta Group. Tato společnost vyrábí baterie zabudované do 22 stop dlouhých kontejnerů. Maximální kapacita jednoho kontejneru je 1,641 MWh a maximální výkon 2 MW. Napětí baterie dosahuje okolo 900 V. [55]



Obrázek č.25 - Kontejner s baterií o kapacitě 1,641 MWh [55]

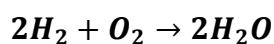
4.1.4. Volba palivového článku

Jak je vypočteno v kapitole 5.3, celkový výkon zapojených palivových článků musí mít tedy víc než 180 kW. Pro svůj návrh dobíjecí stanice volím tři palivové články FCmoveTM-HD od společnosti Ballard. Výrobce udává maximální výkon 70 kW. Důležité hodnoty, které zjistíme z katalogu jsou následující:

Tabulka č.1 - Vlastnosti palivového článku FCmoveTM-HD [56]

Vlastnosti	Označení	Hodnoty	Jednotky
Výkon	P_{max}	70	kW
Provozní proud	I	20-240	A
Provozní napětí	U	250-500	V
Rozměry		1525x812x367	mm
Účinnost	η	57	%
Jmenovitý výkon	P	62	kW

Pro simulaci v programu Simulink a pro další výpočet velikosti vodíkových nádrží musíme vypočítat spotřebu kyslíku a vodíku palivového článku. Při výpočtech vycházíme z celkové reakce na palivovém článku. V následujících výpočtech vycházím z rovnic, které se nacházejí v knize Fuel Cell Systems Explained, Second Edition. [57]



4.1.5. Spotřeba kyslíku a vodíku

$$O_{2in} = \frac{P}{4 * V_c * F} = \frac{62000}{4 * 0,65 * 96485,332} = 0,24714 \text{ mol} * s^{-1}$$

Kde P je výkon, V_c je napětí jednoho článku a F je Faradayova konstanta. Jeden článek palivového článku má napětí cca $V_c = 0,65$ V. Pro převod z $\text{mol} * s^{-1}$ na $\text{kg} * s^{-1}$ vynásobím výsledný vztah molární hmotností molekuly kyslíku.

$$O_{2in} = \frac{M_{O_2} * P}{4 * V_c * F} = \frac{32 * 10^{-3} * 62000}{4 * 0,65 * 96485,332} = 0,0079087 \text{ kg} * s^{-1}$$

Jelikož palivový článek spotřebovává vzduch, jehož součástí je kyslík, musím vypočítat také spotřebu vzduchu. Kyslíku je ve vzduchu přibližně 21 %. Molární hmotnost vzduchu je 28,96 g/mol. Výsledný vztah tedy je:

$$vzduch_{in} = \frac{M_{vzduch} * P}{0,21 * 4 * V_c * F} = \frac{28,96 * 10^{-3} * 62000}{0,21 * 4 * 0,65 * 96485,332}$$

$$vzduch_{in} = 0,0340829 \text{ kg} * s^{-1}$$

Tyto hodnoty návrh dobíjecí stanice nijak neomezují. Vzduchu z okolí je neomezené množství. Je nutné říci, že vypočítané hodnoty jsou minimální množství, které palivový článek potřebuje. Palivový článek většinou nespotřebuje veškerý kyslík z nasátého vzduchu. Proto čerpá větší množství vzduchu a přebytečný kyslík pouští zpět do ovzduší.

Nejdůležitějším výpočtem je spotřeba vodíku. Ze spotřeby vodíku následně vhodně zvolím vodíkové nádrže a také výpočtu cenu za dobítí jednoho elektromobilu.

Spotřebu vodíku vypočítáme obdobně jako spotřebu kyslíku.

$$H_{2in} = \frac{M_{H_2} * P}{2 * V_c * F} = \frac{2,02 * 10^{-3} * 62000}{2 * 0,65 * 96485,332} = 0,000998478 \text{ kg} * s^{-1}$$

4.1.6. Produkce vody a tepla

Dalším produktem palivových článků je voda. Výpočet vody je důležitý pro navrhnutí odváděcího systému vody z palivových článků. Stejně jako vodík se produkuje voda v poměru jednoho molu na 2 elektrony. Proto použijeme stejný vzorec, pouze změníme molární hmotnost, která u vody činí 18,02 g/mol.

$$H_2O_{out} = \frac{M_{H_2O} * P}{2 * V_c * F} = \frac{18,02 * 10^{-3} * 62000}{2 * 0,65 * 96485,332} = 0,008907213 \text{ kg} * s^{-1}$$

Většina produkované vody je ve formě vodní páry. Pro výpočet produkovaného tepla budu tedy uvažovat s vodní párou. Teplo můžeme efektivně využít například k ohřívání místnosti pokladny a prodejny občerstvení.

$$Q = P * \left(\frac{1,25}{V_c} - 1 \right) = 62000 * \left(\frac{1,25}{0,65} - 1 \right) = 57230,76877 \text{ W}$$

Veškeré výpočty z kapitol 5.1.5 a 5.1.6 jsou pouze pro jeden palivový článek. V mém návrhu však použiji tři. Proto pro celou dobíjecí stanici musím všechny hodnoty ztrojnásobit.

4.1.7. Návrh uchování vodíku

Pro návrh velikosti nádrže na vodík je potřeba zjistit množství spotřebovaného vodíku za den. Předpokládám, že palivové články budou pracovat na maximální výkon, který je 90 000 W. Nejdříve zjistím celkový čas, po který budou palivové články zapnuty.

$$t_{den} = \frac{E_{den}}{3 * P_{FC}} = \frac{4312}{3 * 62} = 23,18279 \text{ hod}$$

Celková spotřeba vodíku je za den:

$$H_{2den} = 3 * (H_{2in} * t_{den} * 3600) = 3 * 0,000998478 * 23,18279 * 3600$$

$$H_{2den} = 249,99 \text{ kg}$$

Pro navrhovanou dobíjecí stanici volím vodíkovou nádrž X-STORE gas container module od společnosti Hexagon Group. ^[58] Tato firma vyrábí kontejnerové nádrže, které skladují vodík pod tlakem 25 MPa. Pro výběr velikosti nádrže nejdříve musím přepočítat celkovou spotřebu na litry při tlaku 25 MPa. Hustota vodíku je 0,0899 kg/m³. Jeden

kilogram vodíku v atmosférickém tlaku je tedy 11,12347 m³. Objem jednoho kilogramu vodíku při 25 MPa je tedy:

$$V_{25MPa} = \frac{p_a}{p_{nádrž}} * V_a = \frac{101325}{25000000} * 11,12347 = 0,04508 m^3 = 45,08 l$$

$$H_2 \text{ nádrž/den} = V_{25MPa} * 249,99 = 11269,5492 l/\text{den}$$

Volím vodíkovou nádrž X-STORE 45 ft, která má objem 45 150 litrů.

Četnost doplňování nádrže:

$$n_{dopl} = \frac{45150}{11269,5492} = 4,00637 \text{ dny}$$

Dobíjecí stanice bude tedy muset každé 4 dny doplňovat nádrž s vodíkem.

4.2. Ekonomická bilance dobíjecí stanice

4.2.1. Metoda výpočtu

Pro výpočet ekonomické bilance dobíjecí stanice jsem zvolil metodu LCOE, tedy Levelized cost of energy. Tato metoda slouží k porovnání nákladů na jednotku vyrobené elektřiny. Výsledná hodnota nezávisí na celkové životnosti projektované stanice, ani na její velikosti. Proto je možné pomocí této metody porovnávat jakékoli projekty na výrobu elektřiny. Z výsledné hodnoty se následně dá určit, zda má daný projekt budoucnost a zda je výhodné do něj investovat.

LCOE je podíl celkových nákladů a celkové vyrobené energie za definovanou dobu životnosti projektu. Důležitým faktorem je také diskontní sazba, která vyjadřuje procentuální míru návratnosti investice za určité období. Pro navrhovanou dobíjecí stanici volím dle doporučení vedoucího práce diskontní sazbu 8 %. Dále volím životnost projektované stanice 20 let.

Do nákladů zahrnujeme investiční náklady a provozní náklady. Výsledný vzorec pro výpočet LCOE je tedy následující: ^[59]

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Kde I_t jsou investiční náklady v roce t , M_t jsou provozní náklady v roce t , E_t je vyrobená energie v roce t , r je diskontní sazba a n je očekávaná životnost projektu.

4.2.2. Investiční náklady

Dobíjecí stanice potřebuje k funkci čtyři základní komponenty. Vodíkovou nádrž, palivové články, velkokapacitní baterii a dobíjecí stojany. Náklady na tyto čtyři komponenty spolu s náklady na výstavbu tvoří investiční náklady.

Pro navrhovanou dobíjecí stanici jsem zvolil vodíkovou nádrž X-STORE GAS CONTAINER. Tato nádrž, která dokáže uchovat až 815 kg vodíku stojí, na základě emailové komunikace s výrobcem, v přepočtu kolem 11 385 000 Kč. Tuto hodnotu jsem ověřil ještě pomocí druhého zdroje, který udává cenu 815 USD/kg.^[60] Dodavatel uvádí životnost nádrže jako „neomezenou“. Předpokládám tedy, že nádrž v průběhu let nebudu měnit.

Dalším důležitým komponentem jsou palivové články. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, používám tři palivové články o jmenovitém výkonu 62 kW. Podle společnosti Deloitte^[61], která zpracovala dokument o palivových článcích vyrobených společností Ballard, přijde výroba každého kW palivového článku přibližně na \$1500. Z toho vyplývá, že celkové prvotní investiční náklady na palivové články činí přibližně 6 138 000 Kč. Společnost Ballard také uvádí životnost článků více než 30 000 hodin. Při maximálním zatížení stanice má tedy palivový článek životnost necelé čtyři roky. Pokud dobíjecí stanice dobije denně méně elektromobilů, bude palivový článek v provozu kratší dobu. Perioda obnovy palivových článků tak závisí na počtu dobíjených elektromobilů. V celkové bilanci počítám s následujícími hodnotami:

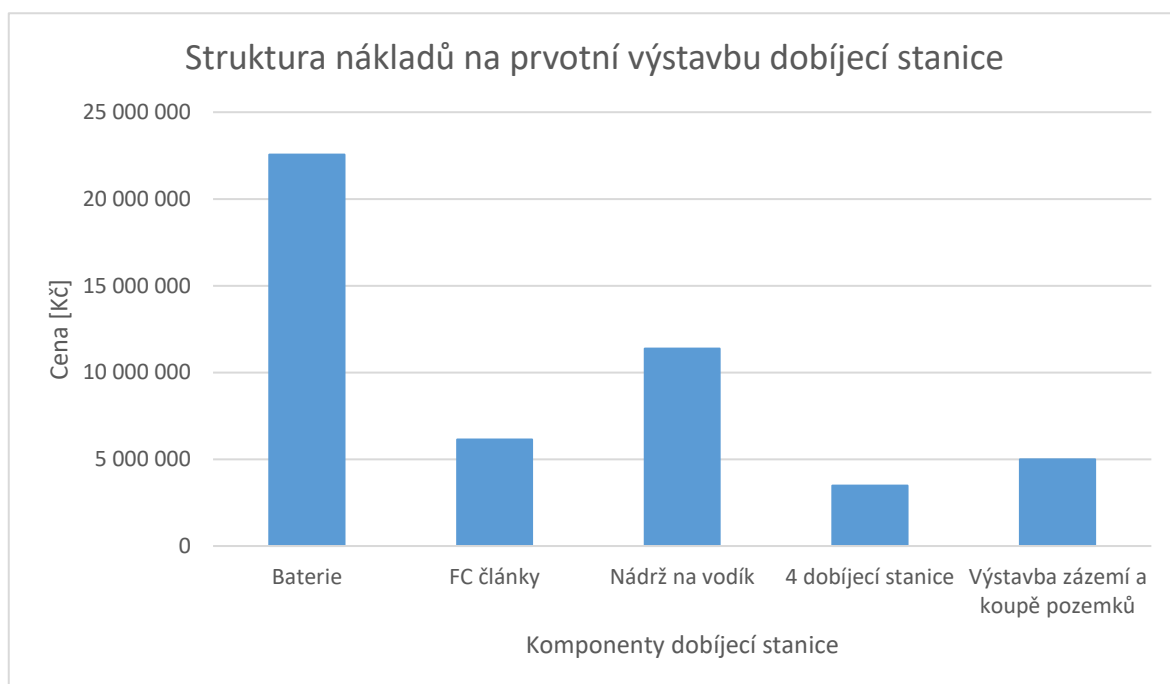
Tabulka č.2 - Perioda obnovy palivových článků

Perioda obnovy palivových článků		
Počet elektromobilů za den	Doba FC v provozu za den [hod]	Perioda obnovy FC [roky]
77	23	4
70	21	4
60	18	5
50	15	6
40	12	7
30	9	9
20	6	14
10	3	28

Vyrobená energie z palivových článků se ukládá v kontejnerové baterii Deltaww battery storage container o celkové kapacitě 1 641 kWh. Podle Amerických statistik jsou náklady na kWh kolem \$625.^[62] Celkové prvotní investiční náklady tedy činí přibližně 22 563 750 Kč. Životnost baterie je podle společnosti Deltaww 5 000 cyklů. Cyklus dobíjecí stanice trvá jeden den, kdy baterii nabijeme a následně vybijeme. Životnost baterie je tedy necelých 14 let. V bilančním výpočtu tudíž uvažuji obnovu kontejnerové baterie ve 14. roce projektu.

Poslední hlavní komponentou dobíjecí stanice jsou dobíjecí stojany. Jelikož Tesla neuvádí ceny svých dobíjecích stanic, použil jsem pro výpočet cenu stejně výkonného dobíjecího stojanu 120kW DC EV Charger G160. Tento dobíjecí stojan stojí 30 000 eur. Výsledná cena čtyř stojanů je tedy 3 490 800 Kč. Životnost, stejně jako u vodíkové nádrže, je větší než 20 let, a proto stačí do tohoto komponentu investovat pouze při prvotní výstavbě dobíjecí stanice.

Do investičních nákladů ještě uvažuji náklady na výkup pozemků a výstavbu dobíjecí stanice, kterou jsem odhadl na 5 000 000 Kč. Do následujícího grafu jsem znázornil výslednou strukturu prvotních nákladů na dobíjecí stanici.



Obrázek č.26 - Struktura prvotních investičních nákladů

Poměr investičních nákladů jednotlivých komponent za dobu životnosti dobíjecí stanice, tedy za 20 let, se bude značně lišit. Některé komponenty je totiž nutné po nějakém čase nahradit novými. Při maximálním zatížení se do baterie bude muset investovat dvakrát a do palivových článků šestkrát.

4.2.3. Provozní náklady

Provozní náklady jsou náklady potřebné k provozu dobíjecí stanice. V navrhované dobíjecí stanici do provozních nákladů započítávám náklady na vodík a náklady na dopravu vodíku.

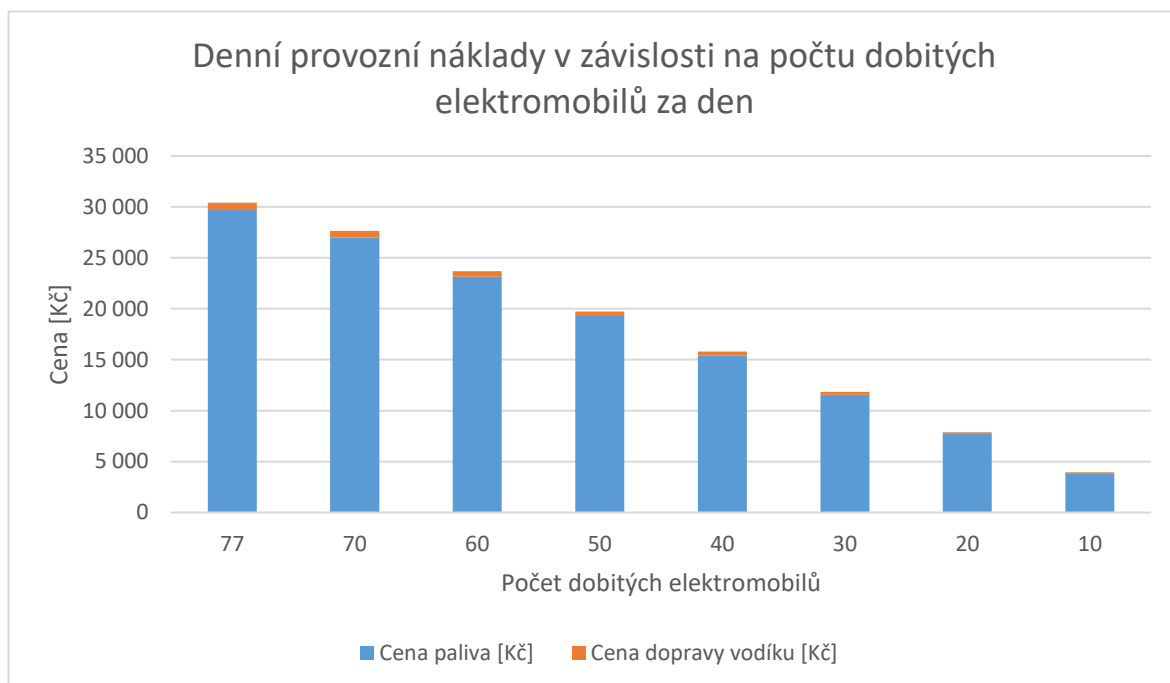
Podle společnosti Statista, cena produkce vodíku za rok 2018 z obnovitelných zdrojů je od \$3 do \$7,5 za kilogram. ^[63] Pro svůj výpočet jsem zvolil konstantní cenu vodíku pro celou životnost projektu, tedy pro následujících 20 let. Cenu vodíku jsem určil na \$5 za kilogram, tedy přibližně 110 Kč za kilogram vodíku.

Pro přepravu vodíku k dobíjecí stanici využiji kamionovou dopravu. Předpokládám, že kamion bude muset být schopen převést přibližně stejně velký kontejner vodíku jako je u dobíjecí stanice. Tím bude schopen doplnit celou kapacitu vodíkové nádrže. Podle ceníku logistické společnosti Multitrans CZ je přibližná hodnota dopravy navržené nádrže

28 Kč/km. ^[64] Pro návrh dobíjecí stanice jsem zvolil celkovou vzdálenost 100 km, kterou bude muset dobíjecí stanice zaplatit přepravci vodíku.

Dalším možným provozním výdajem jsou náklady na obsluhu stanice. Dobíjecí stanice jsou většinou automatizované. Zákazník dokáže dobít svůj elektromobil sám, pomocí zákaznické karty. Tento výdaj proto nebude do návrhu dobíjecí stanice započítávat. Zajištění bezpečnosti a chodu dobíjecí stanice bude centrální.

Provozní náklady se budou lišit podle toho, kolik elektromobilů bude denně dobíto dobíjecí stanicí. Čím méně elektromobilů bude dobíto, tím bude využito méně vodíku. Tím se také sníží četnost dodávky vodíku do dobíjecí stanice. V následujícím grafu je znázorněna závislost celkových denních provozních nákladů na počtu dobítených elektromobilů za den.



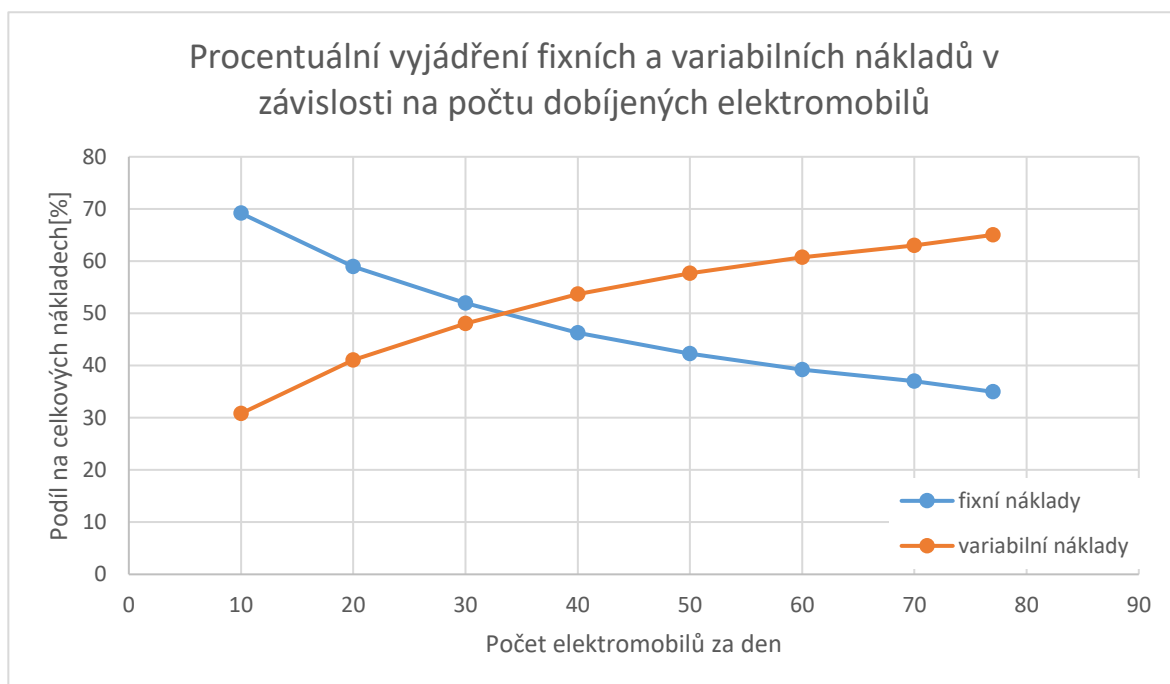
Obrázek č.27 - Závislost provozních nákladů na počtu dobítených elektromobilů

4.2.4. Podíl fixních a variabilních nákladů

Poslední vyjádřenou závislostí je podíl fixních a variabilních nákladů. Tato závislost ukazuje, jestli se na celkových nákladech nejvíce projevují fixní nebo variabilní náklady. Pokud je vytíženost dobíjecí stanice větší než 30 elektromobilů denně, tak převyšují variabilní náklady. U maximální vytíženosti tvoří 65 % z celkových nákladů variabilní náklady. Je tedy zřejmé, že je při takovém vytížení nejdůležitější dávat důraz na cenu vodíku

a jeho dopravy. Pro neefektivnější snižování hodnoty LCOE je třeba snížit cenu vodíku. V projektu je na celou životnost započítána konstantní cena vodíku. Za posledních 10 let však cena vodíku rapidně klesla. Je tedy možné uvažovat i nadále pokles ceny vodíku.

Pokud klesne vytíženost dobíjecí stanice pod 30 elektromobilů za den, tak začnou převyšovat fixní náklady nad variabilními. Při menším počtu elektromobilů klesá také spotřeba vodíku. Fixní náklady zůstanou stejné a celková vyrobené energie klesne. Tím se významně zvýší hodnota LCOE.



Obrázek č.28 - Podíl fixních a variabilních nákladů na celkových nákladech

4.2.5. Výpočet provozní bilance pomocí metody LCOE

Podle vzorce z kapitoly 4.2.1. jsem vytvořil tabulky celkových nákladů a celkové vyrobené energie v daných letech. (Příloha č. 1) Investiční náklady jsou nejvyšší v prvním roce, kde stanice musí vybudovat celou dobíjecí stanici. V následujících letech se investice do palivových článků opakují každé 4 roky a investice do kontejnerové baterie každých 14 let. Pomocí zvolené diskontované sazby 8 % je vypočítáný diskontní faktor, který je:

$$\text{Diskontní faktor} = \frac{1}{(1 + 0,08)^t}$$

kde **t** je rok provozu dobíjecí stanice.

Pokud každý den dobíjecí stanice dobije stejný počet elektromobilů, tak se provozní náklady v čase nemění. Roční výroba energie je dána součtem celkové kapacity dobíjených elektromobilů za rok. Stejně jako provozní náklady se ani tento člen nemění. Když mezi sebou vynásobíme provozní náklady, investiční náklady a diskontní faktor, získáme výsledné diskontované náklady za rok. Projekt takovéto dobíjecí stanice je zpočátku velmi nákladný. Jak je vidět na následujícím grafu, počáteční investiční náklady jsou přes 60 milionů korun.



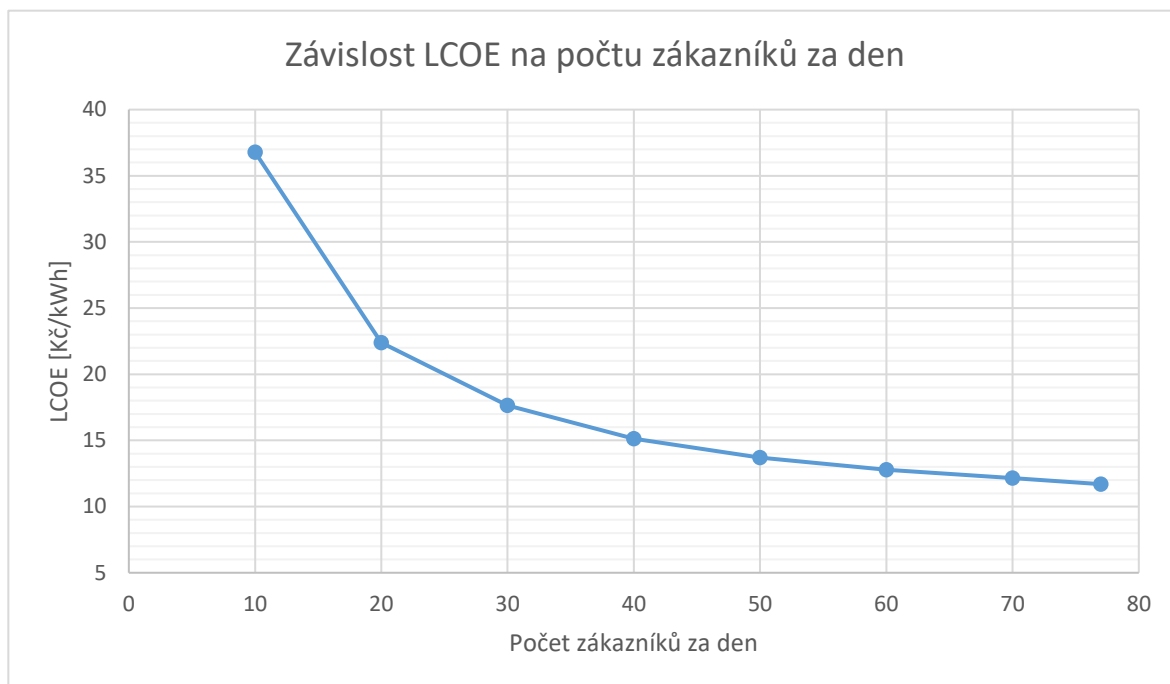
Obrázek č.29 - Diskontované náklady za rok při maximální vytíženosti

Výslednou hodnotu LCOE, tedy hodnoty jedné kWh získáme vydělením celkové sumy diskontovaných nákladů s celkovou sumou diskontované vyrobené energie. Při maximálním zatížení dobíjecí stanice je výsledná cena jedné kWh 11,70 Kč/kWh.

4.3. Citlivostní analýza

Důležitým faktorem, ovlivňujícím výslednou cenu, je počet dobitých elektromobilů za den. Při malé vytíženosti dobíjecí stanice klesnou provozní náklady a celková vyrobená energie. Investiční náklady však zůstanou stejné a tím se zvětší cena za kWh. Z grafu (obrázek č.30) je patrné, že jakmile vytíženost dobíjecí stanice klesne na polovinu, tak cena

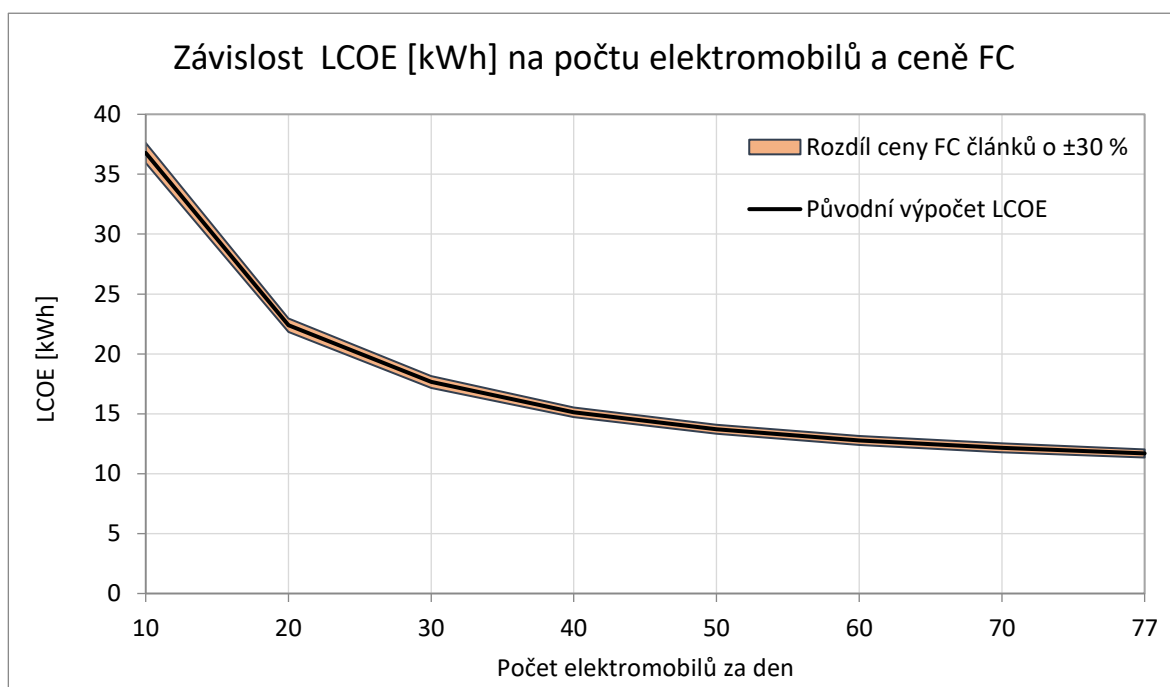
za kWh vzroste skoro na dvojnásobné hodnoty. Pro takové ceny za kWh nemá smysl dobíjecí stanici realizovat. Je tedy nutné si před samotným realizováním projektu zanalyzovat, zda je v daném místě dostatečná poptávka o službu dobíjení elektromobilů. V následujících podkapitolách vyjádřím závislost celkové LCOE na cenách komponent, které jsou nejnákladnější.



Obrázek č.30 - Závislost LCOE na počtu dobíjených elektromobilů

4.3.1. Citlivost ceny palivových článků

V navrhované dobíjecí stanici počítám s konstantní přibližnou hodnotou palivových článků. Momentálně vodíkové palivové články nejsou tak rozšířeny. Kdyby se v budoucích letech rozšířila velkokapacitní sériová výroba, cena palivových článků by značně klesla. Následující graf znázorňuje citlivost ceny jedné kWh na změně ceny palivových článků. Pokud cena palivového článku klesne o 30 %, cena za kWh při maximálním zatížení klesne přibližně o 0,4 Kč. V situaci, kdy se za den dobíje nižší počet elektromobilů, nemá 30% pokles ceny palivových článků takový vliv na celkové ceně. Je to zapříčiněno menším denním využitím palivových článků a tím dosažením jejich větší životnosti.

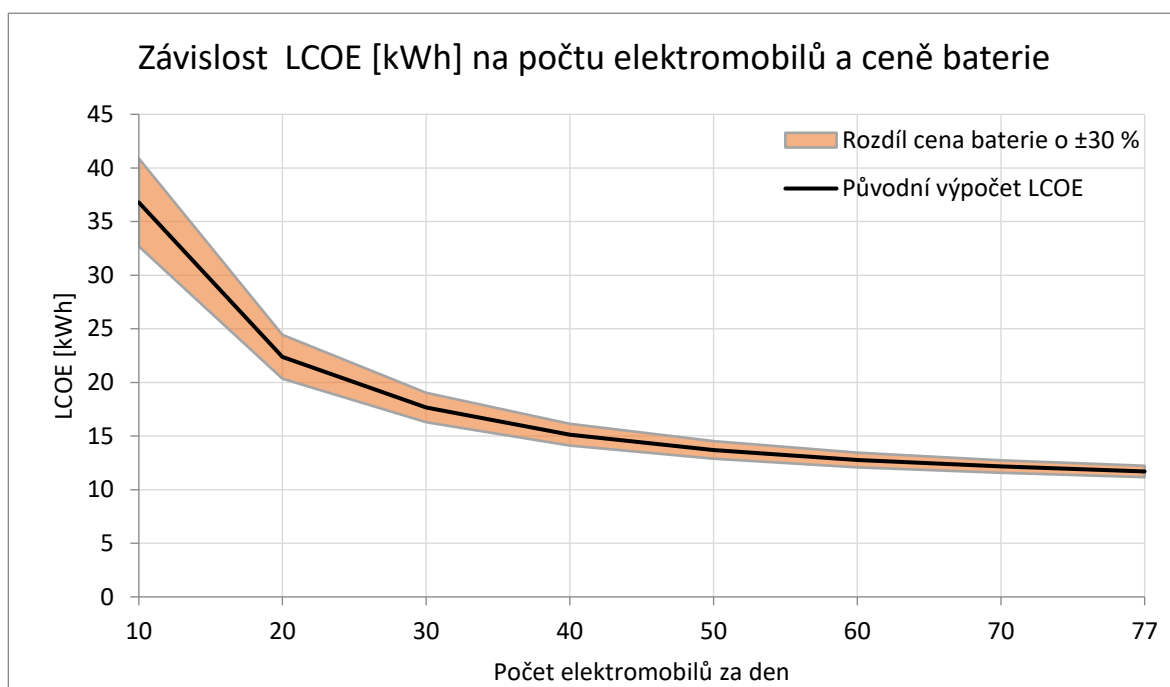


Obrázek č.31 - Závislost LCOE na ceně palivových článků

4.3.2. Citlivost ceny kontejnerové baterie

Dalším velmi vysokým investičním nákladem jsou kontejnerové baterie dobíjecí stanice. Délka životnosti baterie je dána dobíjecími cykly. Proto neovlivňuje počet dobývaných elektromobilů její životnost. Dobíjecí stanice tedy musí každých 14 let investovat do nové baterie. Kvůli tomu je závislost na ceně baterie značně větší než cena palivových článků. Při poklesu celkové vyrobené energie bude cena baterie konstantní, a tím se zvýší celkové náklady na kWh.

V následujícím grafu je vidět závislost LCOE na poklesu nebo vzrůstu ceny baterie. Při 30% poklesu ceny baterie v maximální zátěži dobíjecí stanice klesne celková hodnota LCOE o 0,5 Kč. Při polovičním využití dobíjecí stanice však klesne hodnota LCOE přibližně o 1,2 Kč. Je tedy nutné se zaměřit na co nejlevnější a nejefektivnější uchování energie, které přispěje ke zlevnění dobíjení vodíkem.



Obrázek č.32 - Závislost LCOE na ceně baterie

4.4. Porovnání s konvenčním dobíjením a palivy

Při optimistickém pohledu, kdy dobíjecí stanice bude maximálně zatížená, bude stát jedna kWh 11,7 Kč. Skupina ČEZ nabízí pro neregistrované zákazníky rychlodobíjení za 9,5 Kč/kWh. Pro porovnání s naftovými a dieslovými motory potřebujeme elektromobil a automobil na podobné úrovni. Budu porovnávat elektromobil Audi E-tron a automobil Audi Q7. Udávaná spotřeba Audi E-tron je 237 Wh/km. Cena jízdy tímto elektromobilem nabitého z navrhované dobíjecí stanice je 277,19 Kč/100 km. Pokud elektromobil dobijeme z rychlodobíječky ze sítě, bude jízda tímto autem stát 225,15 Kč/100 km. Dieslový automobil Audi Q7 má průměrnou spotřebu 6,6 l/100 km. Při ceně dieselu 31,5 Kč/l vychází cena jízdy na 207,9 Kč/100 km. Benzinová verze tohoto automobilu má spotřebu 8,7 l/100 km. Pokud Natural 95 stojí 32,5 Kč/l, pak je cena jízdy za 282,75 Kč/100 Km. ^[65]

Je nutné říci, že toto porovnání není moc relevantní. Celková cena rychlodobíjení ze sítě zahrnuje i další režie, které nejsou zahrnuty v navrhované dobíjecí stanici. Cena fosilních paliv také závisí na různých faktorech, jako například na lokaci prodeje. Toto srovnání cen je tedy pouze orientační.

Tabulka č.3 - Porovnání cen jízdy pro Audi e-tron a Audi Q7

Druh paliva	Cena na 100 km
Elektřina – vodíková dobíjecí stanice	277,19 Kč/100 km
Elektřina – rychlodobíjení ze sítě	225,15 Kč/100 km
Diesel	207,90 Kč/100 km
Natural 95	282,75 Kč/100 km

5. Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou dobíjení elektromobilů pomocí palivových článků na místech, kde není běžně dostupná elektrická síť. V první části jsem zpracoval teoretický základ ke konvenčnímu dobíjení elektromobilů. Konvenční dobíjení jsem rozdělil podle využití střídavého nebo stejnosměrného proudu a popsal výhody a nevýhody obou metod. Následně jsem zhodnotil režimy dobíjení z hlediska způsobu a míry bezpečnosti dobíjení.

V další části bakalářské práce jsem se věnoval technologii off-grid dobíjecích stanic. Popsal jsem projekt dobíjecího stojanu, který získává energii pomocí fotovoltaických panelů. Následně jsem popsal princip palivových článků. Pro návrh dobíjecí stanice jsem zvolil palivové články PEMFC, které jsou nejvhodnější. Jejich předností je vysoká účinnost a relativně nízké pracovní teploty. Tyto palivové články se navíc již v automobilovém průmyslu používají.

Jako palivo se využívá vodík. Výrobu vodíku lze provádět ekologicky pomocí elektrolýzy. V návrhu dobíjecí stanice počítám s výrobou vodíku pomocí elektrolýzy. Výroba vodíku touto metodou je sice dražší, ale při výrobě nevznikají žádné emise. Pro transport vodíku jsem zvolil nákladní kamionovou dopravu. Tento způsob dopravy vodíku není zcela ekologický. Společnost Hyundai však již představila první kamiony na vodíkové palivové články. Je tedy možné počítat do budoucnosti s rozšířením dopravy na alternativní paliva, jako je právě vodík.

Při navrhování předpokládám, že dobíjecí stanice bude mít 4 dobíjecí stojany. V programu Matlab jsem nasimuloval dobíjení baterie z 10 % na 80 % její kapacity pomocí rychlodobíjecího zařízení s výkonem 125 kW. Z této simulace jsem vyčetl čas dobíjení elektromobilu. Z těchto hodnot jsem dále určil maximální denní zatížení dobíjecí stanice za předpokladu, že stanice bude otevřená 16 hodin denně.

Ze zvolené modelové situace jsem následně navrhl veškeré komponenty dobíjecí stanice tak, aby dobíjecí stanice vždy dobíjela elektromobily maximálním možným výkonem. Zvolil jsem tři palivové články s celkovým výkonem 186 kW, které pomocí kontejnerové baterie budou dobíjet elektromobily. Vodík je uložen také v kontejnerové

nádobě. Dobíjecí stanice bude tedy zabírat poměrně velké území. V místech, kde není elektrická síť však lze předpokládat dostatek místa na výstavbu.

V poslední části bakalářské práce jsem ekonomicky zhodnotil projekt dobíjecí stanice. Pro zhodnocení jsem využil metodu LCOE, která je běžně využívána v oblasti energetiky. Při maximálním zatížení je dobíjecí stanice na lehce vyšší cenové úrovni za kWh energie než u dobíjení ze sítě. Při výpočtu jsem nepočítal s obchodní marží a dalšími režiemi, které mohou cenu za kWh ještě o něco navýšit. Pokud klesne počet zákazníků, kteří dobijí svůj elektromobil, začne hodnota LCOE značně růst. Při velkém zatížení je nejdůležitějším faktorem na výsledné ceně jedné kWh cena vodíku. Cena vodíku v posledních letech významně klesla a dá se očekávat její pokles i v následujících letech. To může přispět k poklesu ceny dobíjení z projektované dobíjecí stanice. Dalším faktorem jsou náklady na baterii a na palivové články, které tvoří většinu celkových fixních nákladů. Cena těchto komponent ovlivňuje celkovou hodnotu LCOE, především při nízkém zatížení stanice.

Dobíjecí stanice s vodíkovými palivovými články je projekt navrhovaný do míst, kde je nedostatečná elektrická síť nebo tam vůbec není. V takových místech si většinou majitel elektromobilu nemůže vybírat, zda bude dobíjet elektromobil u navrhované dobíjecí stanice či u nějaké jiné. Majitel elektromobilu stejně bude muset dobít svůj elektromobil, aby mohl pokračovat dál ve jízdě.

Technologie založené na vodíku mají velkou budoucnost. Díky použití vodíku lze dekarbonizovat dopravu. A to ať přímým způsobem, kdy je vodík použit jako přímé palivo, například u těžkých nákladních vozidel, nebo kdy vodík bude sloužit jako zdroj energie v dobíjecích stanicích. Evropská vodíková strategie je založená na podpoře takzvaného Zeleného vodíku, který se vyrábí elektrolýzou vody a potřebnou energii dodávají obnovitelné zdroje energie. Při jeho výrobě nevznikají emise skleníkových plynů. Tato technologie je ale zatím příliš drahá. Náklady na výrobu vodíku však v posledních letech rapidně klesají a dá se predikovat, že kolem roku 2030 bude technologie palivových článků konkurenceschopná.

6. Zdroje

- [1] Úvod do elektromobility. Czech Nature Energy, a. s. součást CNE group [online]. Plzeň: Galileo Corporation, 2021 [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/seniori/energeticke-sluzby-1/elektromobilita/uvod-do-elektromobility/>
- [2] EVEXPERT. EV EXPERT s.r.o. [online]. Olomouc, 2021 [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/rady-a-tipy-zajimavosti-novinky-informace-evexpert/elektromobilita/ac-dc-nabijeni>
- [3] WHY ENERGY STORAGE. Energy Storage Association [online]. Washington, DC, 2021 [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://energystorage.org/why-energy-storage/applications/transportation-storage/>
- [4] Základy nabíjení. Autonabijeni.cz [online]. Liběšice: ExTra F.B., 2021 [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/blog/zaklady-nabijeni/>
- [5] Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Hybrid.cz [online]. Liběšice: Chamanne s.r.o, 2006 - 2021 [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stance-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-enaletet>
- [6] Wallbox nebo zásuvka? Co se vyplatí a proč? [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/nova-sezona-formule-e-klepena-dvere-na-co-se-muzeme-letos-tesit>
- [7] Unikátní řešení městské nabíjecí infrastruktury v Pražských Holešovicích. Pražská Energetika, a.s [online]. Praha, 2014 - 2021 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/profil-spolecnosti/media/tiskove-zpravy/unikatni-reseni-mestske-nabijeci-infrastruktury-v-prazskych-holesovicich/>
- [8] BIDRMAN, Zdeněk, Kateřina SUCHÁ a Pavel ZÁMYSLICKÝ. Politika ochrany klimatu v ČR [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2017 [cit. 2020-10-25]. ISBN 978-80-7212-625-5. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/\\$FILE/OEOK_POKMS_20180105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/$FILE/OEOK_POKMS_20180105.pdf)
- [9] Historie elektromobilů. Malá elektromobilita [online]. 2018 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://www.mala-elektromobilita.cz/historie-elektromobilu>
- [10] Podpora elektromobilů. Auto.cz [online]. 2001 - 2021: Copyright CZECH NEWS CENTER, 2018 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/jak-jsou-kde-podporovany-elektromobily-dotacemi-osvobozenim-od-dane-ci-parkovanim-zdarma-128707>
- [11] Režimy dobíjení. Phoenix contact [online]. 2021 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/sk?1dmy&urle=wcm:path:/skcs/web/main/solutions/subcategory_pages/E_Mobility_charging_methods_charging_modes/a2fad0f3-f69e-442d-af9a-2f81eab201ea
- [12] Připojení systému k nabíjecí stanici – klíčový prvek pro elektromobily. Schneider Electric CZ, s. r. o [online]. Praha [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider_teorie.pdf

- [13]HAMPEL, Carrie. ABB presents the compact fast-charging station Terra 184 [online]. 2020 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.electrive.com/2020/07/02/abb-presents-the-compact-fast-charging-station-terra-184/>
- [14]Tesla Team. Introducing V3 Supercharging [online]. 2019 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ/blog/introducing-v3-supercharging
- [15]TOMÍŠEK, Marek. Tesla v Německu spustila Supercharger v3, je nejbliže ČR [online]. 2020 [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/tesla-v-nemecku-spustila-supercharger-v3-je-nejblize-cr-5796>
- [16]BELZA, Jaroslav. Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení [online]. 2001 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [17]EV Charging Current: What's the Difference Between AC and DC? Wallbox [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: https://wallbox.com/en_nl/faqs-difference-ac-dc
- [18]KOŠÍK, Michal a Pavel SKAROLEK. Trakční vlastnosti elektromobilu – výkony a účinnosti [online]. Praha: ČVUT [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_%C3%BAloha5_2017_18_elektromobil.pdf
- [19]Evatran: Plugless Charging Systems Compatible With 80% Of EVs By 2017 [online]. 2016 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: https://cleantechnica.com/2016/10/11/evatran-plugless-charging-systems-compatible-80-evs-2017/amp/?fbclid=IwAR0Kj1ef4L6636Mvj_rw7bxl6WhsiDxpDXiZoVw1Ix3xrxwN0yp1Mnd4K1Y
- [20]FUGLEVIČ, Daniel. Oslo bude nabíjet své taxíky bezdrátově. S Jaguarem uvede nové výkonné nabíječky. Autorevue.cz [online]. 2020 [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/oslo-bude-nabijet-sve-taxiky-bezdratove-s-jaguarem-uvede-nove-vykonne-nabijecky>
- [21]WIRELESS ELECTRIC VEHICLE CHARGING. PLUGLESS POWER [online]. 2021 [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <https://www.pluglesspower.com/>
- [22]ŠKODA AUTO, PRE a Chakratec přivází do Prahy jedinečnou technologii pro nabíjení elektromobilů [online]. 2019 [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/skoda-auto-pre-a-chakratec-privazi-do-prahy-jedinecnou-technologie-pro-nabijeni-elektromobilu/?fbclid=IwAR24KiKZLvs8uYyMJAMfUZrb7VPKDPRwyYyz9fWcQKy-OLwKQIAGb83WiU>
- [23]Introducing the Kinetic Power Booster [online]. Israel [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <https://chakratec.com/?fbclid=IwAR1JbVZA6J9UHVCJAJ04vQe73pwTgT0HTxoSQOnySfxUzRRACwKKpJ2fi6w>
- [24]Wallbox Copper SB 22kW [online]. In: . [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/wallbox-copper-sb-22kw-d6110266.htm?o=1>
- [25]VILLASANTA, Arthur. New Tesla Supercharger V3 Slashes Charging Time to 15 Minutes [online]. 2019 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.ibtimes.com/new-tesla-supercharger-v3-slashes-charging-time-15-minutes-2772888>

- [26][online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z:
<https://www.statista.com/statistics/571564/publicly-available-electric-vehicle-chargers-by-country-type/>
- [27]Central America Grid [online]. In: . [cit. 2021-03-21]. Dostupné z:
http://www.geni.org/globalenergy/library/national_energy_grid/central-american-grid/graphics/centralamericagrid.gif
- [28]DAVIES, Chris. AEMO Renewable Integration Study update [online]. 2019, 13 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://arena.gov.au/assets/2019/12/aemo-renewable-integration-study-update.pdf>
- [29]O. M. Mueller and E. K. Mueller, "Off-grid, low-cost, electrical sun-car system for developing countries," IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014), San Jose, CA, 2014, pp. 14-17, doi: 10.1109/GHTC.2014.6970254.
- [30]Solární (fotovoltaické) články. Cez.cz [online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z:
<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [31]New Solar Opportunities for a New Decade. ENERGY.GOV [online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/solar/sunshot-2030>
- [32]Emissions-Free Solutions to the World's Energy Challenges: The world's first hydrogen-fueled EV recharger for commercial and industrial vehicles [online]. AFC Energy [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: http://www.afcenergy.com/wp-content/uploads/2019/11/Roadshow-brochure-131119-3-JT1.pdf?fbclid=IwAR236k5WtIhHRGH6rktcDjiVJa9toL2NWKwJZqMr3o371u4jV7LPR7p5_LE
- [33]This ambitious off-the-grid EV charger uses hydrogen fuel cells [online]. In: . [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: https://www.slashgear.com/hydrogen-fuel-cell-ev-charger-afc-energy-17562686/?fbclid=IwAR1jSWUVueLevcC_w1V-sCqQXGjj02KE-Eygf-3CV4vsaQHrCJCC4kZi8IA
- [34]ŠRUBAŘOVÁ, Petra a Battery University. Jak fungují palivové články? [online]. 2018 [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [35]PORŠ, Zdeněk. Palivové články: Ústav Jaderného Výzkumu Řež, a.s. [online]. 2002 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z:
<https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>
- [36]Environmentální fyzika - Palivové články [online]. Zlín [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_15.pdf. Studijní text. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [37]Alkaine Fuel Cell: FuelCellsWorks [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z:
<https://fuelcellsworks.com/knowledge/technologies/afc/>
- [38]G.F. McLean, T. Niet, S. Prince-Richard, N. Djilali, An assessment of alkaline fuel cell technology, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 27, Issue 5, 2002, Pages 507-526, ISSN 0360-3199, [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(01\)00181-1](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(01)00181-1).
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319901001811>)
- [39]M. A. Laughton, "Fuel cells," in Power Engineering Journal, vol. 16, no. 1, pp. 37-47, Feb. 2002, doi: 10.1049/pe:20020105.

- [40]DLOUHÝ, Petr a Luděk JANÍK. Palivové články: Hytep - Česká Vodíková technologická platforma. [online]. 2007 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/vyuziti-vodiku/588-palivove-clanky>
- [41]Proton exchange membrane fuel cell [online]. [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://fuelcellsworks.com/knowledge/technologies/pemfc/>
- [42]NOVÁK, V. Palivové články, rozdělení, principy, vlastnosti [online]. Ústav elektrotechnologie, FEKT VUT v Brně, 2010 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/6617-palivove-clanky-rozdeleni-principy-vlastnosti>
- [43]Písemná komunikace s Ing. Jiřím Černým
- [44]SOMOLOVÁ, Markéta a Petr DLOUHÝ. VÝROBA VODÍKU [online]. Hytep - Česká Vodíková technologická platforma, 2007 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/vyroba-vodiku/664-vyroba-vodiku?fbclid=IwAR3_SsMis78GHZ1yZo0p3IOqWfin_YZBAAtKIW1IGFPLTukRV_ZCDo_joqV9k
- [45]Hydrogen production [online]. [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://hydrogeneurope.eu/hydrogen-production-0>
- [46]JANÍK, Luděk, Aleš DOUCEK a Petr DLOUHÝ. Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR [online]. Husinec-Řež č.p. 130, 2010 [cit. 2022-11-21]. ISBN 75103630. Dostupné z: https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/SVA_HYTEP.pdf
- [47]Hydrogen Basics - Storage [online]. University of Central Florida [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/hydrogen/basics/storage.htm>
- [48]DROBNÝ, Josef. Skladování vodíku [online]. 2019 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://www.hydro-race.eu/Skladov%C3%A1n%C3%AD-vod%C3%ADku>
- [49]Storing Hydrogen [online]. airliquide, 2019 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://energies.airliquide.com/resources-planet-hydrogen/how-hydrogen-stored>
- [50]Air Products launches hydrogen high-pressure tube trailers for European hydrogen infrastructure deployment [online]. 2014 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/36777/air-products-launches-hydrogen-high-pressure-tube-trailers-for-european-hydrogen-infrastructure-deployment/>
- [51]Hydrogen Tube Trailers [online]. US Department of Energy [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-tube-trailers>
- [52]HOW IS HYDROGEN TRANSPORTED? [online]. Hydroville [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: http://www.hydroville.be/en/waterstof/hoe-transporteer-je-waterstof/?fbclid=IwAR2Tvu_NDRbbrHFbAfB5VppGvYY402kLeBt6ocLuMH2ErBTFoVOgfePqcKE
- [53]Hydrogen Tube Trailers [online]. US Department of Energy [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-tube-trailers>
- [54]DLOUHÝ, Petr a Luděk JANÍK. TRANSPORT A SKLADOVÁNÍ VODÍKU [online]. Hytep - Česká Vodíková technologická platforma, 2007 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/transport-a-skladovani-vodiku/618-skladovani-vodiku-i>

- [55]Li-ion Battery Energy Storage Open Container [online]. Deltaww [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <https://www.deltaww.com/en-US/products/Energy-Storage-Systems/5932>
- [56]Fuel Cell Power Module for Heavy Duty Motive Applications: Datasheet [online]. [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: https://www.ballard.com/docs/default-source/motive-modules-documents/fcmovetm.pdf?sfvrsn=6a83c380_6
- [57]LARMINIE, James a Andrew DICKS. Appendix 2: Useful Fuel Cell Equations. LARMINIE, James a Andrew DICKS. Fuel Cell Systems Explained. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd, 2003, s. 6. ISBN 9780470848579.
- [58]X-STORE® GAS CONTAINER MODULES, VERSION ADR V2: Datasheet [online]. [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: https://cdn.hexagongroup.com/uploads/2020/03/Datasheet_Hexagon_Purus-X-STORE_Hydrogen_300bar.pdf?fbclid=IwAR09g89nKq0HBkn7UvDnTPOY6zeXrPywCjYDcEAga19sxe3xBWBCYdc9c9Y
- [59]Corporate finance institute [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/levelized-cost-of-energy-lcoe/>
- [60]Parks, George. (2014). Hydrogen Station Compression, Storage, and Dispensing Technical Status and Costs Independent Review. 10.13140/RG.2.2.23768.34562.
- [61]Deloitte China. Fueling the Future of Mobility Hydrogen and fuel cell solutions for transportation [online]. 2020. [cit. 2021-04-20]. ISBN RITM0340372. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf>
- [62]HOFF, Sara a Alexander MEY. Utility-scale battery storage costs decreased nearly 70% between 2015 and 2018 [online]. 2020 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=45596>
- [63]Global production costs of hydrogen by source 2018 [online]. In: . [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1132774/global-hydrogen-production-cost-based-on-source/>
- [64]Multitrans CZ [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.multitrans.cz/cenik/>
- [65] Autohled [online]. [cit. 2021-04-21]. <https://www.autohled.cz/a/audi/q7/50-tdi-quattro/5275>

7. Příloha č. 1

Celkové náklady																					
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Investiční náklady [Kč]	48 578 100	0	0	0	6 138 000	0	0	0	6 138 000	0	0	0	6 138 000	0	22 565 750	0	6 138 000	0	0	0	6 138 000
Provozní náklady [Kč]	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299	11 971 299
Diskontní faktor	100,00%	92,59%	85,73%	79,38%	73,50%	68,00%	63,02%	58,35%	54,03%	50,02%	46,32%	42,89%	39,71%	36,77%	34,05%	31,52%	29,19%	27,03%	25,02%	23,17%	21,45%
Rochů diskontované náklady [Kč]	60 549 399	11 084 536	10 263 459	9 503 203	8 730 875	8 047 465	7 453 949	6 985 138	6 583 891	6 248 630	5 945 028	5 661 285	5 396 571	5 149 712	4 918 822	4 699 821	4 491 822	4 294 822	4 107 822	3 929 822	3 759 822
Kumulované diskontní náklady [Kč]	60 549 399	71 633 935	81 897 394	91 400 597	100 714 472	112 859 936	120 402 885	127 288 023	137 171 914	143 160 544	148 705 571	153 889 856	161 031 308	165 433 129	171 901 968	180 964 821	188 250 752	189 486 223	192 482 028	195 255 923	199 141 240
Celkové současná hodnota z celkovy ch nákladů (NPV)	399 141 240	Kč																			
Celková výroba energie																					
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rozdávající výkon [kWh]	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880	1 573 880
Diskontní faktor	100,00%	92,59%	85,73%	79,38%	73,50%	68,00%	63,02%	58,35%	54,03%	50,02%	46,32%	42,89%	39,71%	36,77%	34,05%	31,52%	29,19%	27,03%	25,02%	23,17%	21,45%
Současná hodnota vyrobené energie [kWh]	1 573 880	1 457 296	1 349 348	1 249 937	1 156 849	1 071 156	991 811	918 344	850 318	787 332	729 011	675 010	625 009	578 712	535 865	496 513	459 401	425 371	393 862	364 687	337 673
Celková současná hodnota z celkové vyrobené energie (NPV)	17 026 466	kWh																			
LCOE	11,693982	Kč/kWh																			

8. Příložené soubory

1. LCOE.xlsx
 - Výpočet provozní bilance
2. FuelCellEVCharger.slx
 - Model dobíjení v programu Matlab + pomocné soubory