

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Elektrotechnika, energetika a management



**Náhrada stávajícího zdroje pro start ze tmy v uhelné
elektrárně**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zapletal** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **474457**
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:

Náhrada stávajícího zdroje pro start ze tmy v uhelné elektrárně

Název bakalářské práce anglicky:

Replacement of the existing source for black start in a coal-fired power plant

Pokyny pro vypracování:

1. Analýza požadavků na záložní zdroj v uhelné elektrárně
2. Konvenční zdroje pro start ze tmy, Fuel cell a Battery Energy Storage System - State of art (současný stav technologií)
3. Nalezení optimálního technologického řešení a jeho technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

1. Řízení a stabilita elektrizační soustavy, Karel Máslo et al., Praha, Asociace energetických manažerů, 2013
2. Úvod do liberalizované energetiky, Trh s elektřinou, Praha, Asociace energetických manažerů, 2016
3. Projektová a technická dokumentace projektu

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Michaela Makešová, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **10.12.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **05.01.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Michaela Makešová
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou 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 20. prosince 2020

Jakub Zapletal

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své vedoucí práce Ing. Michaele Makešové za vedení mé bakalářské práce. Dále pak panu Ing. Petru Krejčímu, Ph.D., projektovému manažerovi ve společnosti ČEZ, a. s., za poskytnutí příležitosti této spolupráce a pomoci při zpracování mé práce.

Dále bych chtěl jmenovat a poděkovat Ing. Jakubovi Krempaskému, studentu ČVUT FS a projektantu ve společnosti ČEZ, a. s., za poskytnuté rady ohledně využití vodíku v energetice, Ing. Martinovi Borovskému, vedoucímu odboru péče o zařízení a provozu PPC Počerady ve společnosti ČEZ, a. s., za možnost privátní exkurze na elektrárně Počerady a poskytnutí údajů o funkci záložního zdroje a Janu Poláchovi, vedoucímu směnového provozu PPC ve společnosti ČEZ, a. s., za vedení exkurze a poskytnutí odborných informací týkající se operování záložního zdroje na EPC.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá náhradou stávajícího zdroje záložní energie a nalezením optimálního technologicko-ekonomického řešení. Bakalářská práce se skládá z jednotlivých částí, v první části je uveden současný technologický stav palivových článků a bateriových úložišť společně s plány Evropské unie na využití těchto technologií.

V další části se autor zabývá sestavením ekonomického modelu porovnávající komerčně dostupná technologická řešení, včetně konvenčních řešení, pro nalezení optimální náhrady stávajícího záložního zdroje a zároveň rozšíření jeho funkce o možnost nájezdu ze tmy.

Klíčová slova

Palivový článek, bateriové úložiště, ekonomický model, ekonomická efektivnost, technicko-ekonomické zhodnocení

Abstract

The bachelor thesis deals with the replacement of current back-up energy generator and finding an optimal technological and economical solution. The bachelor thesis consist of individual parts. The first part presents current state of art of Fuel cell and Battery Energy Storage System (BESS), including plans of European union for use of this technology.

In the next section the author compiles an economical model comparing commercially available solutions, including the conventional solution, for finding an optimal replacement of current back-up generator and expand it's function with a black start option.

Key words

Fuel cell, Battery Energy Storage System, BESS, economical model, economical effectiveness, technical and economical evaluation

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Palivové články	2
2.1	Funkce	2
2.2	Palivové články PEMFC	3
2.3	Palivové články PAFC	4
2.4	Palivové články MCFC	4
2.5	Palivový článek SOFC	5
2.6	Palivový článek DMFC	6
2.7	Palivový článek AFC	6
2.8	Využití	7
2.9	Podpora Evropské unie	7
2.10	Vodík v České republice	9
3.	Bateriové úložiště – BESS	10
3.1	Funkce	10
3.2	Lithium-iontové baterie	10
3.3	Využití	12
3.4	Podpora Evropské unie	13
4.	Ekonomický model náhrady stávajícího záložního zdroje	14
4.1	Současný stav	14
4.2	Výběr technologií	15
4.3	Zdroje informací	15
4.4	Vysvětlení pojmů	16
4.5	Emisní povolenky	17
4.6	Stanovení diskontu	18
4.7	NPV – Čistá současná hodnota	18
4.8	Výpočet NPV	19
4.9	RCF – Roční ekvivalentní tok	20
4.10	Výpočet RCF	20
4.11	Dieselový motor	21
4.12	Plynový motor	22
4.13	Palivový článek	23
4.14	BEES	25

4.15	Palivové náklady	26
4.16	Citlivostní křivka NPV.....	27
4.17	Porovnání technologií.....	31
5.	Závěr	36
6.	Seznam obrázků a tabulek.....	38

1. Úvod

Současný svět a především západní civilizace je ovlivněn tématy ekologie, ochrana životního prostředí a klimatické změny. Na světě existuje mnoho organizací a skupin, které vytváří tlak na politické lídry a vznášejí na ně požadavky, aby reagovali na současné klimatické trendy a omezovali světovou produkci emisí.

Jedním z největších společných jmenovatelů těchto požadavků jsou skleníkové plyny a především oxid uhličitý CO₂. Nejčastěji skloňovaným odvětvím je v tomto případě energetický průmysl, který je tlačěn k dekarbonizaci a nízkouhlíkové výrobě energií. Nejvíce skloňovaným řešením této situace jsou obnovitelné zdroje energie (OZE), bohužel tyto zdroje jsou velmi ovlivňovány přírodními podmínkami a proto jsou nespolehlivé, co se týče spolehlivosti dodávek energie. Zároveň nespolehlivost v dodávkách energie pro pokrytí spotřeby v čase potřeby způsobuje ekonomickou nekonkurenceschopnost OZE.

Světová společenství a jednotlivé národy, jako například Evropská unie a USA, především stát Kalifornie, pracují na přechodu k nízkouhlíkové energetice a zároveň hledají způsoby, jak co nejlépe doplnit OZE a vyvážit tak jejich nedostatky.

Jako zvažovaná řešení na toto doplnění OZE v energetice jsou palivové články a bateriová úložiště (dále jen BESS). U obou těchto technologií došlo v poslední dekádě k velkých technologickým pokrokům a na trhu se již nacházejí firmy, které nabízejí ekonomicky dostupná a výhodná řešení z těchto dvou technologií.

Evropská unie si je taky vědoma možností těchto technologií a v roce 2020 zpracovala plány, které počítají s dalším využitím jak produkce energie z vodíku tak uchovávání energie za pomoci BESS.

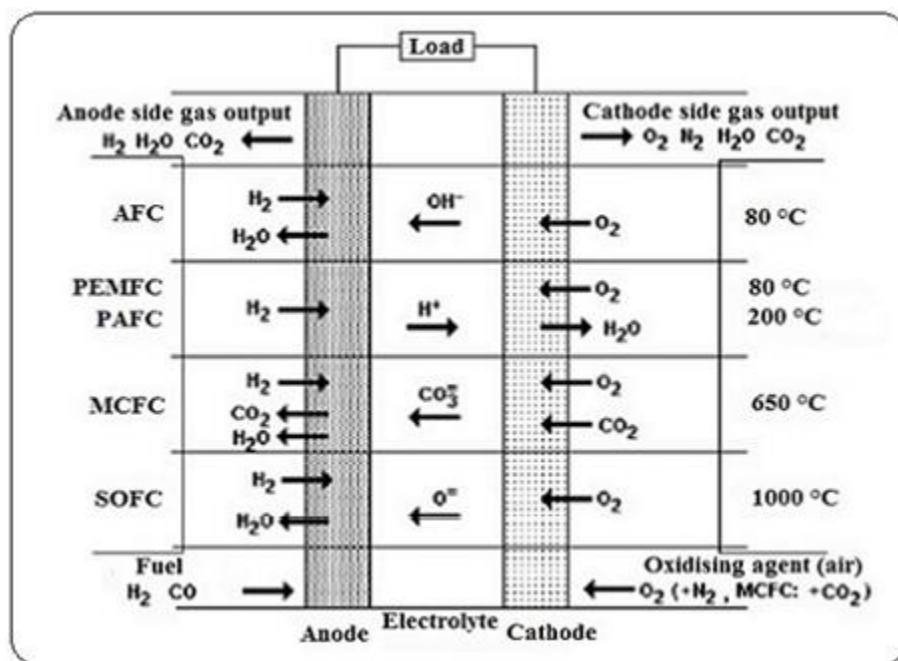
Také právě na společnost ČEZ, a. s., jsou kladeny požadavky na dekarbonizaci a snížení emisí, proto společnost pracuje na několika projektech s tímto cílem.

Tuto práci jsem zpracoval právě kvůli tomu, že se mi naskytla možnost spolupráce se společností ČEZ, a. s., vypracovat reálné řešení náhrady záložního zdroje a porovnání konkurenceschopnosti nových technologií s konvenčními zdroji energie. Proto se ve své práci věnuji nalezení komerčně dostupné 6 MW zdroje a porovnání dostupných technologií, aby se vytvořila představa o využitelnosti těchto zdrojů energie.

2. Palivové články

2.1 Funkce

Palivový článek je zařízení skládající se ze dvou elektrod, přičemž na kladnou elektrodu (anodu) je přiváděno palivo a na záporně nabitou elektrodu (katodu) je přiváděno okysličovadlo, mezi elektrodami se nachází membrána nebo elektrolyt.



Obrázek 1. Schématické zobrazení palivového článku¹

Tyto palivové články takto přeměňují chemickou energii na elektrickou energii. Palivové články se v porovnání s jinými akumulátory nebo bateriemi odlišují především, tím, že teoreticky mohou dodávat energii neomezeně dlouho, dokud bude článek zásobován palivem a okysličovadlem. V praxi, bohužel, limituje toto využití degradace materiálu.²

Typy palivových článků se dají rozdělit podle typu použitého elektrolytu a podle jejich funkce.

¹ Hydrogen and the State of Art of Fuel Cells. [Online] Duben 2018. [Cit 16. 12. 2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325992291_Hydrogen_and_the_State_of_Art_of_Fuel_Cells

² Hydrogen and the State of Art of Fuel Cells. [Online] Duben 2018. Strana 9. [Cit 16. 12. 2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325992291_Hydrogen_and_the_State_of_Art_of_Fuel_Cells

Základní typy jsou:

- a) Palivové články s polymerní membránou (PEMFC)
- b) Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC)
- c) Palivové články s tavenými uhličitany (MCFC)
- d) Palivové články s tuhými oxidy (SOFC)
- e) Přímý metanolový palivový článek (DMFC)
- f) Palivové články s alkalickým elektrolytem (AFC)

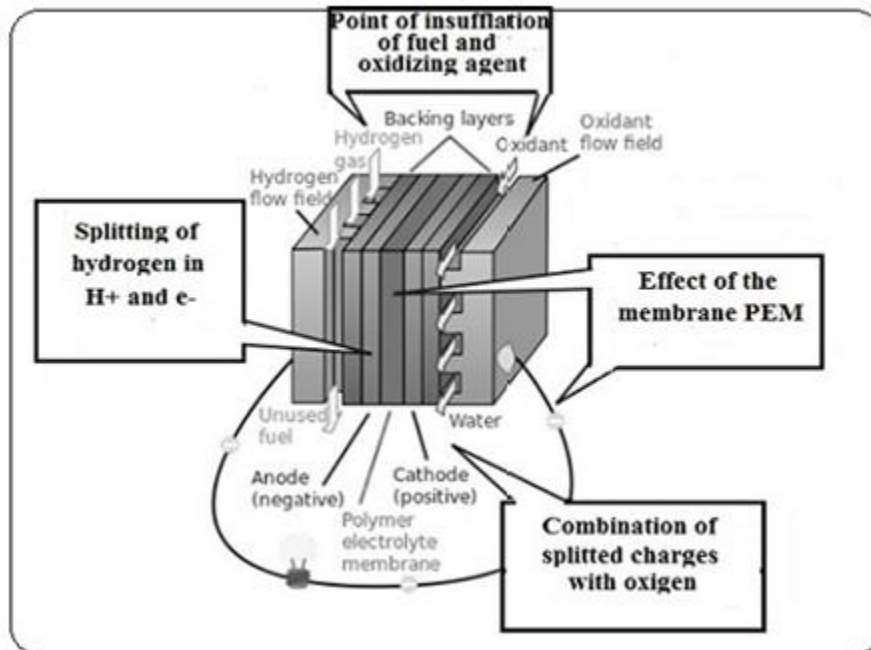
Nejčastěji používaným palivem a okysličovadlem pro palivové články je vodík a kyslík v plynném skupenství. Palivové články používají třídímenzionální porézní elektrody pro difúzi plynu, tyto póry se skládají například z grafitu, uvnitř pórů se nachází katalyzátor, který zvyšuje účinnost.³

Palivové články se vyznačují především svou spolehlivostí a nízkou nebo žádnou produkcí emisí.

2.2 Palivové články PEMFC

Proces, který se odehrává v PEMFC je klasické spalování H_2 . Membrána povolí přechod H^+ iontů z anody na katodu. Tento proces také vytváří problém s odstraněním vody, která během reakce vzniká. Membrána je tvořena sulfonovanými fluoropolymery. Membrána se nachází mezi dvěma elektrodami s rozptýleným katalyzátorem. Pro získání relevantního výkonu, několik palivových článků je spojeno do série bipolárním vodivým plátem, nejčastěji používán je grafit. Tento bipolární vodivý plát má v sobě drážky, které usnadňují plynům přesun do pórů na elektrodách, skrze které přicházejí do kontaktu s elektrolytem pro elektrochemický proces. Vodivý plát je taky využívám pro chlazení palivového článku. Palivový článek má také kanály, kterými proudí chladivo (zpravidla vzduch než voda, kvůli problémům s korozí). Tyto palivové články operují při teplotách nižších než $100^\circ C$, a proto je nutné využít elektrokatalytické materiály (platina), kvůli zvýšení efektivity elektrochemické reakce. Porézní elektrody jsou získávány z umístění rozptýleného elektrokatalytického materiálu na vrstvu grafitového prášku umístěném na gravitovaném uhlíkovém vlákne. Grafitový prášek je vázán s polymerem, nejčastěji Teflonem. Existují také různé metody pro umístění platiny a elektrody. V současnosti je možné s tímto typem palivových článků získat hustotu výkonu 1 kW/l . Tato hodnota dovoluje využití těchto článků jako baterie do elektronických zařízení nebo jako zdroj elektrické energie.³

³ Hydrogen and the State of Art of Fuel Cells. [Online] Duben 2018. Strana 9. [Cit 16. 12. 2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325992291_Hydrogen_and_the_State_of_Art_of_Fuel_Cells



Obrázek 2 Zjednodušené schéma funkce PEM Palivového článku⁴

2.3 Palivové články PAFC

Tyto palivové články konají stejnou anodovou a katodovou reakci jako PEMFC. Liší se od sebe svým elektrolytem, který je v tomto případě 100% kyselina fosforečná (H_3PO_4). Normálně operují v teplotním rozmezí 180-200°C. Kapalná kyselina je uvnitř matrice karbidu křemíku (SiC). Stejně jako u PEMFC, elektrody umožňují difúzi plynů, sestávající se z uhelného prášku, který obsahuje stopy platiny. Uhlenný prášek obsahuje také Teflon pro vytvoření porézní a robustní struktury.

Tento typ palivového článku se využívá primárně pro tvorbu elektrické energie v energetice, kvůli své vysoké pracovní teplotě a využití tekutého elektrolytu. Přičemž svou emisní produkci mají 10-100x menší než konvenční systémy jako naftové motory a plynové turbíny.⁴

2.4 Palivové články MCFC

V těchto člancích je anoda tvořena porézní strukturou ze slitiny niklu a chromu (Ni-Cr 2-10%) a katoda z porézní slitiny oxidu niklu (NiO) s 1-2% lithia (Li). Elektrolyt je převážně tvořen ze směsi lithia a uhličitanu draselného, uzavřeného v keramické, chemicky inertní, porézní lithiovo-hliníkové matrici. Operační teplota článku je větší než 600°C. Při této teplotě se směs uhličitanu roztaví a stává se dobrým iontovým vodičem s vysokým CO_3^{2-} iontovým přenosovým číslem, které přispívá k vodivosti elektrolytu. Palivový článek dokáže být

⁴ Hydrogen and the State of Art of Fuel Cells. [Online] Duben 2018. Strana 10. [Cit 16. 12. 2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325992291_Hydrogen_and_the_State_of_Art_of_Fuel_Cells

napájen přes anodu dvěma palivy, vodíkem (H_2) nebo kyslíčným uhelnatým (CO). Proces užívá spotřeby CO_2 na katodě, která musí být zásobena kyslíkem (O_2).

Vysoká operační teplota tohoto palivového článku způsobuje problémy se strukturální stabilitou a také s cenovou dostupností, ale má také své výhody, je možno použít méně vzácný kov než je platina, která může za podstatnou část ceny u jiných palivových článků. Další nevýhodou kromě vysoké teploty je vysoká šance koroze způsobená elektrolytem.⁴

2.5 Palivový článek SOFC

Tento typ palivové článku má potenciál být jeden z nejčistších a nejvíce energeticky-efektivních technologií pro přímou přeměnu chemických paliv na elektřinu. Jejich hlavní výhodou je, že jsou kompletně v pevném skupenství, zejména elektrolyt je iontový vodivý oxid, tudíž jsou zde jen dvě operační fáze: pevná a plynná. Jeden ze současných technických cílů je minimalizace odporu redukční reakce kyslíku na katodě, která především při teplotách nižších než $700^\circ C$ způsobuje rychlejší zhoršení výkonnosti a ztrátu efektivity článku.

Materiály se sestávají z převážně stejných materiálů s výjimkou materiálů použitého na elektronické spoje mezi jednotlivými články v sérii. Elektrolyt se skládá z oxidu zirkoničitého doplněného o 8-10% molární oxid yttrity Y_2O_3 (YSZ). Anody jsou vyrobeny z kombinace niklu a YSZ, katody z oxidu manganičitého.

Tento typ palivových článků se dělí na tři konfigurace podle tvaru a způsobu uspořádání částí v jednotlivém článku:

- a) Trubkovitá konfigurace
- b) Monolitická konfigurace
- c) Planární (rovinná) konfigurace

Poslední jmenovaná konfigurace představuje zřejmě nejlepší řešení palivové článku SOFC, jelikož elektrochemický článek sestává z katody a anody, obě porézní, mezi kterými je vložen tenká a tlustá vrstva elektrolytu, s touto technologií bylo docíleno jednotlivého článku o velikosti $3 \times 5 \text{ cm}^2$, které dokázaly možnost dodat $0,4 \text{ W/cm}^3$ při napětí $0,7 \text{ V}$ (v porovnání tubulární konfigurace má zhruba poloviční výkon). Pracovní teplota je $1000^\circ C$. Tato konfigurace představuje nejlepší elektrické charakteristiky a nejjednodušší implementační řešení, bohužel momentálně ještě pokračují práce na vývoji komerčně schopné verze.⁵

⁵ Hydrogen and the State of Art of Fuel Cells. [Online] Duben 2018. Strana 11. [Cit 16. 12. 2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325992291_Hydrogen_and_the_State_of_Art_of_Fuel_Cells

2.6 Palivový článek DMFC

Metanol byl použit u palivových článků s polymerní membránou jako činidlo pro produkci vodíku skrze reformační proces. Tato reakce je daleko méně endotermická než ostatní uhlovodíkové reformační reakce, proto vyžadují méně ohřevu a malé teploty (250°C), s levnějším katalyzátorem jako například měď (Cu) s oxidem zinku (ZnO). Pro zabránění produkci CO, směnný proces je zde použit, protože CO v PEMFC ničí platinový katalyzátor. V přímém metanolovém článku CH₃OH je použit jako palivo, které je přivedeno na anodu místo H₂.

Problém je, že metanol oxiduje pomaleji než H₂, jelikož molekula obsahuje o 6 elektronů více. Výsledkem je menší výkon. Dalším problémem je možnost přechodu metanolu z anody na katodu, díky rozpustnosti ve vodě, která je vždy přítomna v membráně, může přejít na katodu a způsobit pokles napětí v otevřeném okruhu.

První výhodou metanolu je jeho tendence k oxidaci, lehce oxiduje do CO₂. Je velmi dostupný, jelikož je produktem spontánních nebo zplyňovacích nebo fermentačních procesů v zemědělství a proto má nízkou kupní cenu. Může být lehce přepravován a vyráběn obnovitelnými zdroji.

Pro další nesnižování již tak malého výkonu palivového článku, je dobré obstarat vodu do článku. Rozpuštěný roztok metanolu pomáhá předcházet přechodu metanolu na katodu, navíc kontakt s membránou jí pomáhá udržovat konstantně hydratovanou, zajišťující lepší funkčnost. Polymerická membrána DMFC je podobná PEMFC. Bohužel již zmíněný problém s pomalou oxidací metanolu způsobuje nízkou efektivitu těchto palivových článků.⁶

2.7 Palivový článek AFC

Tyto bio-elektrochemické články produkují elektrický proud skrze konkrétní bakterii a jejich reprodukční interakci mezi nimi a přírodou. Tento způsob produkce energie z palivového článku je jedno z nejstarších řešení, vznikl již na počátku 20. století. V současnosti jsou AFC tvořeny bioanodou a biokatodou s membránou umístěnou mezi nimi. Organická redukční činidla jsou použita k oxidaci a produkují CO₂, protony a elektrony. Když mikroorganismy požívají látku jako je cukr v aerobním prostředí, tak produkují CO₂ a H₂O. Když není dostupný kyslík, produkují CO₂, protony a elektrony.

Spojení dvou elektrod kabelem nebo vytvoření elektricky vodivého spojení, umožní vyprodukovaným protonům přechod z anody na katodu. Redukční činidlo přináší elektrony

⁶ Hydrogen and the State of Art of Fuel Cells. [Online] Duben 2018. Strana 11-12. [Cit 16. 12. 2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325992291_Hydrogen_and_the_State_of_Art_of_Fuel_Cells

na elektrodu, která oxiduje a ztrácí elektrony. Náboje proudí skrze kabel do druhé elektrody. Tyto palivové články našly komerční využití v čističkách odpadních vod.⁶

2.8 Využití

V současné době strmě rostou možnosti využití palivových článků, zatímco v minulosti se používali především odlehklých oblastech jako záložní zdroje energie nebo ve vesmíru jako zdroj energie pro družice, především díky své spolehlivosti, s rozvojem vodíkové technologie a poklesu pořizovacích cen palivových článků se články rozšířili i do dalších odvětví především do průmyslu a dopravy, kde jsou palivové články používány zejména na pohon autobusů, jako další příklad je možno uvést palivové články PEM, od firmy Siemens, které jsou využívány pro tichý pohon ponorek německého námořnictva.⁷

Palivové články v poslední době zažívají rychlý rozmach především díky své vysoké spolehlivosti (až 99+%), vysoké účinnosti, která je udávána mezi 40-60% a především díky velmi nízké údržbě. V neposlední řadě si palivové články našly cestu i do domácností, kde se využívá i kogenerační potenciál palivových článků při vytápění domů nebo ohřevu vody. Japonsko se stalo průkopníkem v této oblasti, když od roku 2009 pomáhalo financovat instalaci více než 13 000 palivových článků do domovů. V USA, po analýze dopadů hurikánů Katrina v roce 2005, dospěly k závěru, že diesel-generátory nejsou dostatečně spolehlivé jako záložní zdroje a začaly tak používat palivové články PEM, jako záložní zdroje na důležité infrastrukturu, jako například telekomunikace a vodovody.⁸

2.9 Podpora Evropské unie

V současnosti se počítá s celosvětovými investicemi do energie z vodíku mezi roky 2019-2030 a s růstem výkonu dodaného z vodíku ze současných 3,2 GW na 8,2 GW právě do roku 2030, přičemž 57% z instalovaného výkonu se má nacházet v Evropě, současně také narostl počet energetických společností, které se přidaly do International Hydrogen Council ze 13 v roce 2017 na současných 81.

Evropská unie předpokládá, že energie z vodíku a ukládání energie do baterií doplní obnovitelné zdroje energií a pomůže dosáhnout na cíle stanovené svou strategií na klimaticky neutrální Evropu. V roce 2018 uvedla studie EU, že vodík se momentálně podílí méně než

⁷ SINAVY PEM Fuel Cells. [Online]. 2016. [Cit. 20. 9. 2020]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1535009488.28615cde70250d0e81b68ba466bd77d7f5c68c73.sinavy-pem-fuel-cells.pdf>

⁸ Fuel Cells Commercialize. [Online]. [Cit. 20. 9. 2020]. Dostupné z: <https://fuelcellsworks.com/knowledge/history/>

2% na skladbě energetického mixu. Tehdejší plány počítaly s růstem tohoto čísla na 13-14% do roku 2050.⁹

I když, Evropská unie ve svých plánech na klimaticky neutrální Evropu nezmiňuje přímo procentuální zastoupení palivových článků, počítá s jejich použitím v nové vodíkové strategii, která byla zveřejněna 8. 7. 2020 a je součástí evropské iniciativy European Green Deal.¹⁰

Tato nová strategie počítá s investicemi 180-470 miliard EUR do roku 2050 a počítá, že nové vodíkové průmyslové odvětví bude zaměstnávat přímo i nepřímo až 1 milion obyvatel Evropy. Analýza také předpokládá, že do roku 2050 stoupne podíl vodíku v energetickém mixu na 24%.

Z Evropské unie 26 členských států zařadilo vodík do svých národních energetických a klimatických plánů a podepsalo "Hydrogen Initiative".¹¹

Evropská strategie rozděluje způsoby produkce vodíku na vodík získávaný ze zemního plynu, tento proces vytváří uhlíkové emise, tento vodík se také nazývá jako fosilní vodík (fossil-based hydrogen), dále je pak rozdělení na "čistý" vodík, který je získáván především skrze elektrolýzu. V současnosti je většina vodíku získávána právě z fosilních paliv, kdy je během výroby do ovzduší uvolňováno množství skleníkových plynů, a proto je tento způsob získávání vodíku pro EU nežádoucí a snaží se zvýšit produkci emisně čistého vodíku a tím také snížit cenový rozdíl mezi těmito typy vodíku. V současnosti se cena vodíku vzniklého z fosilních paliv pohybuje okolo 1,5€/kg, naproti tomu cena čistého vodíku se pohybuje mezi 2,5-5€/kg. Evropská unie proto tlačí na snížení cen čistého vodíku, nutno říct, že úspěšně jelikož cena elektrolyzérů, které vodík produkují, za poslední 10 let klesla o 60%. A do roku 2030 je předpokládáno, že cena klesne o dalších 50%. Tímto by v regionech s levnou energií z obnovitelných zdrojů měl být čistý vodík komerčně kompetitivní s vodíkem z fosilních paliv v roce 2030. Pokles ceny čistého vodíku je prioritou pro úspěch implementace vodíkové energetiky do evropské ekonomiky.

Současná strategie je tedy plánovaná mezi lety 2020-2050 a dělí se na 3 fáze.

První fáze je naplánována mezi lety 2020-2024 a soustředí se na zajištění instalace alespoň 6 GW vodíkových elektrolyzérů a výrobu až 1 milionu tun čistého obnovitelného vodíku. Tato fáze počítá s dramatickým navýšením výroby elektrolyzérů pro výrobu čistého vodíku. Dále se počítá s vybudováním infrastruktury čerpacích stanic pro uspokojení poptávky vytvořené

⁹ A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. [Online]. Červenec 2020. [Cit. 20. 9. 2020]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>

¹⁰ Hydrogen. [Online]. Červenec 2020. [Cit. 20. 9. 2020]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-system-integration/hydrogen_en

¹¹ A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. [Online]. Červenec 2020. [Cit. 20. 9. 2020]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>

autobusy poháněnými vodíkovými palivovými články. Nakonec se počítá s přípravou plánů na vybudování dostatečně robustní infrastruktury pro budoucí logistickou síť vodíku.

Druhá fáze má následovat mezi lety 2025-2030, tato fáze počítá s další instalací elektrolyzérů o celkovém výkonu alespoň 40 GW. Dále je plánováno zvýšení produkce obnovitelného vodíku na 10 milionů tun v rámci EU. V této fázi se již má čistý vodík stávat komerčně kompetitivním řešením, ovšem je potřeba zvýšit poptávku po vodíku zavedením dostatečných opatření pro integraci vodíku do průmyslu a ekonomiky. Této době se taky předpokládá nárůst podílu využívání vodíku v dopravě. Evropská unie také chce do roku 2030 vytvořit mezinárodní obchod s vodíkem se zeměmi sousedící s EU. Tento plán podle EU bude vyžadovat zvýšení podpory a dotací těmto investicím, aby bylo dosaženo těchto ambiciózních cílů v tak relativně krátkém období.

Ve třetí fázi, která má následovat od roku 2030 až do roku 2050, má technologie obnovitelného vodíku dosáhnout dospělosti, být široce využívána a mít velký podíl na dekarbonizaci sektorů, kde nejsou jiné alternativy jako například OZE využitelné nebo cenově dostupné.

Do roku 2050 se počítá s velkým nárůstem výroby energie z OZE, jelikož výroba obnovitelného vodíku může v roce 2050 vyžadovat až 25% této produkce.¹²

2.10 Vodík v České republice

V současnosti Česká republika zaostává za evropským průměrem téměř ve všech statistikách týkajících se využití vodíku v průmyslu a ekonomice. Jako příklad je uveden počet čerpacích stanic na vodík kdy v České republice se k roku 2019 nacházela pouze jedna čerpací stanice, kdežto evropský průměr činil v té době 9 stanic.¹³

Studie EU odhadují, že do roku 2030 bude potřeba investic do vodíkové infrastruktury v ČR mezi 0,7-2,6 miliardy EUR. Studie také zmiňuje dva možné scénáře “nízký“ a “vysoký“, přičemž scénáře se odrážejí pravděpodobnost tlaku vlády ČR na využití vodíku v průmyslu. Nízký scénář počítá s podílem vodíku na poptávce energií pouze z 0,2%. Vysoký scénář, i když je trochu optimističtější, tak počítá také pouze s 0,7% podílu vodíku na poptávce energií. Přičemž oba scénáře počítají s největším podílem investic do chemického průmyslu a dopravy. Scénář předpovídá, že vodík se v České republice bude podílet pouze 0,18-0,6% na poklesu skleníkových plynů do roku 2030.

¹² A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. [Online]. Červenec 2020. [Cit. 21. 9. 2020]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>

¹³ Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate Plans. [Online]. Červenec 2020. [Cit. 21. 9. 2020]. Dostupné z: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/file_attach/Brochure%20FCH%20Czechia%20_LowRes%20%281%29.pdf

Jak je tedy vidět v České republice ještě chybí plán na státní úrovni na implementaci vodíku do ekonomiky pro vzoru Vodíkové strategie Evropské unie z 8. 7. 2020. ¹⁴

3. Bateriové úložiště – BESS

3.1 Funkce

BESS je v podstatě několik baterií spojených dohromady, která v sobě uchovávají elektrickou energii. Tyto úložiště ukládají energii, která pak může být využita v případě potřeby, například ke stabilizaci sítě nebo pokrytí výpadků. BESS se řadí mezi nejrychleji reagující zdroje elektrické energie.

BESS se dělí podle baterií, které jsou použity k jejich výrobě. Používají se především:

- a) Lithium-iontové baterie
- b) Průtokové baterie
- c) Zinkobromidové baterie
- d) Bromidosodné baterie
- e) Olovněné baterie

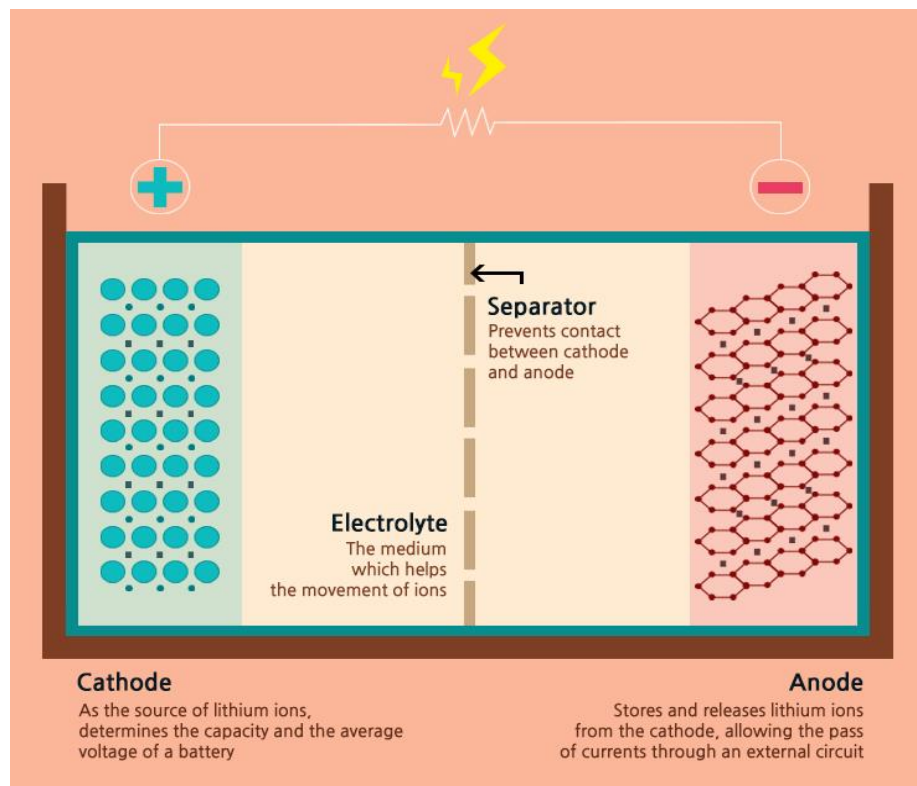
Všechny tyto typy baterií našly použití při uchovávání energie na průmyslové úrovni, především při uchovávání energie z OZE. Přičemž největšímu rozšíření a použití se těší právě lithium-iontové baterie, které našly využití kromě průmyslu také v dopravě a elektronice. ¹⁵

3.2 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontové baterie se skládají, podobně jako palivové články, ze dvou elektrod, anody a katody, které jsou oddělené elektrolytem, ve kterém se lithiové ionty pohybují z katody na anodu při nabíjení a zpět při vybíjení.

¹⁴ Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate Plans. Strana 18-20. [Online]. Červenec 2020. [Cit. 21. 9. 2020]. Dostupné z: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/file_attach/Brochure%20FCH%20Czechia%20_LowRes%20%281%29.pdf

¹⁵ Battery Energy Storage System. [Online]. Květen 2019. [Cit. 16. 11. 2020]. Dostupné z: <https://pdiwan.medium.com/battery-energy-storage-system-eb0e9a57d546>



Obrázek 3 Struktura lithium-iontové baterie¹⁶

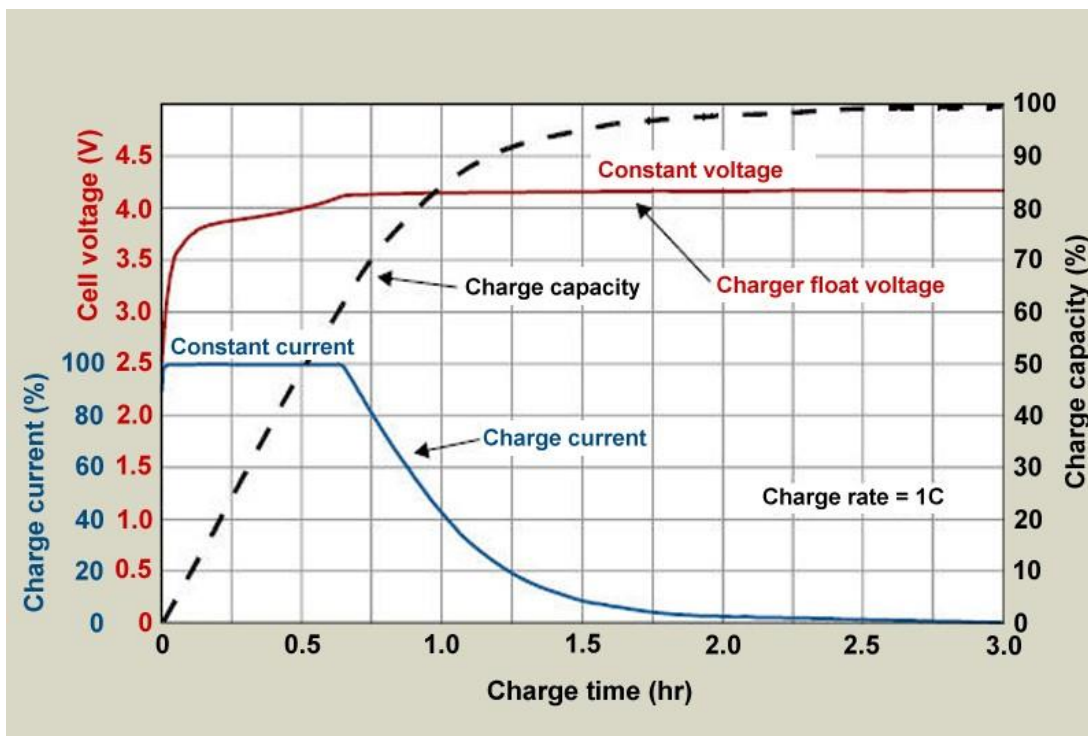
Mezi důležité charakteristiky Lithium-iontové baterie se řadí rozměry, energetická hustota, kapacita baterie, počet cyklů (životnost), cena, spolehlivost za určitých teplot. Mezi pozitivní vlastnosti těchto baterií se řadí především vysoká energetická hustota (12 kW/kg), dlouhá životnost a počet životních cyklů a vysoká spolehlivost. Naopak tyto výhody jsou vykoupeny vysokou cenou a neekologickou výrobou.¹⁷

Lithium-iontové baterie mají dobré nabíjecí i vybíjecí charakteristiky. Během nabíjení kapacita baterie roste společně s napětím a udržuje konstantní proud, když napětí dosáhne maxima, proud klesne exponenciálně.¹⁸

¹⁶ The four components of a Li-ion Battery. [Online]. [Cit. 16. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html?listType=gallery>

¹⁷ State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. [Online]. Únor 2018. Strana 3. [Cit. 16. 11. 2020]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8320763>

¹⁸ State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. [Online]. Únor 2018. Strana 4. [Cit. 16. 11. 2020]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8320763>



Obrázek 4. Charakteristika nabíjení Lithium-iontové baterie.¹⁹

3.3 Využití

V současné době se BESS používají především jako úschovny energie vyrobené přes den pro využití během večerního nárůstu spotřeby energie v domácnostech nebo také pro stabilizaci sítě nebo pro nahrazení krátkodobých výpadků v síti. Často bývají BESS zmiňovány v kombinaci s OZE, především se solárními panely, které vyrábějí energii přes den, kdy není využívána a uschovává do BESS, pro následné večerní využití při špičkové spotřebě.

K hlavním výhodám BESS oproti ostatním způsobům uschovávání elektrické energie, jako například přečerpávací vodní elektrárny, patří okamžitá odezva a dodávka energie a nezávislost na terénu nebo lokaci. Další výhodou je možnost kompaktního řešení, toto je velmi využitelné při umístění BESS do domácností.

Momentálně nejznámější firmou v oblasti BESS je americká firma Tesla, která technologii BESS využívá ve svých automobilech, dále již zmíněný systém BESS pro domácnost přezdívaný Powerwall, a poté samozřejmě obrovské BESS určené pro energetický průmysl.²⁰

Jako příklady BESS v energetice je možno uvést 129 MWh bateriové úložiště v jižní Austrálii, 800 MWh úložiště ve východní Číně a 800 MWh a plánovanou výstavbu 800 MWh

¹⁹ Charging Lithium-ion. [Online]. Duben 2018. [Cit. 16. 11. 2020]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries

²⁰ Powerwall. [Online]. 2020. [Cit. 10. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/powerwall?redirect=no>

úložiště v americkém státě Nevada, všechny úložiště byly vybudovány s cílem stabilizace sítě, pokrytí špičkové spotřeby a prevenci před blackoutem.²¹

3.4 Podpora Evropské unie

Úložiště elektrické energie jsou neoddělitelnou částí plánu Evropské unie na klimaticky neutrální ekonomiku do roku 2050. Využití baterií k naplnění tohoto cíle považuje Evropská unie za jedno z klíčových řešení. V zásadě Evropská unie rozděluje využití baterií do dvou kategorií.

První kategorií je automobilový průmysl, kde Evropská unie mimo jiné zavedla kvóty na podíl elektromobilů na celkové výrobě vozidel u každé automobilky v Evropě.²²

Evropská unie dále počítá s mohutnými investicemi do infrastruktury a výroby baterií pro dosažení vytyčeného cíle, jelikož momentálně Evropa momentálně pokrývá zhruba 3% světové produkce baterií v porovnání s Asií, která pokrývá 85% výroby. Tento plán odhaduje potřebu výstavby 20-30 továren na výrobu baterií. Za tímto cílem byla v říjnu 2017 založena European Battery Alliance (EBA) neboli sdružení průmyslových společností s cílem zlepšení komunikace a vytvoření výrobního řetězce v Evropě.

Druhou kategorií je použití baterií, konkrétně BESS, v energetice. Do roku 2030 je předpokládáno, že v Evropě bude 55% elektrické energie vyrobeno z OZE, do roku 2050 má toto číslo stoupnout až k 80%. Ovšem pro efektivní integraci OZE musí být vybudována infrastruktura pro skladování takto vyrobené elektrické energie.

Možnost krátkodobě skladovat elektrickou energii má pomoci s decentralizací zdrojů elektrické energie jako například větrných a solárních elektráren. BESS mají také pomoci při stabilizaci a flexibilitě elektrické sítě. Do roku 2050 BESS mají předstihnout přečerpávací vodní elektrárny a představovat 90% úložišť elektrické energie v Evropě.

Co se týče investic tak mezi lety 2019 a 2020 Evropská unie investovala 250 milionů EUR do projektů zahrnující technologii baterií. Další investice budou jistě následovat s představením nového plánu na následující desetiletí.²³

²¹ Battery Energy Storage System. [Online]. Květen 2019. [Cit. 10. 12. 2020]. Dostupné z: <https://pdiwan.medium.com/battery-energy-storage-system-eb0e9a57d546>

²² EU contemplates introduction of minimum quotas for the sales of electric vehicles. [Online]. Červen 2017. [Cit. 11. 12. 2020]. Dostupné z: <https://bellona.org/news/transport/electric-vehicles/2017-06-eu-contemplates-introduction-of-minimum-quotas-for-the-sales-of-electric-vehicles>

²³ Report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the european investment bank. [Online]. Duben 2019. [Cit. 10. 12. 2020] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1571912028148&uri=CELEX:52019DC0176>

4. Ekonomický model náhrady stávajícího záložního zdroje

Tato kapitola pojednává o vytvoření ekonomického modelu, který má nalézt náhradu stávajícího záložního zdroje pro havarijní odstavení elektrárny a současně nabídnout dosud neposkytovanou možnost nájezdu ze tmy při ostrovním blackoutu. Konkrétně se jedná o nahrazení naftového generátoru od firmy Zeppelin/Caterpillar o výkonu 1750 kW, umístěným na elektrárně Počerady (PPC), vlastněnou společností ČEZ, a. s., novým zdrojem o výkonu 6 000 kW, který má poskytnout možnost startu ze tmy. Ekonomický model má za cíl porovnat komerčně dostupná řešení napříč dostupnými technologiemi.



Obrázek 5. Paroplyn v Počeradech²⁴

4.1 Současný stav

Na elektrárně Počerady je od roku 2014 v provozu paroplynový zdroj o výkonu 838 MW_e.²⁴ Současně s tímto zdrojem je zde instalovaný naftový diesel generátor od firmy Zeppelin, konkrétně jednotka 3512B, o výkonu 1750 kW zajišťující bezpečné odstavení zdroje v případě havárie.

²⁴ Provozované paroplynové elektrárny. [Online]. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/paroplynovе-a-plynovе-zdroje/provozovane-paroplynovе-elektrarny](https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/paroplyнове-a-plynovе-zdroje/provozovane-paroplynovе-elektrarny)



Obrázek 6. Současný záložní zdroj Zeppelin v PPC / Autor: Jakub Zapletal

4.2 Výběr technologií

Ekonomický model porovnává jednotlivá řešení komerčně dostupných technologií, které jsou vhodné pro použití jako záložní zdroje, tudíž se vyznačují vysokou spolehlivostí a krátkou dobou startu. Kvůli těmto požadavkům byly vybrány čtyři technologie. Jedná se o naftové zdroje, zdroje na zemní plyn, palivové články a BESS. Od každé technologie byly vybrány firmy, které mají na trhu uvedené komerčně dostupné řešení a disponují pobočkou v České republice pro zajištění dodávek.

4.3 Zdroje informací

Jelikož výběr nového zdroje má být z komerčně dostupných řešení, tak kde to bylo možné, jsou uvedeny oficiální hodnoty přímo od dodavatelů vybraných zařízení, například z oficiálních katalogů a brožur nebo veřejných prohlášení dodavatelů. Ovšem některé hodnoty nejsou zveřejněny přímo výrobcem, jelikož se může jednat o příliš citlivou informaci pro výrobce, jejíž zveřejnění by mohlo ohrozit konkurenceschopnost daného zařízení, případně ohrozit budoucnost firmy. Jako příklady mohou být uvedeny hodnoty emisí jednotlivých zdrojů nebo náklady jednotlivých zdrojů. V těchto případech byly jako zdroje použity vědecké články pojednávající o použitých datech.

4.4 Vysvětlení pojmů

Jelikož řada pojmů a kategorií, které jsou buďto v práci použity nebo jsou na ně rozděleny jednotlivá řešení, zde je přiložen jejich rozbor:

- a) Emise CO₂ – emise oxidu uhličitého, který produkuje daný zdroj provozem. Emise jsou uváděny v jednotkách kg/kWh. V ekonomickém modelu jsou uváděny pouze emise CO₂ z důvodu, že se momentálně jedná o nejdůležitější skleníkové, které jsou v současnosti omezovány Evropskou unií a vztahují se na ně tzv. emisní povolenky.
- b) Čerpání životnosti – jelikož se nahrazuje záložní zdroj, který nebude v častém provozu, tak se běžný údaj o životnosti, který se uvádí v hodinách nebo cyklech, nemůže uplatnit na toto konkrétní řešení. Proto, je zde použit následující vzorec pro přepočítání životnosti:

$$\frac{p}{l} \times u = lv \quad (1)$$

Kde:

lv...Čerpání životnosti [Kč]

p...Cena zařízení [Kč]

l...Životnost [h]

u...Využití za rok [h]

Z výsledku následně dostaneme porovnání, hodnoty životnosti daného zařízení vzhledem k jeho ceně za pořízení.

- c) Využití – jedná se o využití v hodinách za rok, jaké bude mít nový záložní zdroj ročně za běžného provozu bez havárií. Jedná se tedy o pravidelné zkoušky připravenosti a funkčnosti zařízení. Hodnota byla přímo dodána od vedoucího směnového provozu PPC Počerady.
- d) Doba startu – doba, za kterou vybraný zdroj dosáhne požadovaného výkonu 6 MW.
- e) Spolehlivost startu – procentuální spolehlivost úspěšného startu zařízení.
- f) Spolehlivost provozu – procentuální spolehlivost dlouhodobého provozu zařízení.
- g) Výstavba/instalace – náklady za výstavbu zařízení.
- h) Údržba – roční náklady na mechanickou údržbu zařízení.

- i) Obsluha – roční náklady na obsluhu zařízení. V případě obsluhy se má jednat o 2 pracovníky/techniky, kteří na stroji pracují po dobu jeho využívání tudíž 500 hodin za rok a zaměstnavatel má za ně náklady 400 Kč/h. Následný vzorec poté vypadá takto:

$$500 \times 400 \times 2 = 400 \text{ tis Kč/rok} \quad (2)$$

- j) Náklady na palivo – roční náklady na palivo pro daný zdroj.
- k) Emise (povolenky) – roční náklady na emisní povolenky emisí CO₂ v cenách jaké vydal ERÚ pro rok 2019.²⁵
- l) NPV – jedná se o čistou současnou hodnotu celého projektu na dobu 20 let pro dané technologické řešení.
- m) RCF – jedná se o roční ekvivalentní tok pro celý 20 letý projekt, vypočteno z NPV pro dané řešení

4.5 Emisní povolenky

Emisní povolenky byly vytvořeny Evropskou unií v roce 2005, jako nástroj pro splnění svých závazků ohledně snížení CO₂. Každý členský stát dostane od Evropské komise stanovený objem skleníkových plynů, který může vyprodukovat. Následně členský stát rozdělí přidělené emisní povolenky producentům skleníkových plynů ve své zemi. Existuje také obchod s emisními povolenkami, kde jednotlivé firmy mohou se svými emisními povolenkami obchodovat.

Největším systémem emisního obchodování je European Union Emission Trading Scheme (EU ETS), kterého se jako členský stát EU účastní i Česká republika.

EU ETS zahrnuje přes 11 000 zařízení ze sektorů energetiky, výroby oceli a železa, cementu a vápna, celulózy a papíru, sklo-keramického průmyslu, chemického průmyslu, rafinérií a letecké přepravy v 31 státech a pokrývá cca 2 mld. t CO₂ ročně.

V ČR je EU ETS upraven zákonem č. 383/2012 Sb. Uvádí, na jaká zařízení se systém vztahuje a jaká jsou práva a povinnosti jejich provozovatelů. Provozovatelé monitorují své emise, vykazují je každoročně Ministerstvu životního prostředí a vyřazují za ně povolenky. Část povolenek dostanou provozovatelé bezplatně, zbytek si mohou koupit na trhu nebo v aukci.

²⁵ Průměrná cena emisní povolenky pro rok 2019. [Online]. Leden 2020. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462920/prum_cena_emis_povol_2019/e181af89-1afc-4fb1-946d-4f8cf5acb7

*Povolenky existují a pohybují se na účtech v rejstříku povolenek, jehož národním správcem je OTE, a.s.*²⁶

4.6 Stanovení diskontu

Výše diskontu ovlivňuje návratnost investice. Míra diskontu představuje časový faktor a rizikovost investice. Diskont představuje současnou hodnotu budoucích výnosů z plánované investice.

Jelikož dělám tuto práci ve spolupráci se společností ČEZ, a. s., bylo mi řečeno, že projekty v této společnosti běžně počítají v diskontem mezi 5-10%, ovšem jelikož se v tomto případě jedná o investici bezvýnosnou, protože záložní zdroj nebude nic vydělávat a mít žádné příjmy, bylo mi mým vedoucím ze společnosti ČEZ řečeno, ať počítám s hodnotou diskontu 5%.

Přesný vzorec vypočítávání hodnoty diskontu ve společnosti ČEZ, a. s. mi se jedná o citlivou informaci, kterou společnost nechtěla zveřejňovat.

4.7 NPV – Čistá současná hodnota

*Čistá současná hodnota (ang. Net Present Value, známá také pod zkratkou NPV) patří k nejdéle používaným metodám analýzy investic, na které lze dobře popsat základní principy hodnocení efektivnosti investic, případně způsoby srovnávání jednotlivých investičních příležitostí mezi sebou.*²⁷

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

Kde:

NPV...Čistá současná hodnota [Kč]

CF...Cash flow v daném roce [Kč]

r...Výše diskontu

t...Rok v pořadí

²⁶ Emisní obchodování.[Online]. [Cit. 10. 9. 2020]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/emisni_obchodovani

²⁷ Geologie VSB. [Online]. 4. Metoda čisté současné hodnoty. [Cit. 10. 9. 2020]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/cvekonomika/4_teorie.html

Čistá současná hodnota se vypočte jako součet současných (diskontovaných) hodnot všech peněžních toků investice. To znamená, že je nutno nejdříve stanovit hodnotu každého dílčího peněžního toku investice a tyto hodnoty přepočíst (diskontovat) na základě přijaté diskontní sazby pro hodnocenou investici. ²⁷

Jak je uvedeno výše tak hodnota diskontu byla určena na 5%.

Výsledná hodnota udává, kolik peněz realizace investice podniku přinese. Pokud vyjde NPV kladné, je projekt přípustný. Oproti tomu, pokud vyjde hodnota záporná, projekt je nepřijatelný z hlediska návratnosti investice. Investici můžeme realizovat, i pokud čistá současná hodnota vyjde záporná. ²⁸

Do takových investic se řadí i tato investice, jelikož tato investice nebude mít žádné příjmy, bude mít pouze výdaje, vyjde NPV vždy záporné, proto jsou v tomto případě všechny náklady, které by měli mít zápornou hodnotu, uvedeny jako kladné pro přehlednost výsledných dat.

Výpočet čisté současné hodnoty je třeba především považovat za určitou formu modelu, který popisuje, jak se bude finančně vyvíjet soubor aktivit vázaných na určitý investiční výdaj. Vzorce pro výpočet čisté současné hodnoty umožňují zahrnout do výpočtu v podstatě veškeré rozhodující parametry. Při dlouhodobé životnosti jednotlivých investic je však třeba racionálně posoudit, nakolik jsme schopni jednotlivé hodnoty parametrů odhadnout, zejména ve vzdálenějších obdobích, případně rozhodnout, zda není vhodnější zvolit určitou míru zjednodušení. ²⁷

4.8 Výpočet NPV

Výpočty NPV u jednotlivých technologických řešení jsem provedl podle výše uvedeného vzorce. Jako vstupy pro výpočet NPV byly použity náklady z tabulek hodnot u jednotlivých řešení, která budou následovat níže. Výše diskontu byla zvolena na 5%. Doba životnosti investice je počítána na 20 let. Jak již bylo uvedeno, mezi vstupy pro výpočet NPV nejsou žádné příjmy, pouze náklady, kterým byla v tomto případě otočena hodnota ze záporné na kladnou pro lepší přehled.

$$\text{NPV}_{\text{dieselový motor}} = 351\,737\,719 \text{ Kč}$$

$$\text{NPV}_{\text{plynový motor Mitsubishi}} = 213\,447\,994 \text{ Kč}$$

$$\text{NPV}_{\text{plynový motor Siemens}} = 217\,236\,211 \text{ Kč}$$

$$\text{NPV}_{\text{palivový článek}} = 1\,379\,519\,197 \text{ Kč}$$

²⁸ Management mania. [Online]. Čistá současná hodnota (NPV – Net Present Value). [Cit. 10. 9. 2020]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>

$$NPV_{\text{BESS}} = 178\,915\,946 \text{ Kč}$$

Pro vypočtené NPV platí, že využití hodnoty nepočítají se změnou nákladů na palivo v průběhu investice. Takovým případem se bude zabývat samostatná kapitola dále v této práci. Dále připomínám, že všechny uvedené NPV jsou ve skutečnosti záporná, jelikož investice nebude mít žádné příjmy a výnosnost, ale je zde uvedena jako kladná pro přehlednost ekonomického modelu.

4.9 RCF – Roční ekvivalentní tok

Jedná se o čistou současnou hodnotu projektu vynásobenou anuitním faktorem. Tím dojde k rovnoměrnému rozdělení diskontovaných peněžních toků do jednotlivých let po celou dobu životnosti projektu. Toto kritérium se používá pro porovnávání různých variant se shodným rokem počáteční investice, ale různou dobou životnosti.²⁹

$$RCF = \frac{r}{(1 - (1 + r)^{-T})} * NPV \quad (4)$$

Kde:

RCF...Roční ekvivalentní tok [Kč/rok]

NPV...Čistá současná hodnota [Kč]

T...Počet období

r...Diskont

4.10 Výpočet RCF

Výpočty RCF u jednotlivých technologických řešení jsem provedl podle výše uvedeného vzorce. Jako vstupy pro výpočet RCF byly použity hodnoty NPV vypočteny výše. Hodnota diskontu byla zvolena na 5%. Doba životnosti investice je počítána na 20 let.

$$RCF_{\text{diesellový motor}} = 28\,224\,344 \text{ Kč/rok}$$

$$RCF_{\text{plynový motor Mitsubishi}} = 17\,127\,619 \text{ Kč/rok}$$

$$RCF_{\text{plynový motor Siemens}} = 17\,413\,595 \text{ Kč/rok}$$

$$RCF_{\text{palivový člunek}} = 110\,696\,189 \text{ Kč/rok}$$

²⁹ Kritéria ekonomické efektivity. [Online]. [Cit. 10. 9. 2020]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/225801/mod_resource/content/1/Krit%C3%A9ria%20ekonomick%C3%A9%20efektivnosti.pdf

$$RCF_{\text{BESS}} = 14\,356\,678 \text{ Kč/rok}$$

Výpočet RCF zde není uveden z důvodu rozdílných životností investice, ale jako ukazatel ročních nákladů na celou investici v případě, že by se na investice vzal úvěr.

4.11 Diesellový motor

Dodavatel	Zeppelin	
Výkon	5750	kW
Emise (CO₂)	1,27	kg/kWh
Elektrická účinnost	33	%
Kombinovaná účinnost	---	%
Čerpání životnosti	1 772	Kč*
Využití	500	h/rok
Doba startu	120	s
Spolehlivost		
Startu	97	%
Provozu	92	%
Náklady		
Výstavba/instalace	106 375	Kč*
Údržba	350	Kč/rok*
Obsluha	400	Kč/rok*
Palivo	17 136	Kč/rok*
Emise (povolenky)	2 209	Kč/rok*
NPV	351 737	Kč/rok*
RCF	28 224	Kč/rok*

Tabulka 1. Diesellový motor

* hodnota je v tisících Kč

V tomto případě byla jako jediný dodavatel zvolena společnost Zeppelin s kombinací jednotek 3512B a C175.20*. ³⁰ Emise CO₂ byly spočítány podle vědeckého článku vydaného Americkým energetickým úřadem. ³¹ Spolehlivost a náklady na výstavbu a údržbu byly spočítány podle odhadů amerického institutu JISEA (Joint Institute for Strategic Energy Analysis)³², podle kterého vyšla cena na výstavbu jako 18 500 Kč/kW. Cena paliva byla spočítána kombinací spotřeby obou jednotek a cena nafty je zde 30 Kč/l. Pro přepočet živostnosti bylo počítáno s živostností 30 000 hodin. Ostatní údaje byly převzaty z oficiálních informací od výrobce.

4.12 Plynový motor

Dodavatel	Mitsubishi	Siemens	
Výkon	5 750	6 000	kW
Emise (CO₂)	0,41	0,41	kg/kWh
Elektrická účinnost	49,5	45	%
Kombinovaná účinnost	90	81	%
Čerpání živostnosti	2 702	2 820	Kč*
Využití	500	500	h/rok
Doba startu	600	600	s
Spolehlivost			
Startu	98	99	%
Provozu	95	95	%
Náklady			
Výstavba/instalace	135 125	141 000	Kč*
Údržba	400	400	Kč/rok*
Obsluha	400	400	Kč/rok*
Palivo	5 145	5 000	Kč/rok*
Emise (povolenky)	806	806	Kč/rok*

³⁰ Konstrukční katalog Zeppelin. [Online]. Leden 2019. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://zeppelin.cz/cs/downloads/ES-konstrukcni-katalog-2019.pdf>

³¹ Frequently asked questions. [Online]. Srpen 2020. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>

³² A comparison of Fuel Choice for Backup Generators. [Online]. Březen 2019. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72509.pdf>

NPV	213 447	217 236	Kč/rok*
RCF	17 127	17 431	Kč/rok*

Tabulka 2. Plynový motor

* hodnota je v tisících Kč

U plynového řešení byla zvolena technologie plynového motoru, na rozdíl od plynové turbíny, která má sice nižší emise a spotřebu, ale také má delší dobu startu, pro použití jako záložní zdroj je tedy turbína nevhodná.

Jako dva dodavatelé zde byly vybrány společnosti Mitsubishi s jednotkou 18KU30GSI³³ a Siemens s jednotkou SGE-EM³⁴. Emise CO₂ byly spočítány podle vědeckého článku vydaného Americkým energetickým úřadem³¹. Spolehlivost a náklady na výstavbu a údržbu byly spočítány podle odhadů amerického institutu JISEA (Joint Institute for Strategic Energy Analysis)³², podle kterého vyšla cena na výstavbu jako 23 000 Kč/kW. Dále pro cenu paliva je počítáno se spotřebou paliva udávanou výrobcem a cenou zemního plynu stanovenou jako 10 Kč/m³. Pro přepočítání životnosti bylo počítáno s životností 25 000 hodin. Ostatní údaje byly převzaty z oficiálních informací od výrobců.

4.13 Palivový článek

Dodavatel	Siemens/Hydrogenics	
Výkon	6 000	kW
Emise (CO₂)	---	kg/kWh
Elektrická účinnost	50	%
Kombinovaná účinnost	75	%
Čerpání životnosti	20 070	Kč*
Využití	500	h/rok
Doba startu	60	s
Spolehlivost		
Startu	99	%
Provozu	99,9	%

³³ Mitsubishi Gas Engine. [Online]. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z:

<http://www.mhiet.co.jp/en/products/engine/generation/generator/gasgenerating/pdf/catalogue.pdf>

³⁴ SGE-EM 2MW – Class Gas Engines. [Online]. 2017. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z:

<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:25c8b081e5ea1add5c3087762f5b8889520d59a4/siemens-2mw-brochure.pdf>

Náklady		
Výstavba/instalace	802 800	Kč*
Údržba	2,5	Kč/rok*
Obsluha	400	Kč/rok*
Palivo	48 892	Kč/rok*
Emise (povolenky)	---	Kč/rok*
NPV	1 379 519	Kč/rok*
RCF	110 696	Kč/rok*

Tabulka 3. Palivový článek

* hodnota je v tisících Kč

Pro palivový článek byla použita technologie PEM, jelikož se jedná o nejrozšířenější a nejspolehlivější řešení a zároveň díky nízkým operačním teplotám, které způsobují kratší dobu startu.

Jako možní dodavatelé palivových článků byly zvoleny firmy Hydrogenics³⁵ a Siemens.³⁶ Údaje o spolehlivosti a nákladech na výstavbu a údržbu byly čerpány z vědeckých článků z americké univerzity Berkeley z roku 2016³⁷ a americké laboratoře pro obnovitelné zdroje (National Renewable Energy Laboratory – NREL) z roku 2014.³⁸ Z těchto článků byla vypočtena cena za výstavbu zdroje na 133 800 Kč/kW. Pro výpočet paliva byla vzata spotřeba palivového článku a jako cena vodíku bylo použito 265 Kč/kg vodíku. Pro přepočet životnosti bylo počítáno s životností 20 000 hodin. Ostatní údaje byly převzaty z oficiálních informací od výrobců.

³⁵ Fuel Cell Power plant platform. [Online]. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/Fuel-Cell-MW-Power-Plant-Platform.pdf>

³⁶ Silyzer 300. [Online]. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:abae9c1e48d6d239c06d88e565a25040ed2078dc/ct-ree-18-047-db-silyzer-300-db-de-en-rz.pdf>

³⁷ A total Cost of Ownership Model for Low Temperature PEM Fuel Cells. [Online]. Únor 2017. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/02/f34/fcto_2016_tco_model_low_temp_pem_fc.pdf

³⁸ Backup Power Cost of Ownership Analysis and Incumbent Technology Comparison. [Online]. Září 2014. [Cit. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60732.pdf>

4.14 BESS

Dodavatel	Siemens/General Electric	
Výkon	6 000	kW
Emise (CO₂)	---	kg/kWh
Elektrická účinnost	85	%
Kombinovaná účinnost	---	%
Čerpání životnosti	12 042	Kč*
Využití	500	h/rok
Doba startu	1	s
Spolehlivost		
Startu	99,9	%
Provozu	98,5	%
Náklady		
Výstavba/instalace	120 420	Kč*
Údržba	804	Kč/rok*
Obsluha	400	Kč/rok*
Palivo	3 900	Kč/rok*
Emise (povolenky)	---	Kč/rok*
NPV	178 915	Kč/rok*
RCF	14 356	Kč/rok*

Tabulka 4. BESS

* hodnota je v tisících Kč

Jako dodavatelé BESS byly vybrány společnosti General Electric³⁹ a Siemens.⁴⁰ Jelikož baterie elektrickou energii přímo nevyrábí, ale funguje pouze jako úložiště, tak se zadané parametry pro tuto technologii změnil. BESS musí být schopen dodávat 6 MW po 30 minut neboli 3 MWh. Jako palivo v tomto případě bylo zvoleno uvádět cenu jednoho nabití BESS vzhledem k cenám energie, pro tento případ bylo počítáno s 1,3 Kč/kWh. Pro zjištění nákladů na výstavbu a údržbu

³⁹ Energy Storage – GE Reservoir Solutions. [Online]. [Cit. 5. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.ge.com/renewableenergy/hybrid/battery-energy-storage>

⁴⁰ Fluence Gridstack. [Online]. Duben 2020. [Cit. 5. 8. 2020]. Dostupné z: <https://info.fluenceenergy.com/hubfs/Collateral/Gen6/Gridstack%20Tech%20Spec.pdf>

BESS bylo použito vědeckých článků z NREL ^{41 42}, z těchto článků pak byla přepočítána cena výstavby jako 20 070 Kč/kW. Pro přepočet životnosti byla použita životnost 10 000 cyklů. Ostatní údaje byly převzaty z oficiálních informací od výrobců.

4.15 Palivové náklady

Jelikož cena paliv není fixní a jejich trh se neustále vyvíjí, byla sestavena citlivostní tabulka pro určení použité jednotkové ceny paliv a palivových nákladů pro jednotlivá řešení. Pro stanovení této ceny byly použity údaje o cenách paliv mezi lety 2010-2020. ⁴³ Tabulky obsahují vždy minimální a maximální cenu paliva v tomto období a poté také hodnotu použitou v ekonomickém modelu a porovnání palivových nákladů při různých cenách. Použitá jednotková cena paliva je vždy průměrná hodnota paliva mezi lety 2010-2020.

Nafta		
	Jednotková cena [Kč/l]	Palivové náklady [tis. Kč/rok]
Minimální	25	14 275
Maximální	37,5	21 468
Použitá hodnota	30	17 136

Tabulka 5. Palivové náklady - nafta

Plyn		
	Jednotková cena [Kč/m ³]	Palivové náklady [tis. Kč/rok]
Minimální	2,5	1 286
Maximální	12,5	6 431
Použitá hodnota	10	5 145

Tabulka 6. Palivové náklady – plyn

⁴¹ Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage. [Online]. Červen 2019. [Cit. 5. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73222.pdf>

⁴² Battery Energy Storage Overview. [Online]. Duben 2019. [Cit. 5. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.cooperative.com/programs-services/bts/documents/reports/battery-energy-storage-overview-report-update-april-2019.pdf>

⁴³ Kurzy paliv. [Online]. [Cit. 14. 9. 2020]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/>

Vodík		
	Jednotková cena [Kč/kg]	Palivové náklady [tis. Kč/rok]
Minimální	240	44 280
Maximální	360	66 198
Použitá hodnota	265	48 892

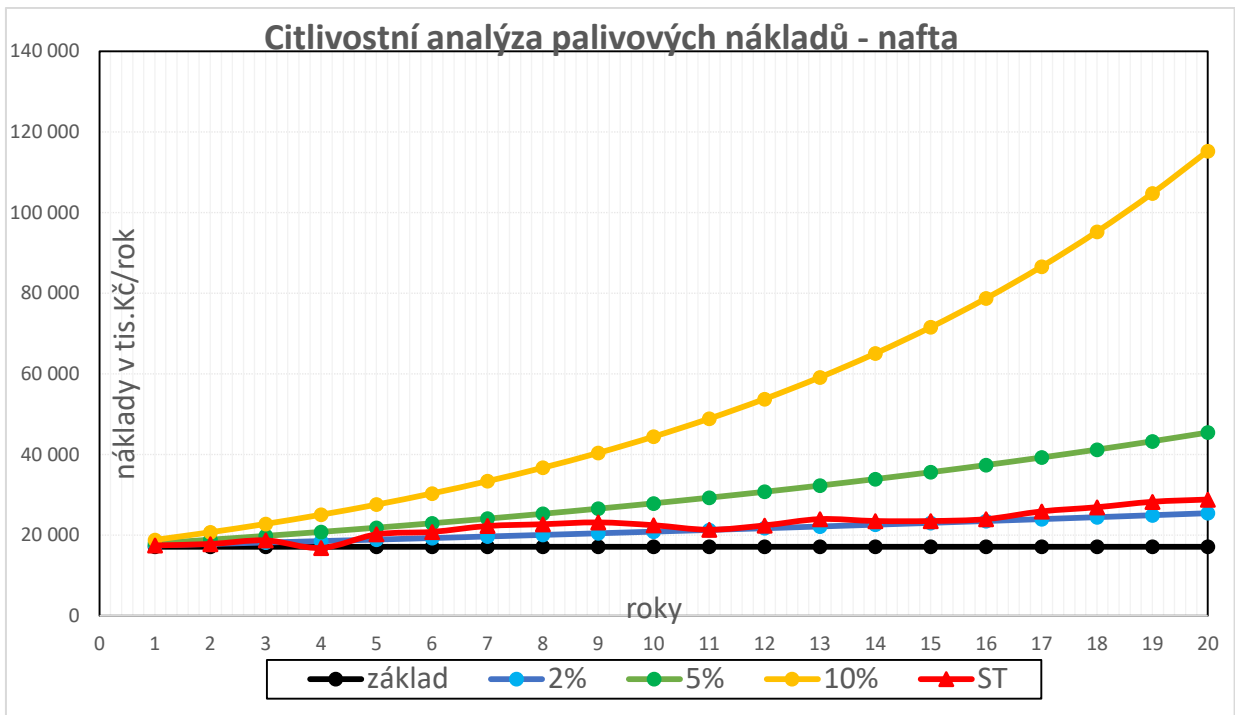
Tabulka 7. Palivové náklady - vodík

Elektřina		
	Jednotková cena [Kč/kWh]	Palivové náklady [tis. Kč/rok]
Minimální	0,58	1 740
Maximální	1,52	4 560
Použitá hodnota	1,3	3 900

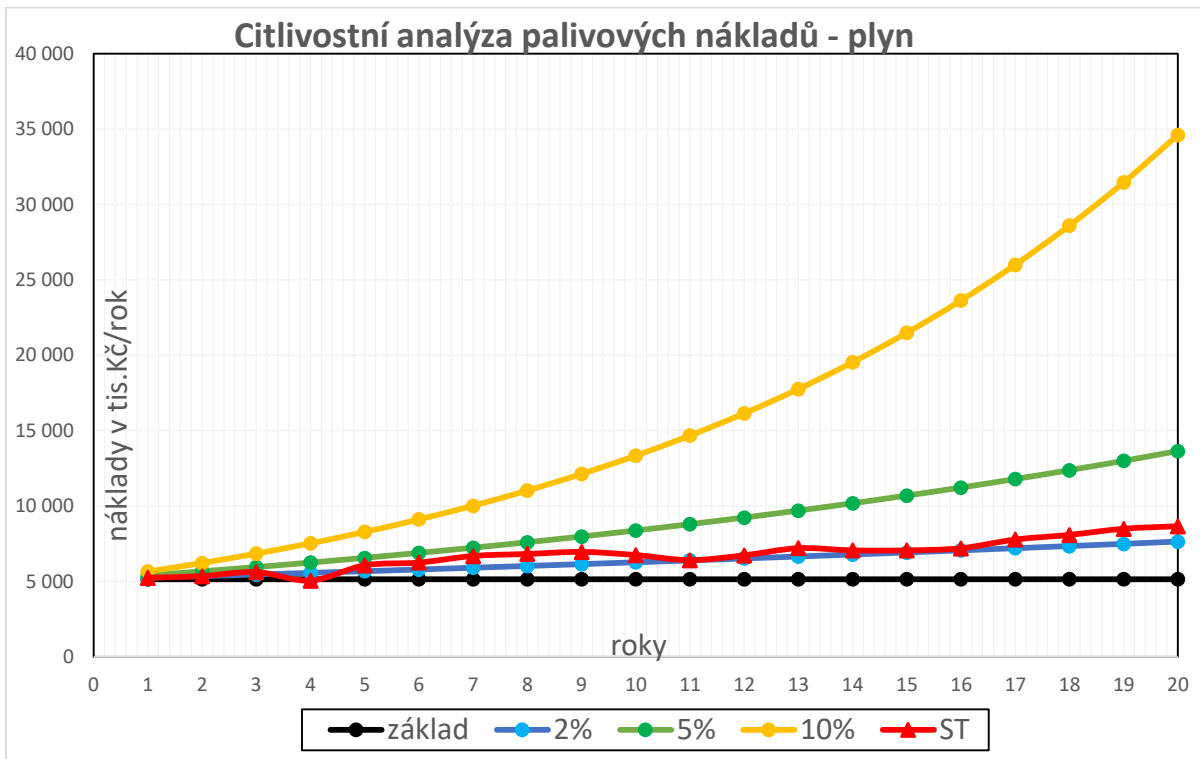
Tabulka 8. Palivové náklady - elektřina

4.16 Citlivostní křivka NPV

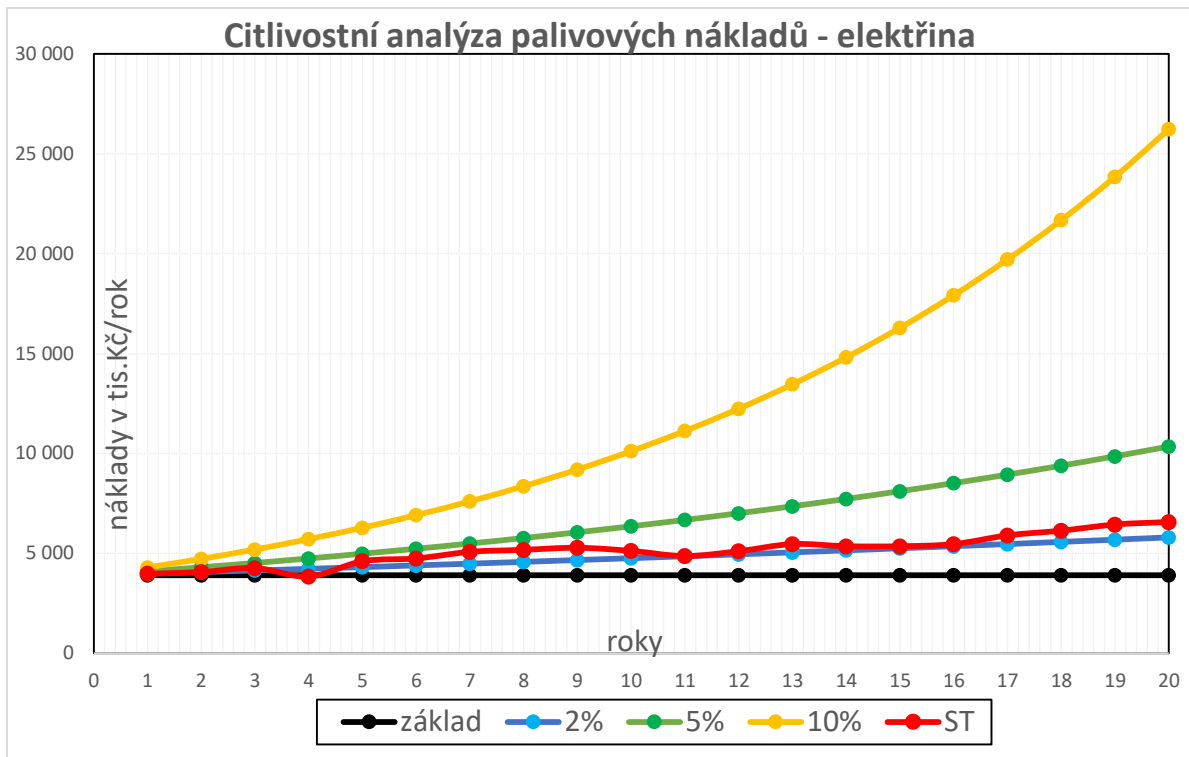
Jelikož ne všechny náklady jsou fixní, byly vytvořeny citlivostní křivky NPV, které počítají s růstem nákladů během životnosti investice. Jako příklady můžeme zmínit růst cen paliv, emisních povolenek a mezd za obsluhu. Vytvořené křivky odpovídají nárůstům 2%, 5%, 10% a poté je zde použita křivka s proměnlivým růstem simulující nepravidelný vývoj trhu. Simulace trhu je v grafech značena zkratkou ST.



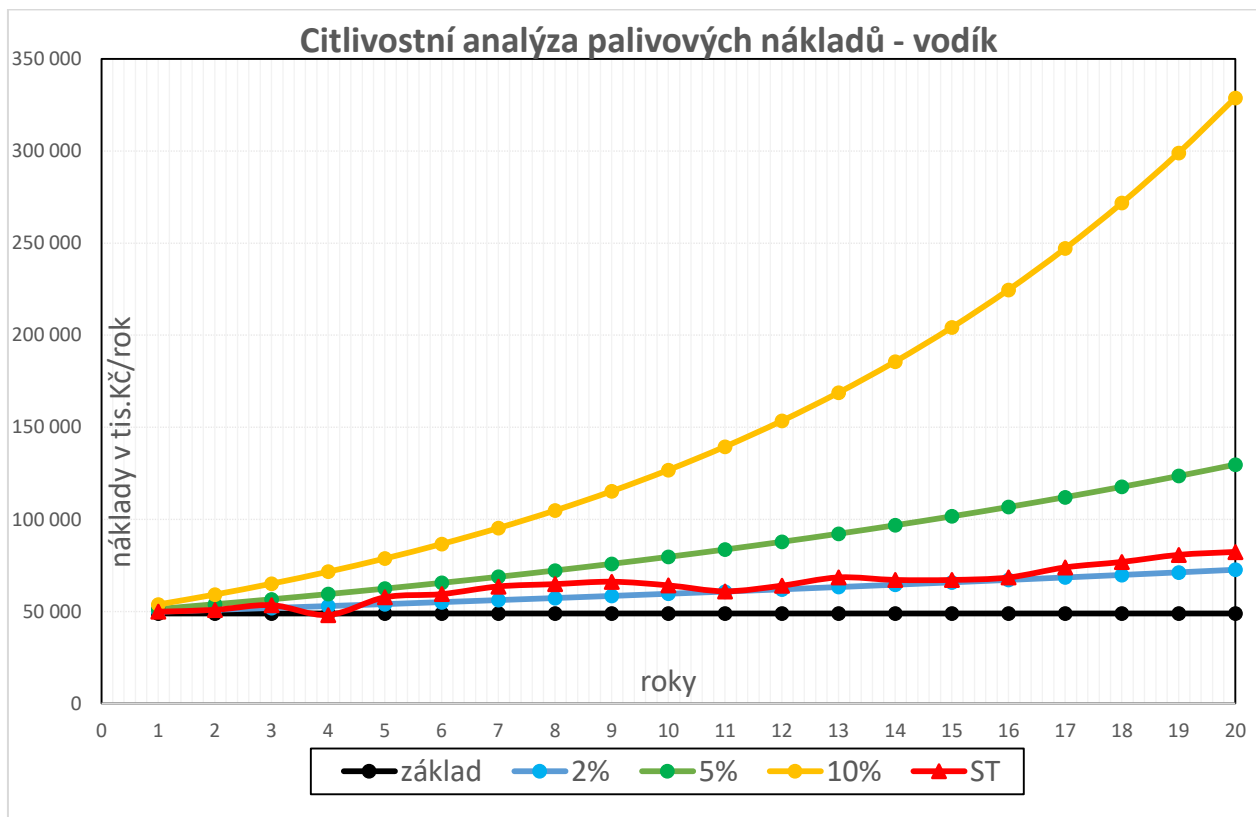
Obrázek 7. Citlivostní analýza - nafta



Obrázek 8. Citlivostní analýza - plyn



Obrázek 9. Citlivostní analýza - elektřina



Obrázek 10. Citlivostní analýza - vodík

Samozřejmě v tento moment se mění i NPV v závislostech na procentuálním růstu nákladů, tudíž zde následují nové přepočítané hodnoty.

a) Dieselový motor

$$NPV_{2\%} = 394\,517\,660 \text{ Kč}$$

$$NPV_{5\%} = 480\,905\,200 \text{ Kč}$$

$$NPV_{10\%} = 717\,065\,460 \text{ Kč}$$

$$NPV_{ST} = 408\,843\,920 \text{ Kč}$$

b) Plynový motor

$$NPV_{2\%} = 226\,292\,480 \text{ Kč}$$

$$NPV_{5\%} = 252\,229\,920 \text{ Kč}$$

$$NPV_{10\%} = 323\,135\,880 \text{ Kč}$$

$$NPV_{ST} = 230\,593\,880 \text{ Kč}$$

c) Palivový článek

$$NPV_{2\%} = 1\,500\,956\,190 \text{ Kč}$$

$$NPV_{5\%} = 1\,747\,437\,470 \text{ Kč}$$

$$NPV_{10\%} = 2\,421\,250\,800 \text{ Kč}$$

$$NPV_{ST} = 1\,541\,831\,950 \text{ Kč}$$

d) BESS

$$NPV_{2\%} = 188\,029\,180 \text{ Kč}$$

$$NPV_{5\%} = 207\,690\,220 \text{ Kč}$$

$$NPV_{10\%} = 261\,438\,170 \text{ Kč}$$

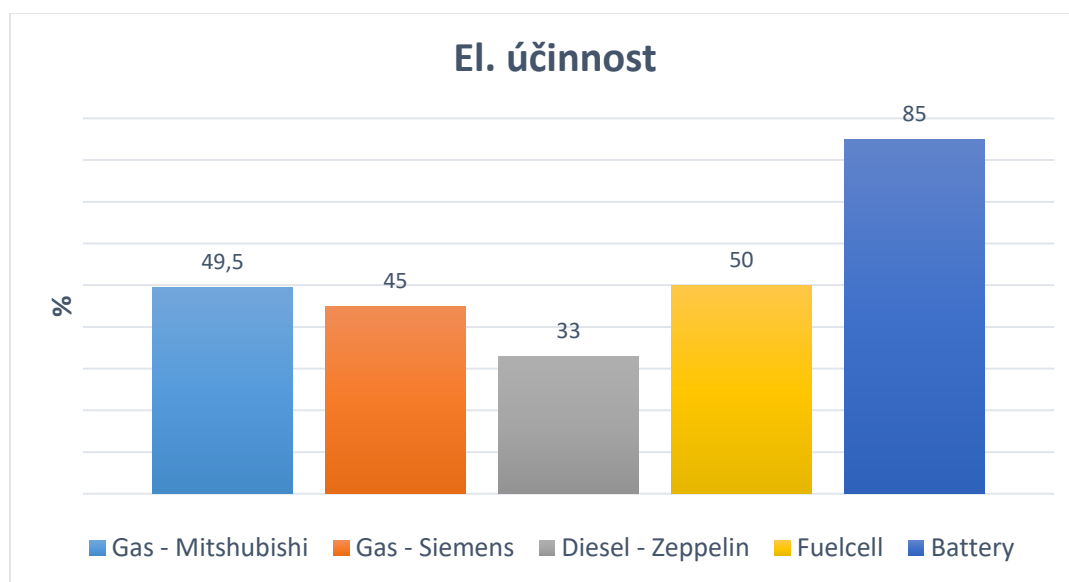
$$NPV_{ST} = 191\,289\,710 \text{ Kč}$$

4.17 Porovnání technologií

Pokud máme porovnávat jednotlivé technologie, nejdůležitějším faktorem je samozřejmě celková cena. Ovšem musíme zohlednit především funkci pro, kterou bude instalovaný zdroj sloužit. Z tohoto důvodu musíme porovnávat 8 parametrů:

Elektrická účinnost, Spolehlivost, Emise CO₂, Doba startu, Životnost, Cenu výstavby zdroje, Palivové náklady a NPV.

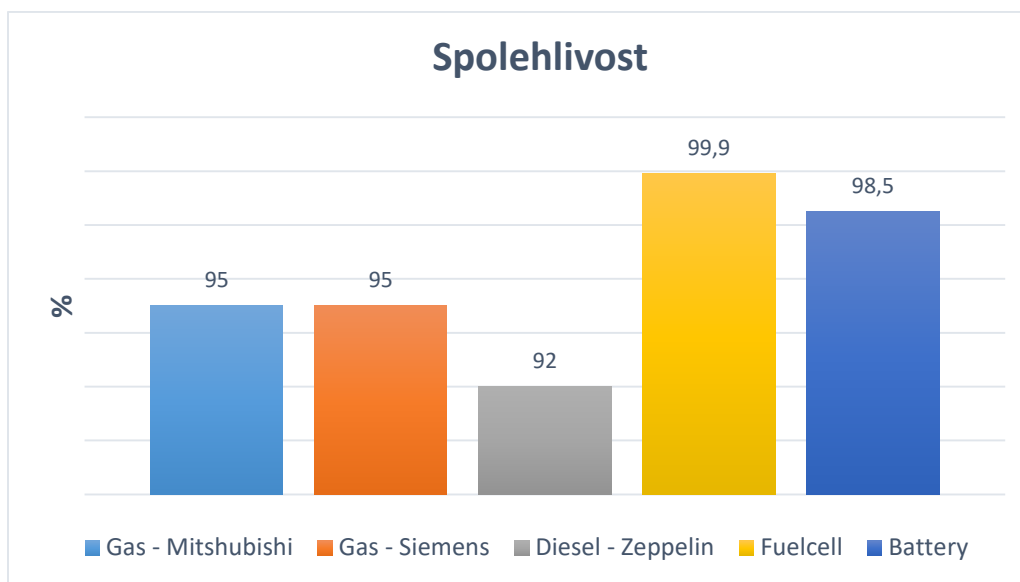
Elektrická účinnost



Obrázek 11. Porovnání elektrické účinnosti

Elektrická účinnost porovnává efektivitu jednotlivých technologií. Z grafu můžeme vidět, že největší efektivitu nabízí systém BESS s 85%. Zatímco plynové motory a palivové články jsou na tom podobně okolo 50%.

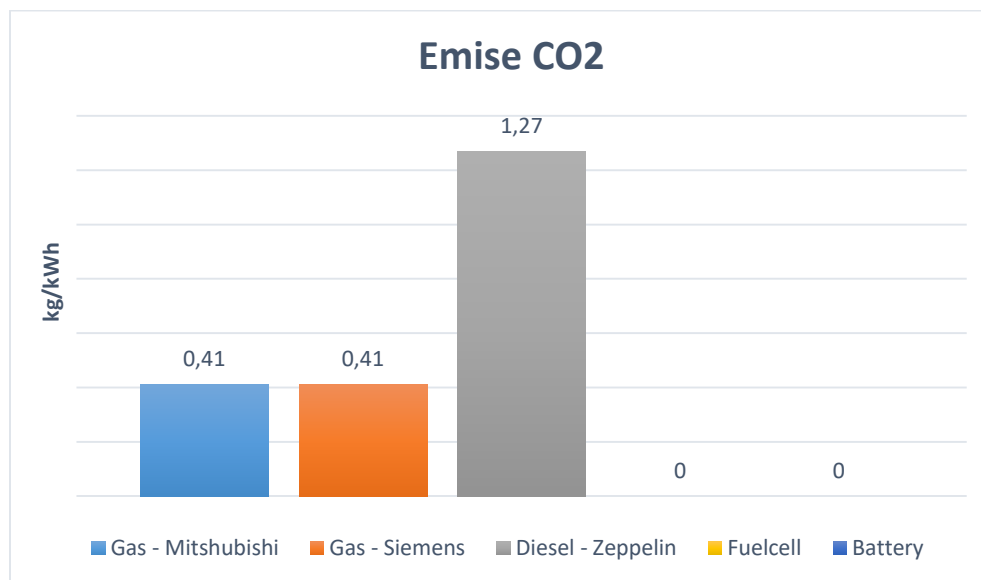
Spolehlivost



Obrázek 12. Porovnání spolehlivosti

Instalovaný zdroj musí mít maximální spolehlivost kvůli svému určení, jako záložní zdroj. Spolehlivost provozu mají všechny technologie na 90%, ovšem požadovaný zdroj má mít spolehlivost dokonalou a v tomto ohledu vedou moderní technologie jako BESS a palivové články.

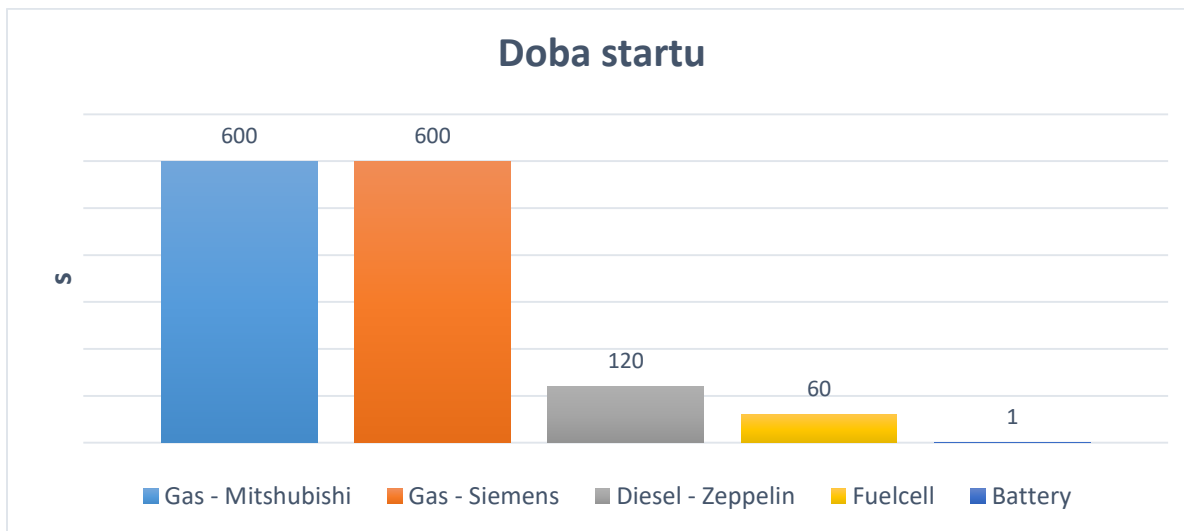
Emise CO₂



Obrázek 13. Porovnání emisí CO₂

Jak bylo již v práci řečeno, snižování skleníkových plynů hýbe celou Evropskou unií a tak je potřeba zohlednit produkci emisí jednotlivých zdrojů. Jak je zde uvedeno nejvyšší emise má naftový motor. Naopak vodíkový palivový článek a BESS neprodukují žádné emise a mají tedy během provozu nejmenší dopad na životní prostředí.

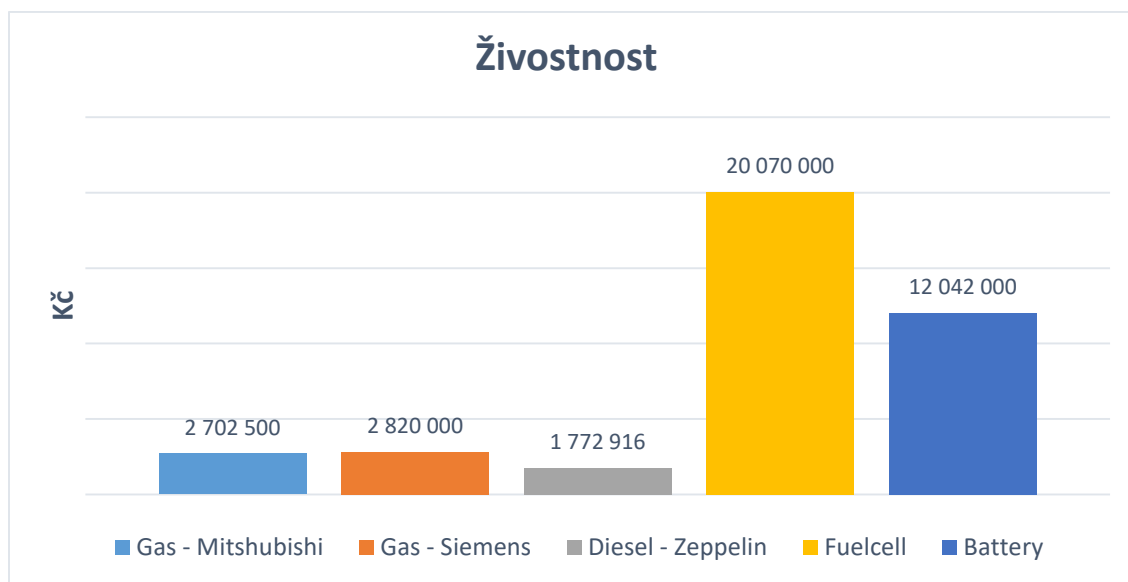
Doba startu



Obrázek 14. Porovnání doby startu

Doba startu je důležitý faktor pro záložní zdroj, jelikož v případě havárie je nutné okamžitě elektrárnu bezpečně odstavit, aby se předešlo dalším škodám. Zde se projevují nevýhody plynových motorů, kterým trvá nárůst zhruba 10 minut, naopak BESS v tomto případě reaguje okamžitě.

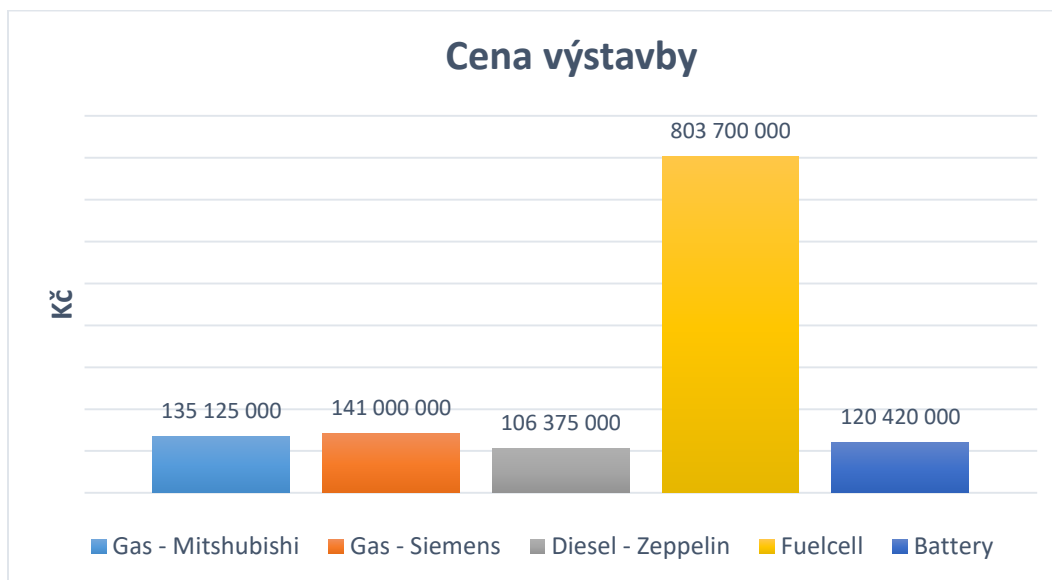
Živostnost



Obrázek 15. Porovnání životnosti

Jak již bylo uvedeno, běžná životnost nejde v tomto projektu použít, životnost je tedy v tomto případě oceněna vzhledem k celkové ceně zařízení podle vzorce uvedeného výše v práci. Jak vyplývá z grafu, vzhledem k ceně, nabízí nejlepší životnost plynové a naftové motory.

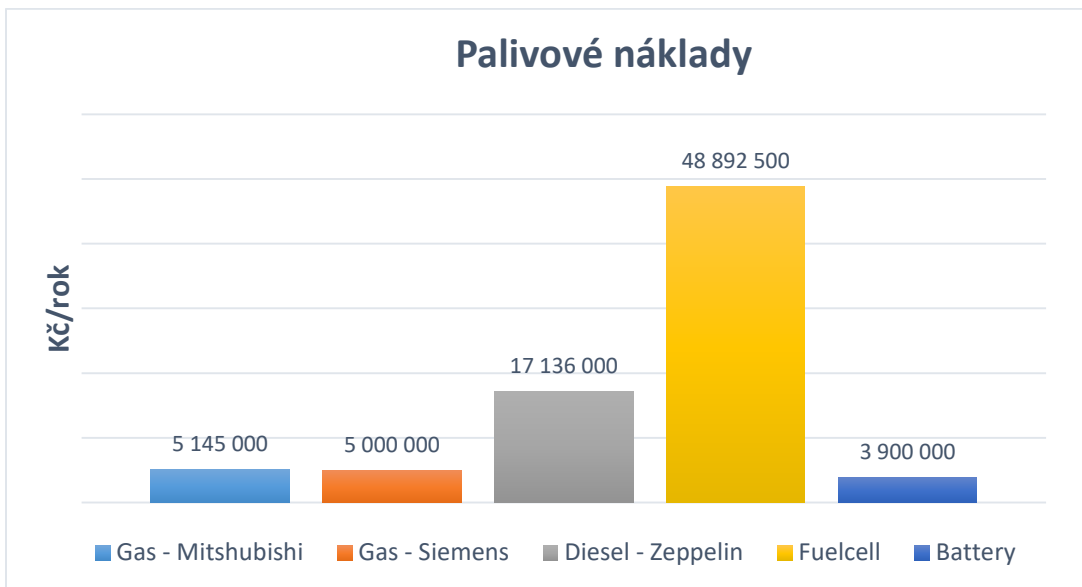
Cena výstavby



Obrázek 16. Porovnání nákladů na výstavbu

Zde můžeme vidět, jak jsou všechny technologie, kromě palivových článků, cenově podobné co se týče nákladů na výstavbu. Rozdíl u technologie palivových článků je dán tím, že jde stále o velmi moderní a novou technologii, která není příliš rozšířena a tomu odpovídá i cena.

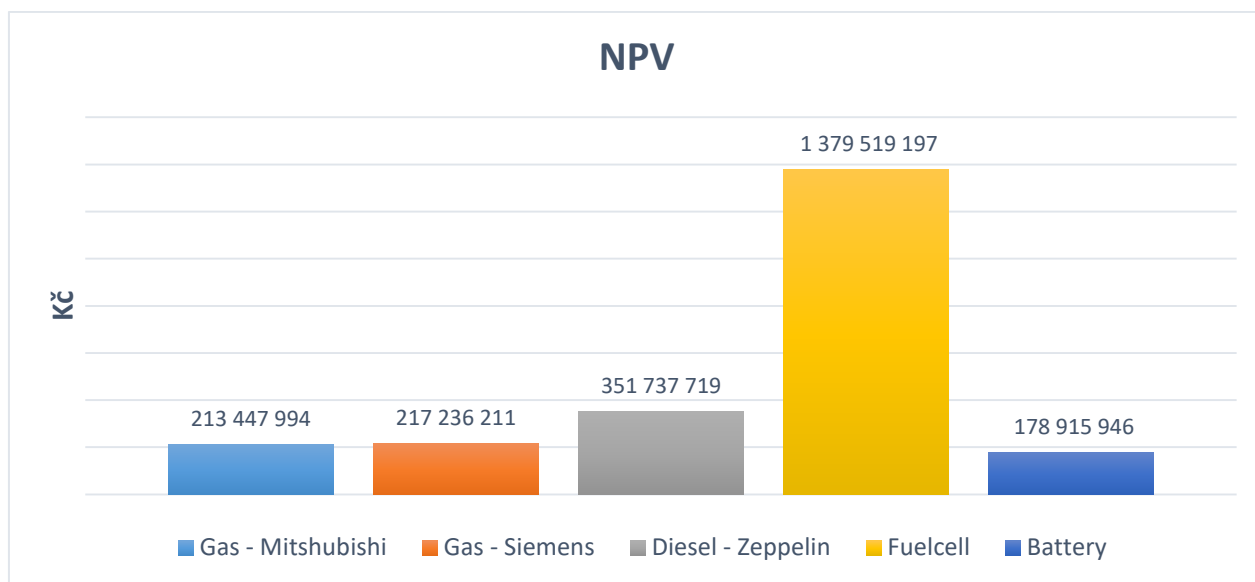
Palivové náklady



Obrázek 17. Porovnání palivových nákladů

Palivové náklady mají výše v práci samostatnou kapitolu o vývoji a určení jejich cen, zde jsou tedy použity roční palivové náklady z prvního roku využití zdroje. Zde nejlépe vycházejí technologie BESS a plynové motory, naopak cena vodíku je v porovnání s ostatními technologiemi řádově dražší.

Celkové náklady za investici



Obrázek 18. Porovnání NPV

V tomto případě, stejně jako u palivových nákladů jsou porovnávány čisté současné hodnoty z prvních výpočtů bez započítání nárůstů proměnných nákladů během trvání investice. Na tomto grafu je vidět, že cenově nejlépe vychází řešení BESS, dále pak plynové motory. Naftové motory jsou dražší zejména kvůli vyšší ceně paliva. Co se týče palivového článku je zde jasně vidět, že takto moderní technologie je cenově velmi zatěžující a nekonkurenceschopná a pokud by měla být tato technologie konkurenceschopným řešením, musela by Evropská Unie zavést dotace okolo 85%.

5. Závěr

Cílem této práce bylo nalézt komerčně dostupnou náhradu záložního zdroje na elektrárně Počerady. Přičemž měly být zohledněny i možnosti použití moderních nízko-emisních technologií palivových článků a bateriových úložišť (BESS). Řešení mělo být nalezeno ekonomickým porovnáním jednotlivých vybraných technologií.

V první části práce jsou nejprve vysvětleny technologie palivových článků a BESS, jejich druhy a funkce, dále je uvedeno současné využití těchto technologií ve světě. Nakonec se první část zabývá rozbohem podpory obou technologií ze strany Evropské unie a Evropské komise. Jsou zde uvedeny plány na budoucí investice a prognózy využití těchto technologií v budoucnosti.

Ve druhé části se práce věnuje sestavení ekonomického modelu pro technicko-ekonomické porovnání vybraných technologií, s účelem nahradit stávající záložní zdroj na elektrárně, novým zdrojem o výkonu 6 MW, který má v budoucnu poskytnout dosud nezrealizovanou

možnost nájezdu ze tmy. Technologie byly vybrány celkem čtyři a následoval průzkum trhu pro nalezení společností schopných dodat komerčně dostupné zařízení odpovídající technickým požadavkům hledaného zdroje.

V momentě nalezení konkrétních řešení a zjištění jejich parametrů došlo k porovnání řešení a vypočtení proměnných a celkových nákladů na investici. Z výsledných výstupů jde vyvodit několik konstatování o jednotlivých technologiích. Při pohledu na řešení s dieselovým motorem můžeme pozorovat, že technologie již nepřináší nic nového a její výkony v ekonomickém porovnání se dají hodnotit přinejlepším jako průměrné, zaostává především v otázce emisí, spolehlivosti a palivových nákladů. Za překvapivý výsledek můžeme označit výstupy palivových článků. Kde, i přestože technické specifikace tohoto zařízení jsou nadprůměrné, ekonomické hledisko je značně nepříznivé, jelikož technologie palivových článků je stále příliš drahá, a to jak výstavba zařízení, tak i palivové náklady. I když tento problém mají řešit budoucí investice a strategie Evropské unie, která cílí právě na zlevnění této technologie, tak v současné době, byť je tato technologie velmi perspektivní do budoucna, nejsou palivové články konkurenčním řešením, pokud Evropská unie neudělí v tomto případě dotace alespoň 80% na výstavbu a provoz zařízení.

Za vhodná řešení proto lze označit konvenční plynový motor nebo moderní bateriové úložiště. Obě tyto technologie mají svá pozitiva a negativa. Co se týče plynových motorů jako konkrétní řešení bych zvolil nabídku společnosti Siemens, především kvůli bohaté historii spolupráce společností Siemens, A.G. a ČEZ, a. s. a splnění požadovaného výkonu zařízení. Výhody plynového motoru leží ve velmi nižší údržbě vzhledem k BESS a faktu, že zdroj bude nainstalován na paroplynovém zdroji, který funguje na stejném typu paliva, tudíž lze předpokládat další snížení ceny za výstavbu, kvůli již přítomné infrastruktuře a snížení palivových nákladů z důvodu již existující smlouvy na dodávky zemního plynu do elektrárny Počerady. Jako nevýhody lze označit především delší dobu startu okolo 10 minut a produkci skleníkových plynů. Na druhé straně BESS mezi své hlavní výhody staví nulové emise během využívání zdroje a okamžitá doba startu, jako další výhodu můžeme zmínit nižší celkové náklady na investici, i když tato výhoda nemusí být směrodatná, jak již bylo zmíněno. Mezi hlavní nevýhody tohoto řešení se řadí především vysoká údržba způsobená degradací jednotlivých baterií v systému a samotné technické řešení a požadavky, které způsobí situaci, kdy pokud se v případě blackoutu nepodaří nájezd ze tmy na první pokus, toto selhání nemusí být vinou BESS, tak bateriové úložiště pak již nemusí mít dostatek výkonu na provedení dalšího pokusu o nájezd ze tmy.

V konečném rozhodnutí rozhodnou preference společnosti ČEZ, a. s. Úkolem této bakalářské práce je přispět k realizaci reálného projektu budoucí náhrady záložního zdroje na elektrárně Počerady, kdy tento model bude vzat v potaz při výběru konkrétního řešení. Zároveň práce nabídla konkrétní srovnání několika komerčně dostupných technologií a může najít uplatnění i mimo původně zamýšlený cíl.

6. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1. Schématické zobrazení palivového článku	2
Obrázek 2 Zjednodušené schéma funkce PEM Palivového článku ⁴	4
Obrázek 3 Struktura lithium-iontové baterie	11
Obrázek 4. Charakteristika nabíjení Lithium-iontové baterie.	12
Obrázek 5. Paroplyn v Počeradech ²⁴	14
Obrázek 6. Současný záložní zdroj Zeppelin v PPC / Autor: Jakub Zapletal.....	15
Obrázek 7. Citlivostní analýza - nafta	28
Obrázek 8. Citlivostní analýza - plyn	28
Obrázek 9. Citlivostní analýza - elektřina.....	29
Obrázek 10. Citlivostní analýza - vodík	29
Obrázek 11. Porovnání elektrické účinnosti.....	31
Obrázek 12. Porovnání spolehlivosti	32
Obrázek 13. Porovnání emisí CO ₂	32
Obrázek 14. Porovnání doby startu.....	33
Obrázek 15. Porovnání životnosti.....	34
Obrázek 16. Porovnání nákladů na výstavbu.....	34
Obrázek 17. Porovnání palivových nákladů.....	35
Obrázek 18. Porovnání NPV	36
Tabulka 1. Diesellový motor	21
Tabulka 2. Plynový motor	23
Tabulka 3. Palivový článek.....	24
Tabulka 4. BESS.....	25
Tabulka 5. Palivové náklady - nafta	26
Tabulka 6. Palivové náklady – plyn.....	26
Tabulka 7. Palivové náklady - vodík.....	27
Tabulka 8. Palivové náklady - elektřina.....	27

Přílohy

- 1) Výpočty pro ekonomický model – excel dokument