

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

**Využití bateriových úložišť a UPS v podpůrných
službách**

Use of battery storage and UPS in Ancillary services

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Jan Votava

Jan Vaniščík

Praha 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vaniščák** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **420265**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití bateriových úložišť a UPS v podpůrných službách

Název diplomové práce anglicky:

Use of battery storage and UPS in Ancillary services

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s technikou bateriových úložišť a UPSaaR.
2. Seznamte se s podmínkami poskytování podpůrných služeb.
3. Vytvořte varianty technického řešení pro 3 libovolné typy podpůrných služeb. Popište výhoda a nevýhody, životnost atd. pro daná řešení.
4. Proveďte ekonomické porovnání navržených variant.

Seznam doporučené literatury:

1. Kodex PS –část I. Základní podmínky pro užívání přenosové soustavy, dostupný na <http://www.ceps.cz>
2. Kodex PS –část II. Podpůrné služby, dostupný na <http://www.ceps.cz>
3. K. Máslo: Podpůrné služby a trh s elektřinou v Evropě, Energetika č.12/2000
4. DOLEŽAL, Jaroslav. Jaderné a klasické elektrárny. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN isbn978-80-01-04936-5.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Votava, katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **27.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **01.03.2021**

Ing. Jan Votava
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Podpis

Abstrakt

Práce je z části rešerše a ekonomická studie. Zabývá se možným využitím záložních zdrojů a bateriových uložišť v podpůrných službách. První tři kapitoly se zabývají úvodem do podpůrných služeb, záložních zdrojů a bateriových uložišť. V poslední kapitole je ekonomická studie zabývající se porovnáním UPS a BSAE ve třech variantách podpůrných služeb.

Klíčová slova

Záložní zdroje, Bateriové uložišť, Baterie, UPS, BSAE, PpS, Podpůrné služby

Abstract

The thesis is partly search and economic study. It deals with the possible uses of backup sources and battery storage in ancillary services. The first three chapters deal with an introduction to ancillary services, uninterruptible power supply, and battery storage. The last chapter is an economic study dealing with the comparison of UPS and BSAE in three variants of ancillary services.

Key words

Backup sources, Battery storage, Batteries, UPS, BSAE, Ancillary services

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Janu Votavovi za odborné vedení mé diplomové práce a za jeho cenné poznatky, připomínky a rady. A také společnosti Eaton, specificky týmu PQ Sales, za poskytnutí potřebné dokumentace a zodpovězení potřebných dotazů.

V Praze dne

Podpis

Obsah

ÚVOD	9
1 PODPŮRNÉ SLUŽBY	10
1.1.1 Požadavky na podpůrné služby jsou:.....	10
1.1.2 Rozdělení služeb výkonové rovnováhy do roku 2019:.....	11
1.1.3 Ostatní služby:.....	11
1.2 PROCES AUTOMATICKÉ REGULACE FREKVENCE FCP	11
1.2.1 Definice služby:	11
1.3 AUTOMATICKY OVLÁDANÝ PROCES OBNOVENÍ FREKVENCE A VÝKONOVÉ ROVNOVÁHY AFRP	12
1.3.1 Definice služby.....	12
1.4 RUČNĚ OVLÁDANÝ PROCES OBNOVENÍ FREKVENCE A VÝKONOVÉ ROVNOVÁHY MFRPT	12
1.4.1 Definice služby.....	12
1.5 PROCES NÁHRADY ZÁLOH RRP.....	13
1.5.1 Definice služby.....	13
1.6 SEKUNDÁRNÍ REGULACE U/Q (SRUQ)	13
1.6.1 Definice služby.....	13
1.7 SCHOPNOST OSTROVNÍHO PROVOZU (OP).....	13
1.7.1 Definice služby.....	13
1.8 SCHOPNOST STARTU ZE TMY (BS).....	14
1.8.1 Definice služby.....	14
1.9 PLATBA PODPŮRNÉ SLUŽBY	15
1.9.1 Denní trh	16
1.9.2 Dlouhodobé kontrakty.....	16
2 UPS	17
2.1 ZDROJE NEPŘERUŠOVANÉHO NAPÁJENÍ (UPS).....	17
2.2 UPS DLE TOPOLOGIE:.....	17
2.2.1 Single-conversion.....	17
2.2.1.1 Off-line (passive stand-by).....	17
2.2.1.2 Line-interaktive.....	18
2.2.2 On-line (Dvojitá-konverze).....	19

2.3	POPIS BLOKŮ.....	20
2.3.1	Vstupní usměrňovač.....	20
2.3.2	Výstupní střídač	20
2.3.3	Meziobvod	21
2.3.4	Baterie.....	21
2.3.4.1	Druhy baterií používaných v UPS:	22
2.3.5	By-pass.....	24
2.4	DALŠÍ DĚLENÍ UPS	25
2.5	VYUŽITÍ UPSAAR.....	27
3	BATERIOVÉ ULOŽIŠTĚ	28
3.1	POPIS BLOKŮ BATERIOVÉHO SYSTÉMU AKUMULACE ENERGIE (BSAE)	28
3.1.1	Výkonové měniče.....	28
3.1.2	Baterie.....	29
3.2	VYUŽITÍ BSAE	30
4	EKONOMICKÁ STUDIE.....	31
4.1	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	32
4.1.1	UPS.....	32
4.1.2	BSAE	34
4.1.3	Akumulační prvek.....	35
4.2	PRIMÁRNÍ REGULACE.....	38
4.3	MINUTOVÉ ZÁLOHY (MFRPT).....	43
4.4	RRP	46
4.5	OSTATNÍ.....	52
5	ZÁVĚR.....	54
6	POUŽITÁ LITERATURA.....	56
7	OBRÁZKY	58
8	TABULKY	59
9	GRAFY	60
10	ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY	61

Úvod

V současnosti, kdy EU plánuje uhlíkovou neutralitu, většina členských států zavírá uhelné elektrárny a je tlak na využívání OZE, se vynořuje spousta problémů, a zároveň dva směry, kterými se energetika může ubírat. Prvním je využití bateriových systémů pro ukládání energie a stabilizaci sítě. Druhým je využití vodíku, kde technologie jde postupně dopředu a EU odsouhlasuje dlouhodobé plány na rozvoj této technologie. Při porovnání obou technologií mají baterie razantní náskok v sériové výrobě a celosvětovém využití. Z dlouhodobého hlediska je technologie vodíku čistší a udržitelnější.

Zatímco ČR pomalu objevuje bateriové systémy a snaží se je zařadit do své legislativy pro akumulaci energie, některé státy jako Austrálie, Německo a další, už tuto technologii využívají. Návrhovatelnost bateriových systémů v některých případech předčila očekávání. Ačkoliv počáteční investice není levná záležitost a celková životnost je omezena současnou technologií baterií (cca 15 let u lithiových baterií, VRLA články cca 10 let), klimatickými faktory, lze říct, že výhody technologie převyšují nevýhody. V případě záložních zdrojů a bateriových uložení to jsou: rychlá reakční doba jednotlivých zařízení při požadavku na dodávku elektrické energie, schopnost zálohování v době výpadku, akumulace v obchodních hodinách s „levnou elektrickou energií“ a následný prodej za příznivou cenu, případně kompenzace jalového výkonu. V následné práci budou přiblíženy podpůrné služby, záložní zdroje a bateriové uložení. Porovnání těchto zdrojů bude následovat v ekonomické studii.

1 Podpůrné služby

Podpůrné služby jsou poskytovány subjekty na trhu s elektřinou a nakupovány ČEPS k zajištění „systémových služeb“. Přispívají k zajištění stability a řešení havarijních stavů elektrizační soustavy ČR. Při výběru podpůrných služeb je zajištěna regulační energie, která vzniká aktivací služeb výkonové rovnováhy a mohou ji poskytovat jen certifikovaná zařízení. Je oceňována na základě vyhlášky č. 408/2015 Sb. Energetického regulačního úřadu.

Při výběru poskytovatelů ČEPS přistupuje otevřeně ke každému zájemci, který splnil požadavky na podpůrné služby (netýká se regulačních energií). Sleduje cenovou nabídku, splnění pravidel výběrového řízení a denní trhu. Poskytovatel musí být schopen zajistit přenos důležitých dat o stavu zařízení a jejich věrohodnost.

1.1.1 Požadavky na podpůrné služby jsou:

- Měřitelnost – se stanovenými kvantitativními parametry a způsobem měření
- Garantovaná dostupnost služby s možností ČEPSu vyžádat si inspekci u poskytovatele
- Certifikovatelnost – stanovený způsob prokazování schopnosti poskytnout služby pomocí periodických testů. (Certifikovatelnost pro FCP (dříve PR), aFRP (dříve SR), mFRPt (dříve MZt), RRP, SRUQ to jsou 4 roky. Pro OP a BS 5 let) [1]
- Možnost průběžné kontroly poskytování.

Podpůrných služby můžeme realizovat prostřednictvím výběrových řízení nebo nákupem denního trhu. Dále lze služby zajistit přímou smlouvou s poskytovatelem služby, aktivací volných nabídek regulační energie, nebo využití operativní dodávky elektřiny do zahraničí a ze zahraničí (např. havarijní výpomoc).

Při nákupu podpůrných služeb je sledována spolehlivost a kvalita provozu, cenová nabídka a optimalizace nákladů účastníků trhu spojených s vyrovnáním odchylek.

Údaje o trhu se SVR (Služby výkonové rovnováhy) jsou podle nařízení Komise (EU) 2013/543 zveřejňovány na internetové adrese „www.transparency.entsoe.eu“.[1]

1.1.2 Rozdělení služeb výkonové rovnováhy do roku 2019:

- Primární regulace (PR) = Proces automatické regulace frekvence (FCP) / Záloha pro automatickou regulaci frekvence (FCR)
- Sekundární regulace (SR) = Automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy (aFRP) / Záloha pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací (aFRR)
- Minutové zálohy (MZt) = Ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy (mFRPt) / Zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací do t minut (mFRRt) [2]

1.1.3 Ostatní služby:

- Sekundární regulace napětí a jalových výkonů (SRUQ)
- Schopnost ostrovního provozu (OP)
- Schopnost startu ze tmy (BS)

1.2 Proces automatické regulace frekvence FCP

1.2.1 Definice služby:

FCP je automatická místní funkce, která při změně jmenovité frekvence sítě o zadanou odchylku provede požadovanou změnu výkonu, která se realizuje pomocí proporcionálního regulátoru se vypočítá pomocí regulační rovnice:

$$\Delta P = -\frac{100 P_n}{S f_n} \Delta f \quad [1]$$

Kde:

ΔP požadovaná změna výkonu jednotky [MW], P_n nominální výkon jednotky [MW], Δf odchylka frekvence od zadané hodnoty [Hz], S statika [%], f_n zadaná frekvence (obvykle jmenovitá 50 Hz)

Služba se aktivuje při změně kmitočtu o 200 mHz od hodnoty nominální tzn. 50 Hz. Poskytovatel služby zajistí naběhnutí zálohy do 30 sekund vzniku odchylky frekvence, a to v plné velikosti rezervy a 50 % rezervy do 15 sekund. Celková velikost na jednotku je 10 MW a minimální 3 MW. Disponibilita služby je alespoň 55 minut, jinak se obchodní hodina počítá jako nulová.

1.3 Automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy aFRP

1.3.1 Definice služby

aFRP je automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy realizovaný prostřednictvím změny hodnoty výkonu regulované jednotky tak, jak je požadováno regulátorem frekvence a salda předávaných výkonů. Zálohou se rozumí požadovaná změna výkonu, kladná nebo záporná, na svorkách poskytující jednotky. Míra využití aFRP je dána algoritmem regulátoru dispečinku ČEPS.

Poskytovatel aFRP musí změnu realizovat do 10 minut od požadavku. Minimální rychlost změny výkonu jednotky pro poskytování aFRP je 2 MW/min. Minimální poskytovaný výkon na jedné jednotce je 10 MW, maximální 70MW.

1.4 Ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy mFRPt

1.4.1 Definice služby

mFRPt je ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy realizován poskytnutím sjednané regulační zálohy mFRRt+ nebo mFRRt- jednotkou do t minut od příkazu dispečinku ČEPS. Zálohou se rozumí požadovaná změna výkonu, kladná nebo záporná, na svorkách poskytujícího zařízení.

Službu výkonové rovnováhy mFRPt je možno poskytovat ve dvou variantách pro čas t nabývající hodnoty $t = 5$ minut a $t = 15$ minut.

Minimální velikost pro mFRRt=5 na jedné jednotce je 30 MW, maximální velikost určuje ČEPS. Minimální doba garance služby jsou 4 hodiny, a to i v případě aktivace na konci tohoto intervalu.

Minimální velikost regulační zálohy mFRRt=15 na jedné jednotce je 10 MW, maximální 70 MW, doba trvání služby není omezena.

1.5 Proces náhrady záloh RRP

1.5.1 Definice služby

RRP je proces náhrady záloh realizovaný poskytnutím sjednané regulační zálohy kladnou (RR+) nebo zápornou (RR-) jednotkou do 30 minut od příkazu dispečinku ČEPS. Zálohou se rozumí požadovaná změna výkonu, kladná nebo záporná, na svorkách poskytujícího zařízení.

Služba je aktivována v souladu s parametry akceptovaných nabídek poskytovatele a lze jí aktivovat na pevnou čtvrt hodinu nebo násobek pevně stanovené čtvrt hodiny (minimálně 15 minut, maximálně 60 minut). O akceptaci nebo zamítnutí nabídek je Poskytovatel informován prostřednictvím obchodního portálu. [1]

Minimální velikost regulační zálohy RR na jedné jednotce je 10 MW, maximální 70 MW

Ostatní podpůrné služby

1.6 Sekundární regulace U/Q (SRUQ)

1.6.1 Definice služby

Tato služba využívá jalového výkonu zařízení pro udržení stabilní hodnoty napětí v pilotních uzlech ES a současně distribuuje jalový výkon mezi jednotlivé zařízení. Celý proces je aperiodický nebo nejvýše s jedním překmitem a bude ukončen do 2 minut. Sekundární regulace U/Q musí současně spolupracovat s terciální regulací napětí a jalových výkonů. Hlavními kritérii jsou doba regulace, umístění zdroje a jeho regulační rozsah.

Konkrétní parametry této PpS budou smluvně dohodnuty mezi ČEPS a Poskytovatelem služby na základě provedeného certifikačního měření popsáno v Kodexu PS.

1.7 Schopnost ostrovního provozu (OP)

1.7.1 Definice služby

Jedná se o schopnost provozu bloku do oddělené části sítě (tzv. ostrova) v případě celkového výpadku přenosové soustavy. Ostrovní provoz se vyznačuje velkými nároky na regulační schopnosti bloku.

Schopnost Ostrovního provozu bloku je nezbytná pro předcházení a řešení stavu nouze. Poskytovatelem OP se rozumí Poskytovatel služeb obrany a obnovy soustavy v souladu s článkem 4 odst. 4 nařízení (EU) č. 2017/2196, kterým se stanoví kodex sítě pro obranu a obnovu elektrizační soustavy. Ostrovní provoz bloku se vyznačuje značnými změnami systémových veličin – frekvence a napětí, což souvisí s tím, že blok pracuje do izolované části soustavy. Blok přechází automaticky do regulačního režimu ostrovního provozu při poklesu frekvence pod 49,8 Hz a při vzrůstu frekvence nad 50,2 Hz. Změny zatížení ostrova představují velké nároky na regulaci činného výkonu bloku. Zatížení je proměnné a tím vyvolané změny napětí a frekvence musí být blok schopen řešit svou autonomní regulací (na rozdíl od paralelního provozu, kdy jsou změny napětí a frekvence řešeny prostřednictvím systémových služeb). U služby OP není agregace možná a pro tuto službu není v současné době požadováno zvláštní zeměpisné rozložení. [1]

Tuto podpůrnou službu mohou poskytovat provozovatelé vybraných bloků, schopných ostrovního provozu a splňující podmínky Kodexu PS.

1.8 Schopnost startu ze tmy (BS)

1.8.1 Definice služby

Pojmu „start ze tmy“ se rozumí schopnost bloku pracovat bez pomoci vnějšího zdroje napětí, dosáhnout jmenovitých hodnot zařízení a následně pracovat do sítě v ostrovním provozu

Schopnost vybraných bloků pro start ze tmy je nezbytná pro obnovení dodávky po úplném nebo částečném rozpadu sítě, tj. Poskytovatelem BS se rozumí Poskytovatel služeb obnovy soustavy v souladu s článkem 4 odst. 4 nařízení (EU) č. 2017/2196, kterým se stanoví kodex sítě pro obranu a obnovu elektrizační soustavy, a je také součástí Plánu Obnovy, popsáno v části V. Kodexu PS. Pro tuto službu není v současné době požadováno zvláštní zeměpisné rozložení, nicméně konkrétní předvýběr bloků schopných startu ze tmy provádí ČEPS v dohodě s Poskytovatelem této služby na základě topologie elektrizační soustavy a možnosti realizace přenosových tras pro BS. [1]

Tuto podpůrnou službu mohou poskytovat provozovatelé vybraných bloků připojených do PS, schopných startu ze tmy a významných pro obnovu PS a splňující podmínky Kodexu PS.

1.9 Platba podpůrné služby

Při sjednání poskytnutí podpůrné služby poskytovatelem ČEPSu, může dojít ke dvěma typům platby za danou službu. První typ je za rezervovaný výkon (regulační zálohu), což se týká všech certifikovaných kategorií podle kodexu přenosové sítě. Druhým typem je regulační energie, která je poskytnuta službami výkonové rovnováhy, kromě služeb spadajících do primární regulace, kde je tato energie zdarma, aby s pomocí této regulační energie došlo k vyrovnání systémové odchylky (rozdíl mezi plánovanou a skutečnou výrobou v dané obchodní hodině).

Hlavním cílem jednotlivých poskytovatelů je dodávat potřebné regulační zálohy, které jsou sjednané na bázi dlouhodobých kontraktů a smluv, a přesto v daném roce nemusí být ani aktivně použity. Na druhou stranu je zde regulační energie, která je použita na pokrytí kladných nebo záporných regulačních energií, jež mohou vznikat při spínání ostatní služeb výkonové rovnováhy. Jednotlivé služby a jejich ceny v dané obchodní hodině jsou spočteny dopředu a přístupné všem zájemcům na stránkách společnosti ČEPS „<https://www.ceps.cz/cs/statistiky-svr>“ a jsou rozděleny podle pracovních „P“ a nepracovních „N“ dnů, dále podle času na denní „D“ a noční „N“. Kombinací těchto vždy dvou z těchto čtyř možností vzniká buď:

- PD – pracovní den a denní čas od 6:00 do 22:00
- PN – pracovní den a noční čas od 22:00 do 6:00
- ND – nepracovní den a denní čas od 6:00 do 22:00
- NN – nepracovní den a noční čas od 22:00 do 6:00

Pro další použití budou ceny pro jednotlivé služby použité v ekonomické studii zprůměrovány, protože rozdíly v průběhu roku nepřesáhnou 30,00 (Kč/MW) / h.

pásma	Průměrná roční cena za rezervovaný výkon po dobu jedné obchodní hodiny (Kč/MW) / h.							
	PD		PN		ND		NN	
Typ SVR	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
FCR	471,45	517,00	471,45	517,00	462,64	517,00	462,64	517,00
aFRR+	326,19	308,00	307,93	307,00	300,60	307,00	301,88	307,00
aFRR-	243,77	245,00	242,79	246,00	238,40	247,00	239,28	247,00
mFRR15+	181,78	183,00	170,31	172,00	177,88	180,00	169,41	171,00
mFRR15-	138,48	141,00	138,26	141,00	138,39	141,00	138,06	141,00
mFRR5	486,00	486,00	486,00	486,00	486,00	486,00	486,00	486,00

Tabulka 1 Průměrná roční cena služeb SVR za rezervovaný výkon po dobu jedné obchodní hodiny

Celková cena za rezervovanou zálohu po dobu jednoho roku se poté vypočítá zjednodušeně podle rovnice:

$$C_x = P_x \cdot (t_{PD} \cdot C_{xPD} + t_{PN} \cdot C_{xPN} + t_{ND} \cdot C_{xND} + t_{NN} \cdot C_{xNN}) \quad [2]$$

Kde C_x je celkový roční příjem (Kč) za PpS kategorie x o certifikovaném výkonu, P_x výkon (MW) na který je zařízení certifikováno, t_{PD} doba trvání denního pásma v pracovních dnech za rok (h), C_{xPD} roční průměrná cena za PpS v denním časovém pásmu pracovního dne ((Kč/MW) / h). V případě baterií dojde ke správnému předimenzování vzhledem k vybíjení a nabíjení. [3]

V případě regulačních energií se ceny liší jak za kladnou, tak zápornou odchylku a jsou stanovovány Energetickým regulačním úřadem. Ten vydává „cenové rozhodnutí stanovující ceny za služby související s elektroenergetikou a ostatními regulovanými cenami“ dostupným na portálu „www.eru.cz/elektrina/cenova-rozhodnuti/platna-cenova-rozhodnuti“.

Kladná regulační energie je nakupována za 2 350 Kč/MWh a záporná regulační energie za 1 Kč/MWh tuto cenu účtuje poskytovatel operátorovi trhu. Ceny se mohou lišit vzhledem k systémové odchylce a její polaritě v dané obchodní hodině. Více informací ohledně regulovaných cen v „Cenovém rozhodnutí“ platným pro daný rok viz. výše. Při potřebě jsou aktuální ceny a odchylky dostupné na „<https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/odchylky-elektrina?version=0&date=2020-04-22>“. [4]

1.9.1 Denní trh

Denní trh je na bázi elektronického portálu, kde ČEPS vkládá předběžnou poptávku na jednotlivé obchodní hodiny s požadavkem výkonu dané služby výkonové rovnováhy. Zde se může zúčastnit kterýkoliv poskytovatel jehož zařízení splňuje podmínky certifikace a dodržuje pravidla pro obchodování na denním trhu.

1.9.2 Dlouhodobé kontrakty

Dlouhodobé kontrakty tvoří cca 70 % nakoupených regulačních rezerv. Primárně jsou vypisované formou výběrových řízení pro kategorie služeb (FCP, aFRP, mFRP). V případě, že není nakoupen dostatečný objem služeb pomocí výběrových řízení formou kontraktů, nebo za použití denního trhu, může poté dojít k přímé smlouvě s poskytovatelem služby, aby ČEPS dosáhl požadovaného objemu PpS. Zároveň nutnou podmínkou na účasti výběrových řízení je splnění všech podmínek a certifikace zařízení.

2 UPS

2.1 Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS)

Jsou elektrická zařízení určená pro dodávku elektrické energie v případě výpadku sítě, stabilizaci napětí a frekvence pro zálohované zařízení a částečné odrušení nepříznivých vlivů sítě (přepětí, podpětí, poklesy napětí, napět'ové špičky, přechodové jevy, kmityčtová nestabilita a harmonická zkreslení). UPS jako investice je rentabilní s přihlédnutím k možným nepříznivým vlivům sítě. Například při výpadku napájení ze sítě může být ohroženo, buď nákladné zařízení nebo v případě, nemocnice zdravotní zařízení, či lidský život. Pokud se takovýto výpadek zopakuje během roku i více jak 5x mohou jít ztráty daného subjektu do statisíců a výše. Po přihlédnutí k těmto okolnostem a v závislosti na nákladech na provoz chráněného zařízení, či peněžní ztráty během výpadku, je UPS rentabilní během několika následujících let.

2.2 UPS dle topologie:

Následující odstavce popisují rozdělení UPS dle jejich topologie od jednodušších zapojení po ty složitější.

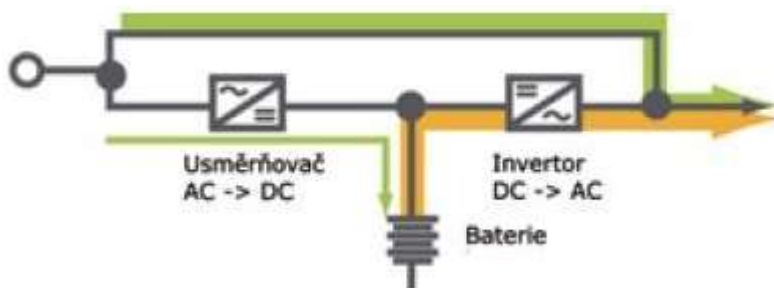
2.2.1 Single-conversion

Jedná se o jednoduché zapojení, kde, jak už název vypovídá, dochází k přeměně napětí jednou, a to při chodu na baterie a práci přes střídač, jinak v normálním stavu je zátěž napájena přímo ze vstupu. V případě výpadku napájení dojde k odpojení vstupu a přechodu na odběr elektrické energie z baterií přes střídač. Zařízení zůstane napájeno z baterií do doby, dokud není obnoveno napájení z elektrické sítě, anebo dokud nedojde k vybití akumulátoru. Hlavními zástupci „single-conversion“ jsou UPS typu Off-line a Line-interaktive. Vhodné je dodat, že tyto UPS na výstupu neposkytují čistou sinusovou průběh, ale její simulovanou variantu vytvořenou střídači tzn. obdélníkovou sinusovou vlnu.

2.2.1.1 Off-line (passive stand-by)

Nejjednodušší blokové schéma UPS se skládá z dobíječe baterií, baterií, výstupního měniče, filtrů a případně transformátoru. V tomto zapojení UPS chrání zátěž před výpadkem napájení, poklesem napětí a napět'ovou špičkou. V normálním režimu je zátěž

napájena přímo ze sítě přes filtry, v případě výpadku dojde k přepnutí na bateriový režim. Pokud by došlo na pokles napětí, automatika UPS přepíná odbočky na transformátoru, případně dojde k přepnutí na baterie pro dosažení optimální hodnoty napětí na výstupu. Napěťové špičky jsou potlačeny pomocí napěťových filtrů, či jiných pasivních prvků. Tyto UPS jsou charakteristické trváním doby přepnutí z normálního do bateriového módu do 25 ms



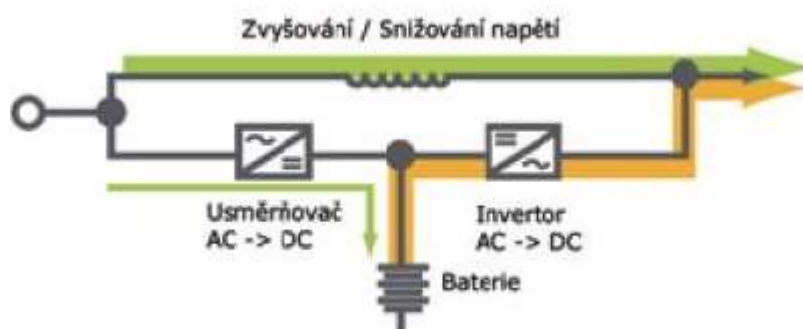
Obrázek 1 Off-line zapojení

Výhody: ekonomicky nenáročné, jednoduchá konstrukce, malá hmotnost, bez nutnosti odborné instalace

Nevýhody: krátká doby zálohy, frekvenčně a napěťově závislé

2.2.1.2 Line-interaktivní

UPS typu line-interaktivní, kromě výhod off-line UPS, dále poskytují ochranu proti přepětí a podpětí. Do blokového zapojení je dále přidán řídicí mikroprocesor, který monitoruje vstupní síťové parametry a reaguje na ně pomocí kompenzačního napěťového obvodu. Zde je doba přepnutí do 4-10 ms. [5]



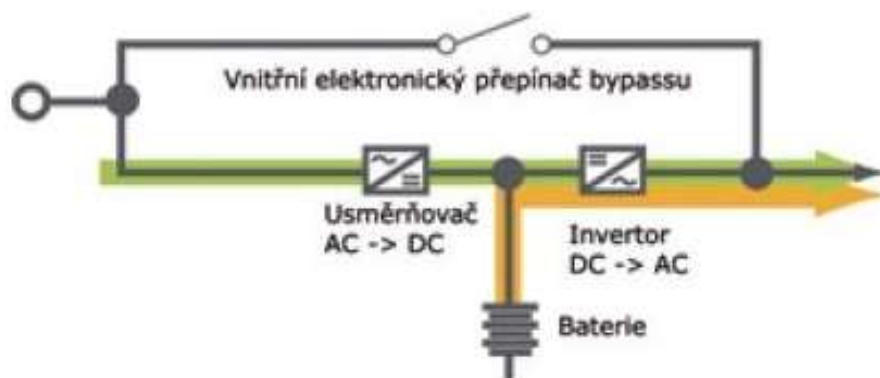
Obrázek 2 Zapojení Line-interaktivní

Výhody: delší doby zálohy, lépe chráněné zařízení, napěťově nezávislé, střední ekonomická cesta

Nevýhody: hmotnost, frekvenčně závislé

2.2.2 On-line (Dvojitá-konverze)

V dnešní době je UPS typu on-line schopná poskytnout maximální ochranu zařízení proti nechtěným a rušivým vlivům sítě v kombinaci s dlouhou dobou zálohy. Zjednodušené blokové zapojení by sestávalo ze vstupního a výstupního měniče, meziobvodu s DC/DC měničem a bateriemi, statického by-passu. Oproti line-interaktive, zde dochází k ochraně proti rušení na přívodu, změnou kmitočtu, přechodovými jevy a harmonickým zkreslením. Doba přepnutí je téměř okamžitá (cca 2ms), a proto jsou tyto typy využívány zejména v zdravotnických zařízeních a datacentrech. V normální chodu elektrická energie prochází přes vstupní usměrňovač do meziobvodu, kde v případě potřeby dochází k dobíjení / vybíjení baterií a následně výstupní střídače a do zátěže. Pokud dojde k poruše UPS, začne okamžitě odebírat energii z baterií a výstupní střídač se postará o splnění předem definovaných hodnot napětí a frekvence (ve většině případů se jedná o 230 V / 400 V a 50 Hz) pro zátěž. Na výstupu oproti jednoduché konverzi je kvalitnější sinusový průběh, který je tvořen pomocí vícestupňového IGBT střídače, a proto jsou tyto UPS vhodné pro práci s motory.



Obrázek 3 Zapojení Online

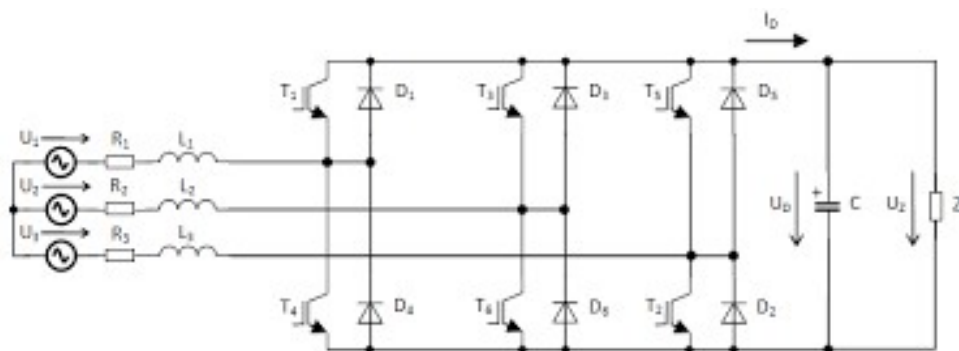
Výhody: dlouhá doby zálohy, ochrana zařízení na nejvyšší úrovni, vysoké výkony, frekvenčně nezávislé, možnost rozšíření o přídatné bateriové bloky

Nevýhody: počáteční investice, hmotnost, rozměry, odborná instalace

2.3 Popis bloků

2.3.1 Vstupní usměrňovač

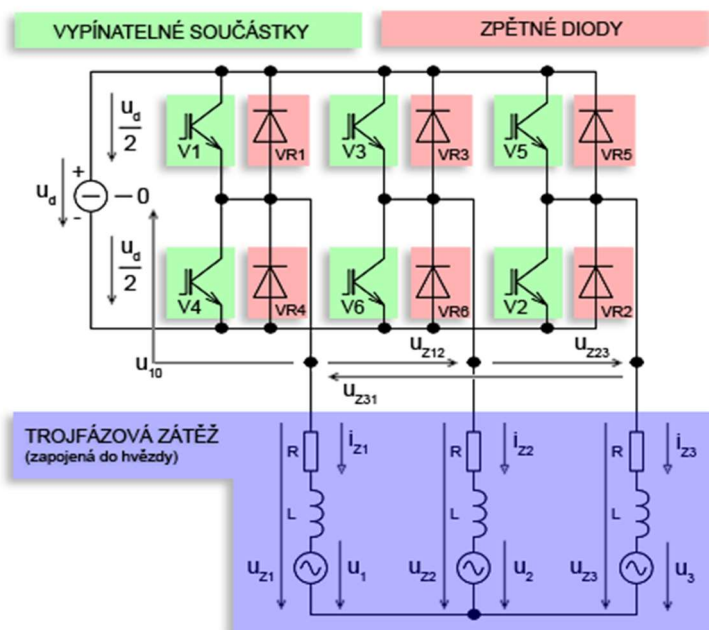
Pod pojmem vstupní usměrňovač UPS se rozumí zařízení schopné měnit střídavé elektrické napětí na napětí usměrněné a následně vyhlazené pomocí kondenzátorů. Většinou jsou tvořeny pomocí IGBT (Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem) v kombinaci s paralelní diodou a řízeny pomocí pulzně šířkové modulace (PWM).



Obrázek 4 Šesti pulzní tranzistorový (T) řízený usměrňovač se zpětnými diodami (D)

2.3.2 Výstupní střídač

Výstupní střídač, či invertor mění stejnosměrné napětí na střídavé o dané frekvenci (v případě UPS typu line-interaktive je synchronizován se sítí). Střídač je připojen na výstup meziobvodu a je konstruován pomocí IGBT tranzistorů a diod řízených pomocí pulzně šířkové modulace. [5]



Obrázek 5 Střídač, Vx – spínané součástky (tranzistory), VRx - zpětné diody

2.3.3 Meziobvod

Meziobvod je stejnosměrná část UPS mezi vstupní usměrňovačem a výstupním střídačem. Slouží pro nabíjení baterií a jeho součástí může být i stejnosměrný měnič pro případ rozdílného napětí meziobvodu a bateriového řetězce.

2.3.4 Baterie

Baterie se mohou lišit vzhledem k požadavkům zákazníka na dobu zálohy, místo instalace, údržbu nebo možnou užitou plochu. Jsou kritickou součástí UPS a je potřeba jim věnovat náležitou pozornost a servis. UPS mají proto ve své výbavě systém řízeného nabíjení baterií (ABM = Advanced battery management), který vyhodnocuje stav baterie a optimalizuje nabíjení/vybíjení pro dosažení maximální životnosti. [6]

Životnost baterie může být ovlivněna teplotou a vlhkostí prostředí v němž je skladována nebo používána, podmínkami nabíjení, vybíjení a počtem jednotlivých cyklů, chemickým uspořádáním uvnitř baterie, hloubkou vybití baterie a dobou mezi jednotlivými nabitími na jmenovitou hodnotu.

Baterie jsou řazeny do série pro dosažení požadovaného napětí meziobvodu a tyto řetězce následně paralelně pro dosažení požadované doby zálohy. Při jejich specifikaci je často uveden poměr C, který udává časový údaj, jak rychle můžeme baterii nabít či vybit a lze popsat zjednodušenou rovnicí [7]:

$$C = \frac{I_x}{I_{bat}} [h^{-1}; A; Ah] \quad [3]$$

Kde C je parametr nabíjení či vybíjení, I_x je proud použitý pro daný cyklus a I_{bat} je proud takový, aby se baterie zvládla vybit během 1 hodiny.

Důležité je si uvědomit, že energie, která bude uvolněna při vybíjení nebude přímo úměrná celkové energii baterií v řetězci, ale dá se popsat rovnicí:

$$W_{vyb} = U_1 \cdot I_v \cdot n \cdot DoD [Wh, V, Ah, -, \%] \quad [4]$$

Kde W_{vyb} je celková energie uvolněná při vybíjecím cyklu řetězce, U_1 je jmenovité napětí baterie, I_v je jmenovitý proud baterie, n je počet baterií v sériovém řetězci, DoD (Depth of discharge) je hloubka vybití baterií, opakem je SoC (State of charge), tedy stav nabití.

Případě by se vztah dal rozšířit ještě o účinnost střídače (μ_s), tepelné ztráty při vybíjení a nabíjení, ztráty na propojích mezi bateriemi (k_p) a v případě požadavku, aby energie uvolněná z baterií byla i na konci životnosti stejně veliká se použije koeficient stárnutí

baterií (k_s). Při použití všech těchto koeficientů by pak výsledné předimenzování odpovídalo cca 1,5x původně zamýšlené kapacity baterií. Veškeré koeficienty by se pohybovaly od 1 – 1,25 a v případě střídače od 0,8 – 1.

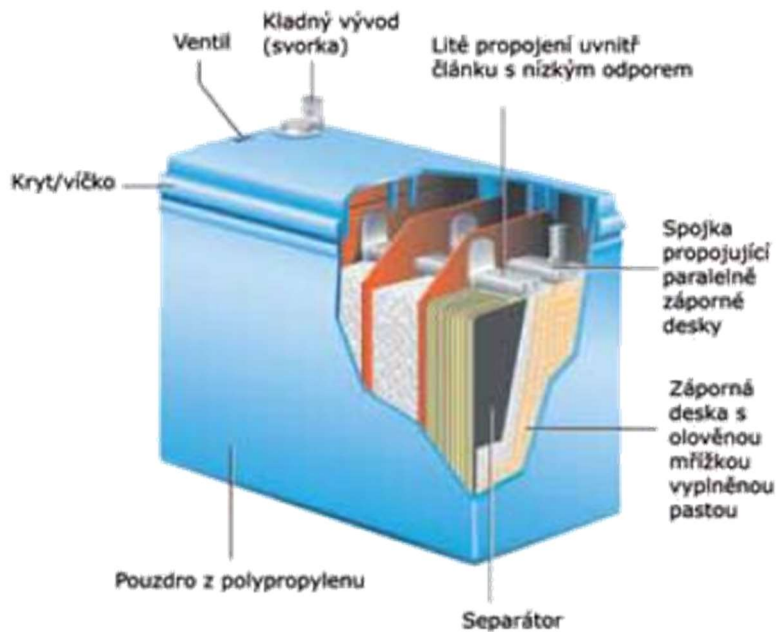
2.3.4.1 Druhy baterií používaných v UPS:

Specifikace	Olovené akumulátory	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Magnesium	Fosfor
Měrná energie [Wh/kg]	30-50	45-80	60-120	150-240	100-150	90-120
Vnitřní odpor	mΩ	mΩ	mΩ	mΩ	mΩ	mΩ
počet cyklů (80% vybití (DoD))	200-300	1000	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000
čas nabíjení [h]	8-16	1-2	2-4	2-4	1-2	1-2
samostatné vybíjení / měsíc	5%	20%	30%	<5%		
jmenovité napětí článku [V]	2	1,2	1,2	3,6	3,7	3,2-3,3
údržba	3-6 měsíců dobití	plné vybití každých 90 dnů		Bezúdržbové		
bezpečnostní požadavky	teplotně stabilní prostředí, u Ni nutná pojistka			povinný ochranný okruh		
toxická	Vysoká	Vysoká	Nízká	Nízká		
Cena	nízká	střední		vysoká		

Tabulka 2 Přehled baterií [7]

VRLA (Valve Regulated Lead Acid)

VRLA (olověné akumulátory s přetlakovým ventilem) jsou baterie uzavřené většinou v plastovém polypropylenovém pouzdru viz. obr.6. Jsou nejrozšířenějšími bateriemi, sériově vyráběné a mohou obsahovat 3 až 6 článků sériově zapojených pro dosažení 6-12 V. V klidovém stavu se jejich hodnota napětí pohybuje okolo 12 V, při poklesu napětí pod 9 V, což je cca 1,67 V na článek dochází k poškození baterie. Doba životnosti se může pohybovat od 3-12 let vzhledem provozním podmínkám. [6,8]



Obrázek 6 VRLA baterie

Mokré články (VLA)

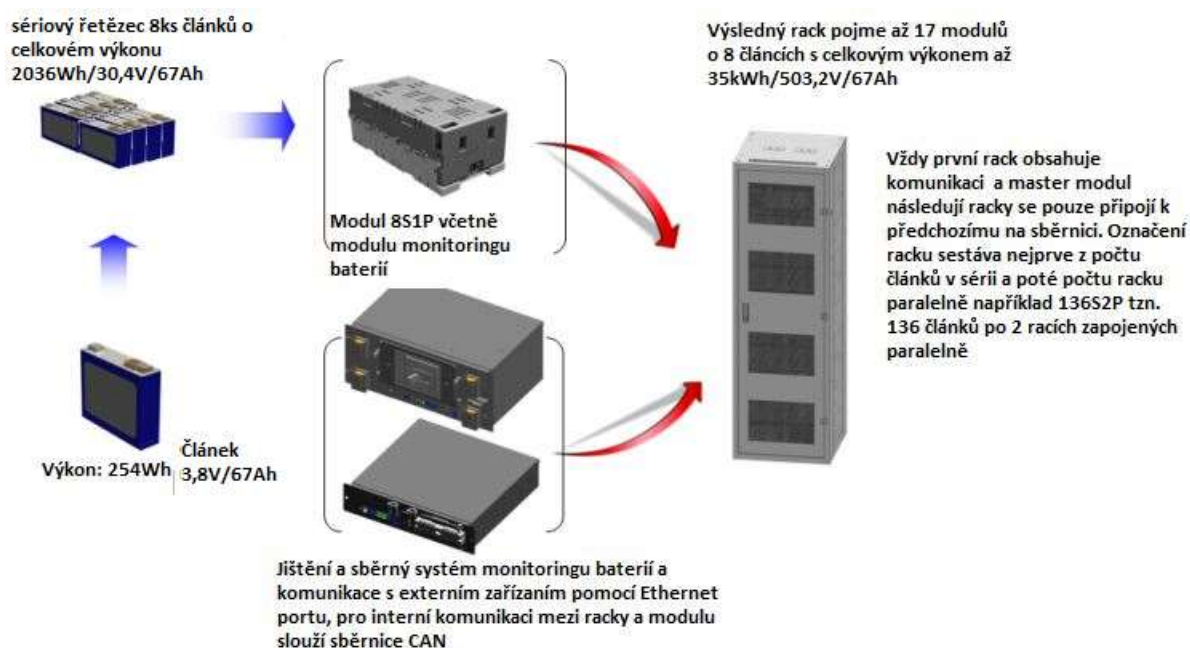
Jsou tvořené tlustými olověnými deskami, které jsou zalité elektrolytem. Tento typ článku je velmi spolehlivý a doba životnosti je okolo 20 let. Poruchy se obvykle objeví až za polovinou doby životnosti a většinou se jedná o zkrat. Oproti VRLA bateriím jsou těžší a prostornější, ale současně také potřebují pravidelnou údržbu a vhodné provozní podmínky (teplota a vlhkost).



Obrázek 7 Mokrá články (VLA)

Lithium-iontové

Jsou baterie složené z uhlíkové anody, katody z oxidu kovu a elektrolyt je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Každá baterie obsahuje čip, který monitoruje stav baterie v případě složení baterií do řetězce („battery pack“). Články mají pak společné nadřazené komunikační rozhraní a z takovýchto bateriových packů může být složen bateriový stojan s centrální komunikací a systémem bateriové dohledu. Pro komunikaci pak slouží nejčastěji sběrnice CAN. Jejich výhodou je vysoká energetická hustota, malý objem, hmotnost, jmenovité napětí až 3,8 V a téměř žádné samovybíjení, či paměťový efekt (dočasná změna kapacity v závislosti na předchozím vybití a nabití). [7]



Obrázek 8 Sestava Lithiový článek, modul a rack

2.3.5 By-pass

By-pass je zařízení použité po překlenutí či obtok UPS v případě servisního zásahu nebo pokud došlo k poškození UPS během provozu. By-pass může být buď statický nebo mechanický. Mechanický by-pass je fyzické zařízení umístěné uvnitř nebo mimo zařízení. Složené z 2 až 4 spínacích prvků (zpožděné spínače nebo jističe).

Statický by-pass je zabudovaný uvnitř a slouží jako příprava před zapnutím mechanického by-passu. Statický by-pass je elektronický tzn., že se jedná softwarové řešení pomocí spínacích součástek.

V případě nutnosti jeho použití musí UPS nejdříve přejít na statický by-pass, kdy dojde k propojení výstupu se vstupem a vyrovnání hodnot napětí, fázového posunu a frekvence. Následně může dojít k připnutí mechanického by-passu, dále k odepnutí UPS od sítě a vypnutí nebo servisnímu zásahu. Problém může nastat, pokud je mechanický by-pass připnut bez srovnání napětí, fázového posunu nebo frekvence (frekvence na výstupu se může lišit vzhledem k zátěži a na vstupu vzhledem k místu instalace) na výstupu a vstupu UPS. Pokud je připnut bez předchozích kroků, může dojít k nucenému vyrovnání napětí, frekvence či fázového posunu, prohoření invertoru UPS vlivem proudového přetížení, anebo prohoření elektroinstalace před UPS v závislosti na polaritě vyrovnávacího proudu. Většina zařízení má pak tzv. „Backfeed protection“, které tomu zabraňuje a chrání zařízení před vyrovnávacím proudem. Tato ochrana je většinou konstruována pomocí stykače v kombinaci s nadproudovou ochranou ve vhodném zapojení. „Backfeed protection“ zároveň slouží k ochraně UPS při chodu na baterie před proudem ze sítě přes statický by-pass při obnovení napětí (izolace výstupu od možného napájení). Tato ochrana se liší v závislosti na konstrukci UPS. [9]

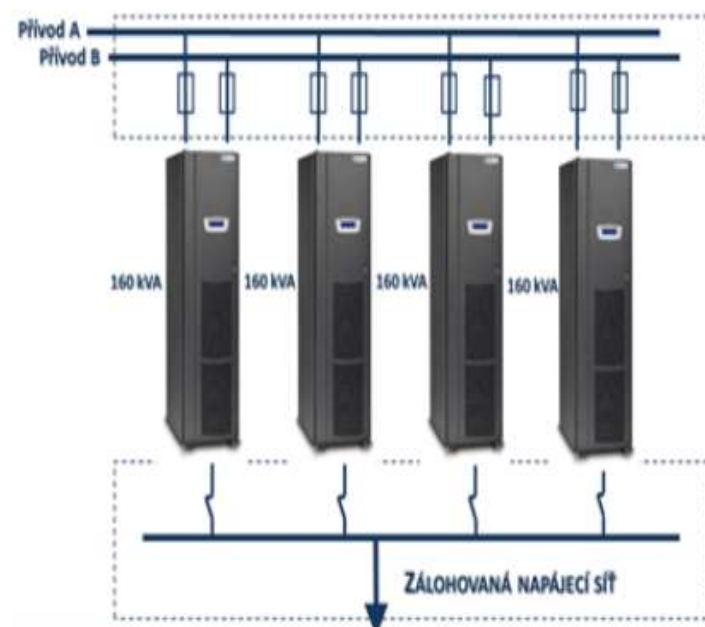
2.4 Další dělení UPS

Dále je možné UPS dělit:

- Podle počtu fází (počet fází na vstupu / počet fází na výstupu; 1/1; 3/1; 3/3)
- Podle umístění:
 - „Rackové“ – UPS vhodné pro umístění do racku, ve většině případů UPS jsou buď umístěny na ližinách, anebo pevně namontované jejich výkon je cca kolem 3-5 kVA až do 11 kVA. Nevýhodou rackových UPS je omezená doba zálohy a zároveň nákladná finančně a prostorově při větších požadavcích na dobu zálohy.
 - „Volně stojící“ – jak už název vypovídá jsou to UPS stojící v podstatě kdekoliv, jejich výkon není výrazně omezen (omezen je buď přívodními kabely anebo místem instalace) a může být od 1 kVA až do 500-800 kVA (samostatná UPS, nejedná se o redundanci či paralelní chod). Výhodou těchto UPS je nadstandardní doba zálohy dosahující až 8-12 hodin (omezeno dobíječem UPS a kapacitou baterií). Menší nevýhodou jsou

samozřejmě větší investiční náklady, nutná příprava místa instalace a naddimenzování přívodů na daný výkon.

- „Kombinované“ – kombinace obou výše zmíněných typů výkonově cca do 15 kVA
- Podle vnitřního uspořádání:
 - Klasické – veškeré potřebná elektronika tzn. Desky plošných spojů jsou osazeny přímo na kovový rám UPS.
 - Modulární – UPS se skládá z jednotlivých výkonových modulů, které jsou vyměnitelné za provozu. Pomocí nich jde výkon navýšit až do maximální hodnoty UPS (max. instalovaný výkon je omezený velikostí rámu). UPS je schopna, v případě většiny výrobců pracovat už s jedním modulem.
- Podle vnějšího uspořádání:
 - Prosté – samostatně stojící UPS
 - Redundantní – uspořádání složené ze dvou UPS se společnou zátěží, kdy každá UPS při výpadku druhé může převzít celou zátěž a udrží ji chráněnou.



Obrázek 9 Redundantně paralelní zapojení UPS

- Paralelní – Uspořádání dvou a více UPS pro dosažení větších výkonů, řízených nadřazeným systémem.

2.5 Využití UPSaaR

V této práci a následné ekonomické studii bude použita UPS 93PM (G1 a G2) od výrobce Eaton viz. Katalogový listy v Přílohách (Příloha č. 1). Její využití v podpurných službách, jako pilotní projekt, zkouší už v Evropě například Norsko a Švédsko. Výhodou je rychlá reakční doba na požadavek dispečinku. Využití je hlavně v primární regulaci frekvence, vyhlazování výkonových špiček, případně jsou schopny startu za tmy a zálohy při výpadku sítě. Další možností je poskytování procesu náhrad záloh (RRP), kde se jedná o 15minutové intervaly až do 60 minut s výkonem od 10MW. Případně poskytnutí kladné, či záporné minutové zálohy $mFRP_{t=15}$, u které výkon začíná také na 10MW. Doba provozu $mFRP_{t=15}$ není omezena, ale aktivace musí proběhnout do 15 minut.

Případně je UPS schopna kompenzace jalového výkonu zařízení, ale to pouze při práci přes ESS modu („Energy saver system“, proud teče přes statický by-pass), kdy je využit vstupní měnič a baterie pro kompenzaci zátěže, který je v danou chvíli paralelně k zátěži. Při výpadku dojde k přepnutí během 2 ms a zátěž je zálohována.

Výhodou UPS je decentralizace energetiky a využití stávajících zdrojů, které po rozšíření akumulací kapacity je možné využít.

Nevýhodou může být nezájem vlastníků poskytnou UPS na podpurné služby z obav, že by nebyly schopny plně zálohovat stávající zařízení.

3 Bateriové uložístě

Bateriové uložístě jsou v poslední době rozvíjící se technologií, která našla místo na trhu s podpůrnými službami již v zahraničí. Na českém trhu bohužel je zatím vázána legislativou, kde smí být pouze umístěny v blízkosti větších výroben elektrické energie např. jaderné, tepelné elektrárny či fotovoltaického pole. Ačkoliv pilotní projekty v ČR vznikají nebo už v provozu jsou, přesto je tato změna pomalá a za ostatními částmi Evropy z hlediska flexibility využití baterií v podpůrných službách zaostáváme. V Německu a Velké Británii už zkušenost s bateriovými uložísti je. V porovnání se světem, například Austrálií, kde je v provozu bateriové uložístě Tesly v Hornsdale, již od roku 2017, s instalovaným výkonem 100MW a kapacitou 129MWh. Jeho samotné využití během prvních let provozu ušetřilo místní přenosové společnosti nemalé peníze a je i nadále využíváno pro poskytování podpůrných služeb. Kde dodávají formou kontraktu výkon 70MWh po dobu 10 minut pro stabilizaci sítě a 30MW na 3 hodiny pro nákup a uložení energie v případě nízkých cen a prodej za vyšší cenu, při současné stavu by se daná instalace mohla zaplatit do několika let. [10]

3.1 Popis bloků Bateriového systému akumulace energie (BSAE)

Podobně jako UPS je bateriové uložístě složeno z výkonového měniče, baterií, klimatizace, transformátoru (suché) a řídicí jednotky. Vše je umístěno v kontejneru pro lepší přepravu a řada výrobců nabízí úpravy na míru zákazníkovi. Časem lze tedy očekávat, že budou vznikat pole z těchto systémů poblíž výroben, či podniků s instalovaným výkonem v řádu MW.

3.1.1 Výkonové měniče

Výkonové měniče jsou nedílnou součástí bateriového uložístě, musí zvládat rychlé nabíjení, vybíjení baterií a zároveň mít dostatečný napěťový a proudový rozsah. V případě BSAE se používají obousměrné měniče, které dovolují provoz ve 4 kvadrantech a výkonová část je tvořena IGBT tranzistory s pulzně šířkovou modulací pro rychlé spínání a zpětnými diodami. Chlazení měničů je samovolnou výměnou vzduchu v místnosti. Účinnost těchto střídačů se pohybuje okolo 98 % a většinou jsou lehce

předimenzovány na instalovaný výkon. Rozsah $\cos(\varphi)$ je kapacitní 0-1-0 induktivní. Tyto měniče jsou dodávány například od společností AEG, Siemens, Eaton.

3.1.2 Baterie

U baterií se mohou využít jak starší typy olověných akumulátorů jako u UPS, ale většina výrobců dává přednost různým typům lithiových bateriových článků, kvůli jejich vysoké energetické hustotě a místu, které se ušetří.

Jak bylo zmíněno u UPS lithiové baterie je složená z katody, většinou oxid kovu, a anody, která je tvořena porézním uhlíkem a nakonec elektrolyt. Funkce je na principu přenosu iontů z anody ke katodě během vybíjení a v obráceném směru naopak u nabíjení.

Typ	Napětí [V]	Měrná energie [Wh/kg]	Max. počet cyklů	Výhody	Nevýhody
LiCoO ₂	3-4,2	150-240	1000	vysoká energetická hustota	nízká tepelná stabilita, životnost
LiMnO ₂	3-4,2	100-150	700	velké vybíjecí proudy	životnost
NMC	3-4,2	150-220	2000	cena, velké proudy a malá kapacita X malé proudy a velká kapacita	cena
LiFePO ₄ (LFP)	3,2	90-120	2000	vysoké vybíjecí proudy, dlouhá životnost, tepelná stabilita,	napětí a vyšší samovybíjení
LiNiCoAlO ₂ (NCA)	3-4,2	200-260	500	vysoká energetická hustota	cena
LTO	1,8-2,85	50	7000	vysoké teploty	cena a malá energetická hustota

Tabulka 3 Druhy lithiových baterií [7]

3.2 Využití BSAE

Podobně jako u UPS je využití BSAE pro primární regulaci tzn. proces automatické regulace frekvence, vyhlazování výkonových špiček (pokuty v případě překročení nasmlouvaných výkonů), odběr a skladování energie z obnovitelných zdrojů (např. pře prodej kapacity větším výrobcům z obnovitelných zdrojů (sluneční a větrné zdroje) a prodej, či spotřeba energie ve vhodnou dobu) záloha v případě výpadku sítě, ještě zvládnou kompenzaci jalového výkonu, za který jsou firmy postihovány při nedodržení povolené odchylky.

4 Ekonomická studie

V následné studii se budu zabývat využitím UPS a BSAE v podpůrných službách ve 3 variantách, které jsou:

- Primární regulace tzn. automatická regulace frekvence
- Kladná / záporná 15minutová záloha
- Regulační energie

Na základně vstupních parametrů (viz níže) byl vytvořen ekonomický model. Primárním nedostatkem současného nastavení trhu je absence podpůrných služeb pomocí baterií a jejich ceny

Vstupní předpoklady ekonomické studie:

- Investice – investice bude buď do BSAE nebo do UPS, kde půjde o doplnění baterií k zařízení. Investice se bude lišit podle výkonu a dimenzování daného systému
- Půjčka – v případě větších investic může být půjčka od externího subjektu, pro daňové zvýhodnění, či doplnění kapitálu o chybějící peníze.
- Úroková sazba – volena kolem 5 %, v dnešní době horší úroková sazba, pro potřeby studie dostatečná.
- Výnosy a náklady – eskalace těchto výnosů a nákladů volena 2 %, i když oboje může být závislé situací na trhu s elektřinou, dodavatelem zařízení a podpůrnými službami.
- Eskalace elektřiny – eskalace ceny elektrické energie stanovena 8 % je to vzhledem k současné situaci, kdy EU jde tvrdě po uhelných elektrárnách a většina zemí je zavírá. Dochází v některých případech k nedostatečné výrobě a elektřina je zkupována na denním trhu ze zahraničí. Zároveň tu jsou oproti tomu obnovitelné zdroje elektřiny (OZE), které se dají maximálně odpojit od sítě, či uložit energii do větší akumulací celků. Tyto zdroje zároveň jsou schopny výrazně ovlivnit cenu energie za jim příznivých podmínek, kdy pak za odběr elektřiny dostane odběratel i zapláceno v některých případech.
- Daň – volena 21 % (základní daň z přidané hodnoty)
- Životnost – životnost je volena, vzhledem k bateriím, na jejich deklarovanou hodnotu $T_z = 10-15$ let nebo 6000 cyklů.

- Odpisy – se odvíjí od životnosti zařízení a jsou počítány na dobu životnosti baterií, tedy 15 let
- Diskont – diskont je stanoven 2 % což je sazba zúročení na stavebním spoření.

4.1 Technické řešení

Technické řešení budou dvě, jedno pro UPS a druhé pro BSAE. Obě zařízení budou mít podobnou kapacitu baterií typu Li-on, ačkoliv UPS zvládne spolupracovat i s VRLA bateriemi, či super-kondenzátory. V rámci dostupné technologie pro jednotlivé zařízení. Instalovaný výkon bude vždy stanoven dle požadavků dané podpůrné služby, alespoň na minimální požadovanou hodnotu, podobně jako i čas zálohy.

4.1.1 UPS

Z dostupných informací (Eaton), jediné UPS schopné podpůrných služeb jsou UPS typu 93PM od firmy Eaton. UPS 93PM G1 se vyrábí ve výkonovém rozsahu od 40kW až do 500kVA. Zároveň se jedná o modulární UPS, kterou je možné postupně doplňovat o jednotlivé moduly. V případě nutnosti rozšiřovat o další jednotky až do 4 kusů paralelně a to v případě 250kVA i 500kVA rámu. Původní generace UPS byla tvořena 4 až 8 moduly, v závislosti na použitém rámu, nyní jsou 200kW rámy nahrazeny 300kW a moduly začínají na 50kW. Zároveň veškeré moduly jsou plně vyměnitelné za provozu a jejich firmware se přehravá automaticky po vložení modulu do rámu.

UPS disponuje úsporným režimem, kdy je využit statický by-pass pro napájení zátěže a v případě potřeby je schopna přepnout do režimu dvojité converze během <2ms. V případě úsporného režimu je možnost kompenzace jalového výkonu zátěže. Další režim UPS, který šetří jednak moduly, ale i energii je VMMS (Variable Module Management System). Jedná se o režim během něhož UPS řídí využití modulů, dle velikosti zátěže a stará se o její případné rozdělení mezi moduly. Tento režim pracuje s jednou i více UPS až do maximálního počtu v paralelním řazení.



Obrázek 10 UPS 93PM G2 300kW 6UPM [11]

Parametry UPS 93PM G2:

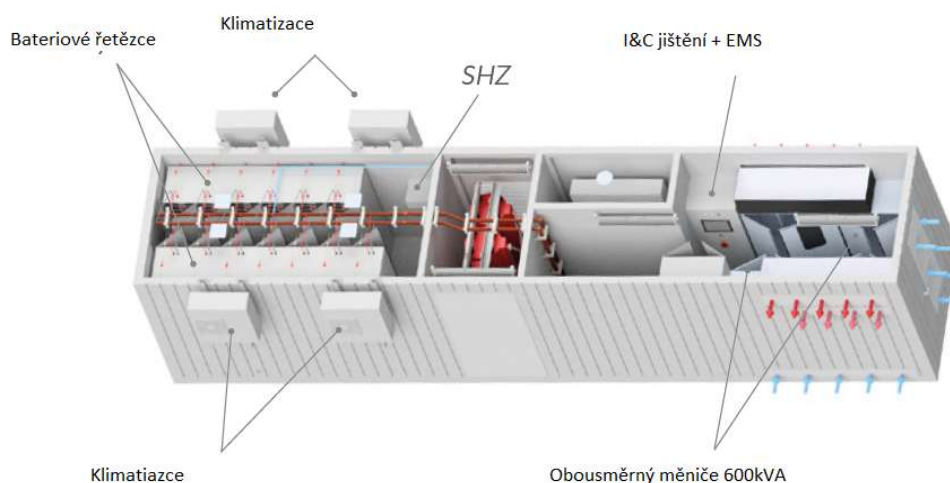
Obecné	
Výstupní hodnota výkonu UPS	50-300 kW (PF 1.0)
PF = Power Factor = "účinnost UPS"	60-360 kVA (PF 0.9)
Výkon modulů	50 kW (PF 1.0)
	60 kVA (PF 0.9)
Napětí vstupní/výstupní	220/380, 230/400, 240/415 V
Účinnost v režimu dvojitě konverze až	97%
Účinnost v režimu vysoké účinnosti (ESS)	>99%
Topologie invertoru/usměrňovače beztransformátorová IGBT s PWM	
Rozšířitelnost UPS paralelně až na	4ks
UPS topologie Online / Dvojitá konverze	
Rozměry UPS (šířka x hloubka x výška)	800 x 990 x 1987 mm
Stupeň ochrany UPS	IP 20
Baterie	
Typy použitelných baterií	VRLA, Li-on, NiCd, Mokrý články, Superkondenzátory
Metoda nabíjení ABM nebo Plovoucí	
Teplotní kompenzace nabíjení	Volitelná
Jmenovité napětí baterií	384 – 528V

Shoda se standarty
Bezpečnost (CB certified) IEC 62040-1
EMC IEC 62040-2
Výkon IEC 62040-3
RoHS EU nařízení 2015/863/EU
WEEE EU nařízení 2012/19/EU

Tabulka 3 Parametry UPS 93PM G2

4.1.2 BSAE

Na trhu je veliké množství bateriových uložist' od různých výrobců, jako vzorové bude použito uložistě od firmy Energon. Kontejnerový uložistě je zcela soběstačný systém s aktivním zabezpečením a možností přesunu, kdykoli je třeba. Součástí uložistě jsou baterie LG Chem, jejichž chemické složení elektrod je také NMC.



Obrázek 11BSAE

Parametry Uložistě:

Jmenovité napětí	0,4; 6,3; 10; 22; 35 kV (dle volby TR)
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Jmenovitý výkon nabíjecí	1 MVA
Jmenovitý výkon vybíjecí	1 MVA
Pracovní rozsah Cos Phi	kapacitní 0-1-0 induktivní (čtyř-kvadrantní)
Instalovaná kapacita baterie	1357 kWh

Použitelná kapacita baterie	1000 kWh
Doba do plného nabití	
Doba do plného vybití	1 h (1C)
Celková účinnost BESS cyklu	87 % (vč. TR) tzv. RTE
Záruka na použitelnou kapacitu baterií	6000 cyklů nebo 10 let
RTE je celková účinnost měřená na VN straně TR při plném cyklu (1 × nabití + 1 × vybití) včetně započítání všech ztrát	

Tabulka 4 Parametry BSAE

4.1.3 Akumulační prvek

Akumulační prvek je nedílnou součástí BSAE a UPS jeho volba ovlivní celý systém, jak technologicky, tak i ekonomicky. Jednotlivé prvky se mohou lišit dle zařízení, které bude vybráno. V případě BSAE se bavíme čistě o bateriích a ve většině případů Lithium-iontových. U UPS už tolik omezení nejsem a je možno využít nejen Li-on baterie, ale také VRLA baterie nebo Super kondenzátory. Ačkoliv Super kondenzátory, mají mnohem více cyklů než baterie a jsou navrženy na cyklické nabíjení a vybíjení při větších zátěžích, nedojde k jejich využití v rámci této práce. VRLA baterie ačkoliv levné, s dostatečnou kapacitou, ale pro poskytnutí služby nestačí na Li-on baterie a super kondenzátory vzhledem k počtu cyklů. Proto budou dále využity jen Li-on baterie, které jsou v současnosti nejvhodnějším řešením pro poskytování podpůrných služeb.

V případě návrhu baterií pro danou službu je potřeba zvážit několik parametrů z nichž jeden z nich je hloubka vybití baterií. Hloubka vybití (DoD=Depth of discharge) ovlivňuje životnost baterie a počet cyklů, které je schopna provést, ale zároveň výrazně ovlivňuje i cenu celého systému. DoD je parametr, který je udáván výrobcem baterií, jako doporučený pro dosažení co nejdelší života schopnosti zařízení.

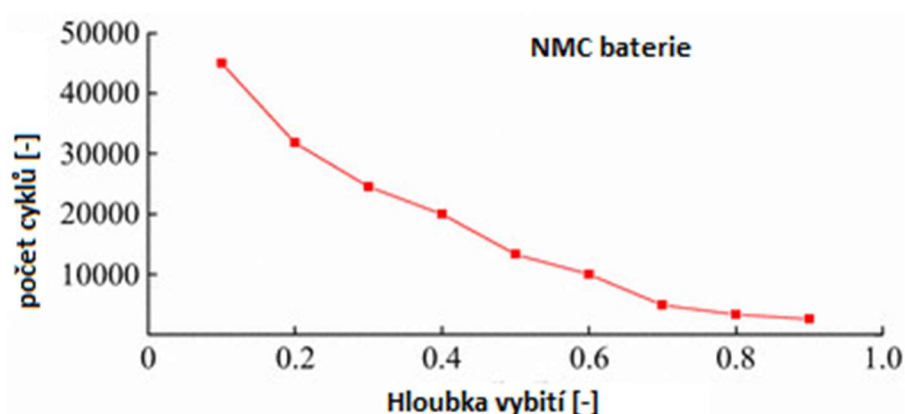
Parametry použitých Li-on baterií pro UPS:

Jmenovité napětí	486V	
Minimální napětí (DC - doporučený koncový vybíjecí napětí)	410V	
Plovoucí napětí	538V	
Kapacita	67Ah / 32,6kWh	
Rozměry (VxŠxH)	2055 mm x 600 mm x 650 mm	

Nabíjecí proud jmenovitý / maximální (dlouhodobě)	22A / 67A (1/3C - 1C)	
Operační teplota baterií	18-28°C	
Maximální uvolněný výkon	173kW	
Jmenovitý vybíjecí proud	22Ah	
Maximální vybíjecí špičkový proud	600A	1 sekundový impulse
	470A	60 sekund
Maximální vybíjecí proud (opakovaně)	402A	6C
Bezpečnostní certifikáty	EN ISO 12100:2010	
	EN 62477-1:2012/A11:2014	
	CAN/CSA C22.2 No. 60950-1	
	UL 1973	

Tabulka 5 Parametry Li-on Rack 128S1P (Samsung)

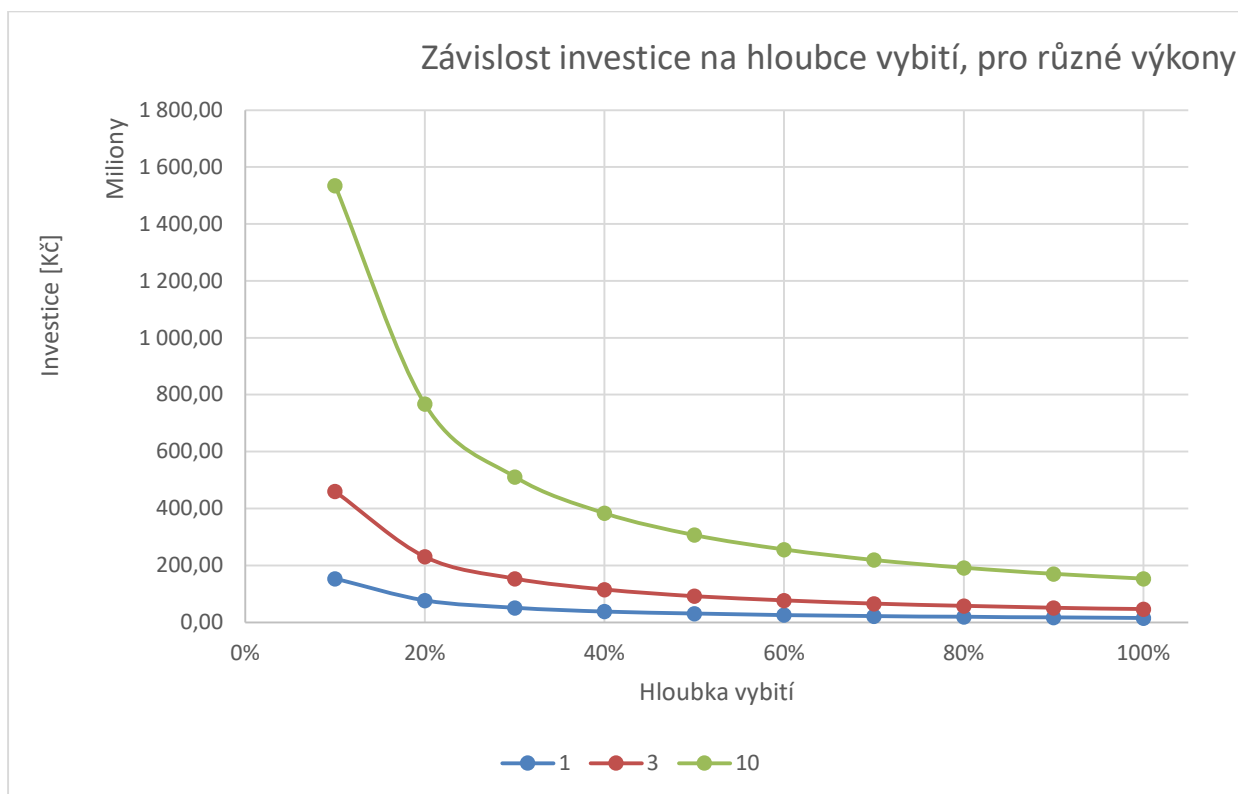
Na grafu níže je vidět, jak hloubka vybití ovlivní počet cyklů u lithiových baterií typu NMC.



Obrázek 12 NMC baterie, počet cyklů = f(DoD) [12]

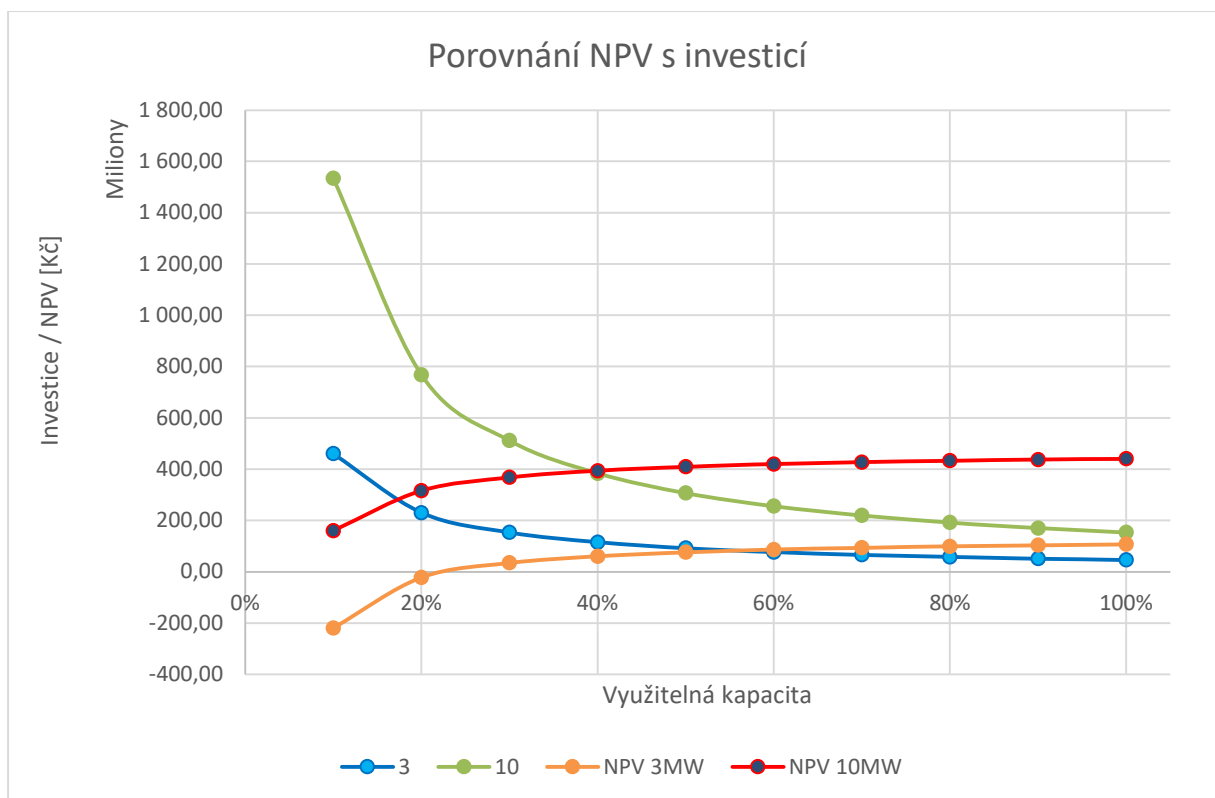
Z grafu lze vidět, že při DoD do 40 % se zvedne počet cyklů baterie až na 20 000 tedy až 4násobek, než při vybití na cca 70-80 %. Z uvedených parametrů (Tabulka č.3) dále vyplývá, že nabíjecí a vybíjecí cyklus pro optimální využití baterie je 1 hodina, v případě nutnosti, lze vybit baterie během 10 minut (6C). Při 365 dnech ročně to dělá 8760 hodin, a tedy 4380 cyklů, kdy baterie může být využita (opakovaně nabita a vybita), za dodržení standartních provozních podmínek. V případě DoD = 80 %, standartní hloubka vybití pro NMC baterie, dosáhneme okolo 4-5 tisíc cyklů a v důsledku toho by se nám kapacita baterie dostala na 80% původní kapacity.

Možností, jak se vyhnout tomuto problému je optimalizovat celkovou kapacitu baterií a hloubku vybití současně s ekonomickou náročností investice a nákladů na provoz. Z grafu (Graf č.1) je vidět závislost hloubky vybití na investičních nákladech pro jednotlivé výkony.



Graf 1 Závislost investice na kapacitě baterií, pro různé výkony

Graf znázorňuje závislost investice v závislosti na hloubce vybití baterií, kde procentní hodnoty udávají kolik procent energie bude z baterie uvolněno např.: pro užitnou kapacitu 3MWh budu potřebovat uložistiště o celkové kapacitě až 5MWh (60 % \approx 3MWh). Dále je vidět, že maximální uvažovaná hloubka vybití bude okolo 40 %, dále už je nárůst investic příliš strmý. Tedy maximálně předimenzovat uložistiště o 60 % tzn. při užitné kapacitě 3MWh (DoD = 40 %) je celková kapacita baterií 7,5MWh. Tímto způsobem mohu zajistit delší životnost baterií a větší počet cyklů.



Graf 2 Porovnání NPV s investicí

Na grafu výše je porovnání investice s NPV pro jednotlivé výkony instalovaných zařízení a využitelnou kapacitu (dimenzování). Pro menší výkony okolo 3MW je vidět, že se vyplatí dimenzovat zařízení na 60 %, tedy instalovaný kapacita baterií bude 5MW (60 % \approx 3MW), vybití ze 40 % a dosažení 10 000 cyklů na bateriích. Pro větší výkony je možné vybití baterie až ze 60 % a dosáhnout tak 20 000 cyklů. Při neustálém využití baterií, tedy cca 2,5 až 5 let.

Z těchto důvodů by případné kontrakty mezi poskytovatelem a odběratelem služby měli být ustanoveny na mezní hodnoty počtu cyklů za rok – doporučeno okolo 1000 společných cyklů (tzn. nabití a vybití = cyklus), anebo kapacitě poskytnuté v daném období, který by měla být $\pm 3\text{GWh}$ v daném kalendářním roce (1000 cyklů). Jde zároveň o energii nabitou a vybitou v průběhu roku, celkem tedy 6GWh (od -3GWh do 3GWh , v případě primární regulace).

4.2 Primární regulace

Primární regulace je jedna z hlavních služeb, pro které se hodí využívat UPS nebo BSAE v rámci individuálních kontraktů s zajišťovatelem podpurných služeb. V obou případech je přední výhodou rychlá reakce a možnost kladné, či záporné regulace výkonu

v závislosti na požadavku dispečinku. Ačkoliv oba bateriové systémy jsou omezeny nabíjecím, vybíjecím cyklem a skutečným stavem nabití v danou chvíli, tzn. cyklický využití baterií vybíjení→nabíjení→vybíjení→nabíjení. I přes to je jejich využití prospěšnější pro síť, než použití větších centralizovaných zdrojů.

Vstupní parametry:

Technické parametry

Velikost instalovaného zařízení	3 MW
Využitelná kapacita baterií	3 MWh
Doba zálohy	3 MW / 60 minut

Ekonomické parametry

Eskalace elektřiny	8%
Diskont	2%
Výnosy	2%
Náklady	2%
Daň	21%
Odpisy	7%
Životnost	15 let

Tabulka 6 Vstupní parametry PR

Z výše uvedených parametrů bude vycházet ekonomický model pro službu primární regulace. Ekonomické parametry byly odůvodněny výše viz. začátek 4. Kapitoly. Co se týče technický parametrů jsou nastaveny požadavky služby na minimální poskytovaný výkon a jeho regulací v obou směrech. Tedy od 3MW do 10MW a při hodnocení služby a její certifikaci, je požadavek na udržení výkonu po dobu cca 60 minut. Kapacita baterií by měla být, alespoň odpovídající instalovanému výkonu a počítat s maximální hloubkou vybití, alespoň 80 % (Doporučeno výrobcem).

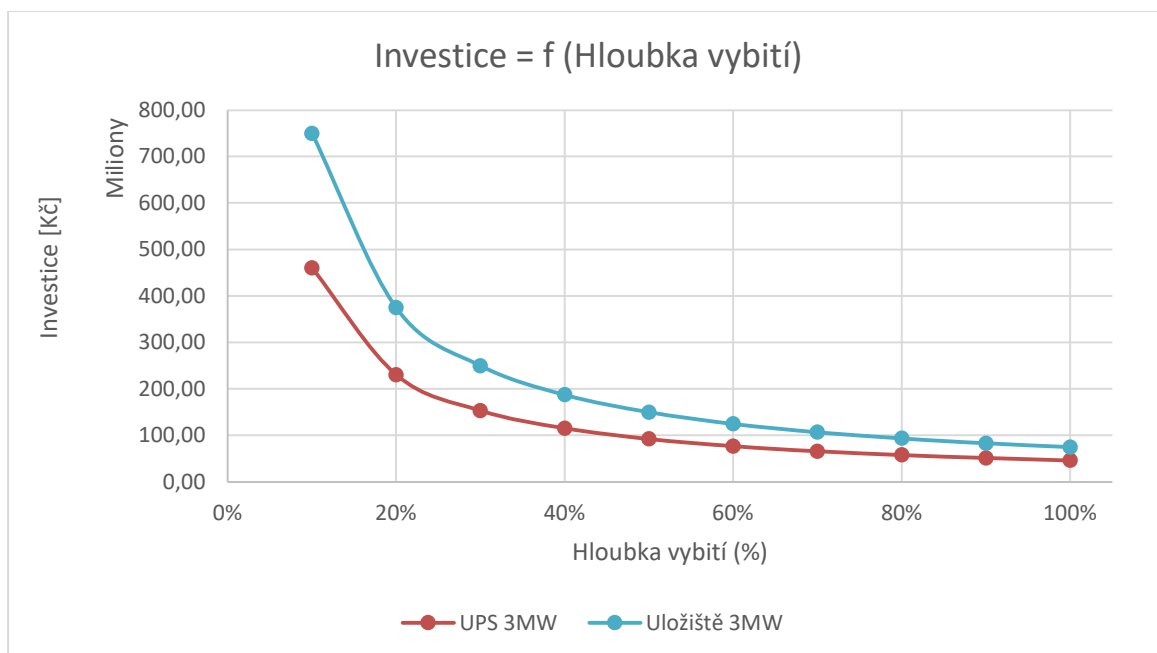
Vstupní investice a náklady:

Vstupní investice a náklady	UPS	BSAE
Investice	58 000 000 Kč	93 750 000
Roční náklady na servis	1 417 500 Kč	1 500 000 Kč

Tabulka 7 Vstupní investice a náklady

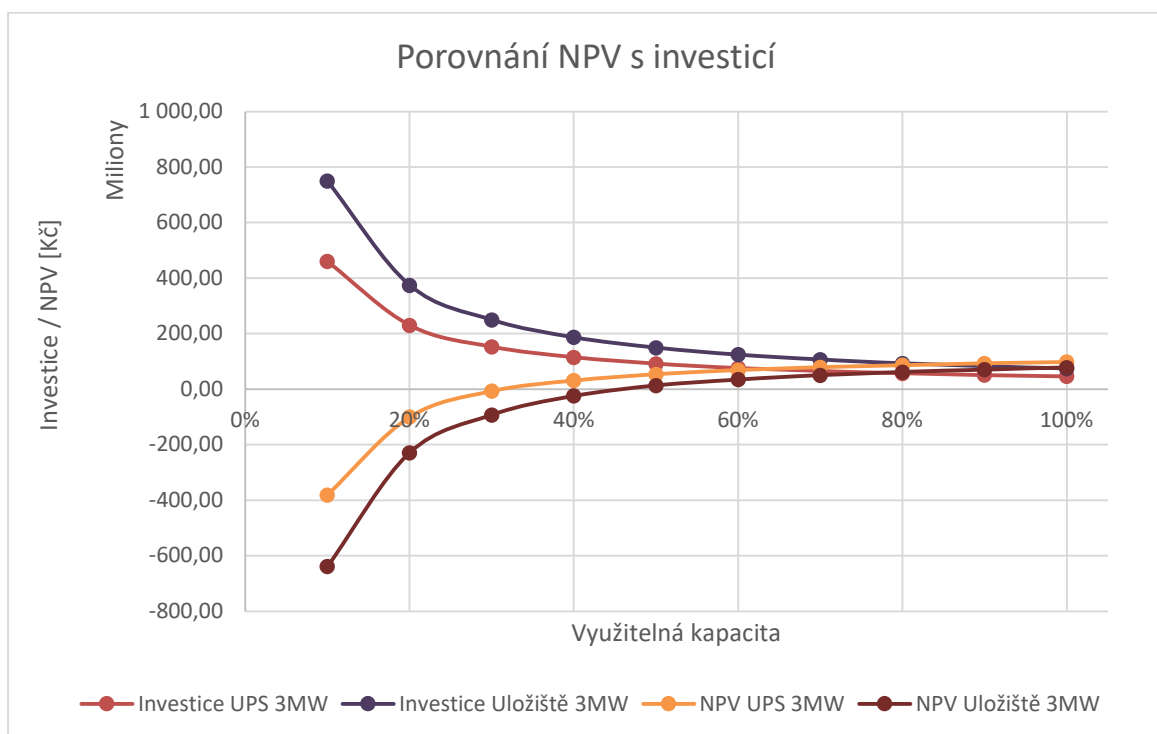
V tabulce č.7 jsou ceny za zařízení o instalovaném výkonu 3 MW a celkové kapacitě 3,75MWh (DoD = 80 %).

V následujícím grafu je porovnání investic pro daný výkon, při různé hloubce vybití.



Graf 3 Závislost investice na hloubce vybití

Pro daný výkon vychází investice do UPS s Li-on bateriemi levněji, ale na rozdíl od BSAE v kontejnerovém provedení, musí být splněni provozní podmínky v místě instalace. Tedy klimatizovaná místnost, což v případě již provozovaných UPS není problém, ale při nové instalaci jsou to náklady navíc, které mohou snížit rozdíl vstupních investic.



Graf 4 Porovnání investic s NPV

Na grafu. 9 je znázorněna závislost investic a NPV na využitelné kapacitě (předimenzování). Je z něho patrné, že zhruba hloubka vybití do 60-70 %, je vhodná pro UPS a kolem 80 % pro BSAE. Z toho lze usoudit i počet cyklů pro jednotlivá řešení a roční využitelnost.

Pro UPS se pohybuje počet cyklů okolo 10 000, při hloubce vybití 60 % (NMC baterie), Při plánovaném provozování zařízení po dobu 15 let, vychází využití baterií okolo 660 cyklů ročně. Poskytnutí tedy 2 GWh, jak v kladné, tak záporné změně odběru. Zároveň je zde podmínka pro souslednost cyklů.

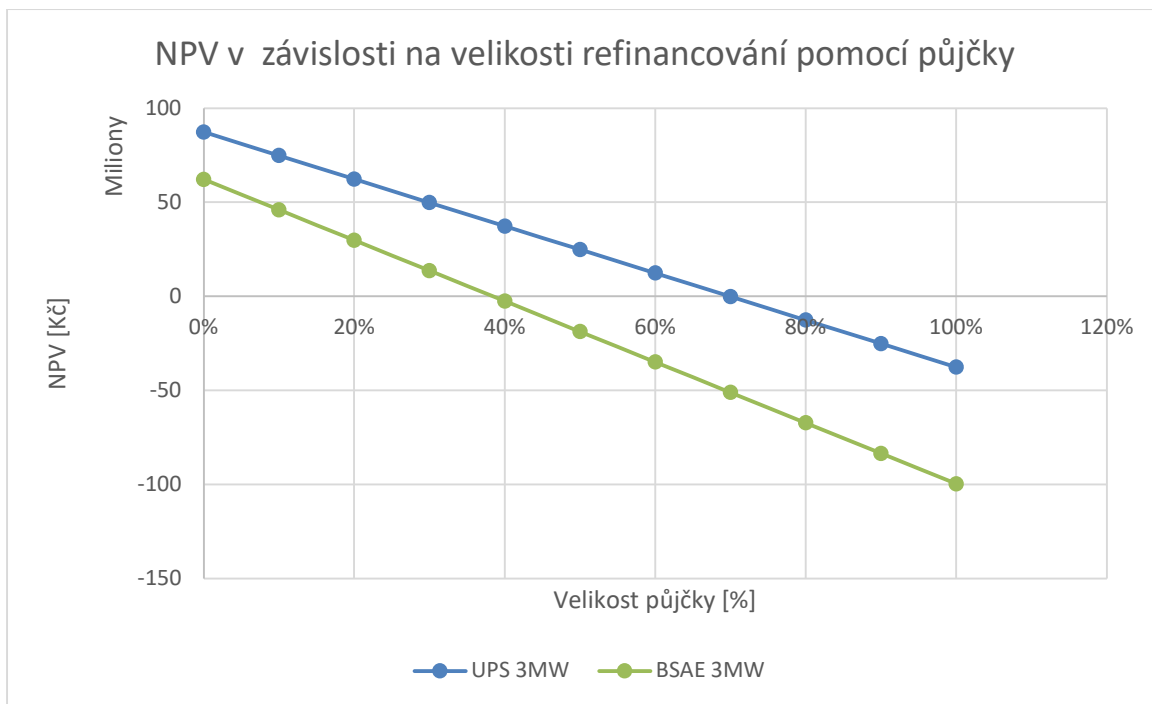
Pro BSAE se vychází z hodnoty životnosti v katalogovém listu, tedy 6 000 cyklů nebo 10 let. Kde už se počítá s hloubkou vybití 80 %. Oproti UPS tedy o 4 000 cyklů méně, a to při vyšších investičních nákladech. Pokud bych chtěl provozovat BSAE stejnou dobu jako UPS měl bych ročně k dispozici okolo 400 cyklů.

Ze zmíněného výše vyplývá, že obě varianty mají své výhody a nevýhody, ale využití UPS převládá vzhledem k investičním nákladům, roční využitelnosti a NPV

NPV	UPS	BSAE
DoD = 80 %	87 298 520 Kč	62 147 040 Kč

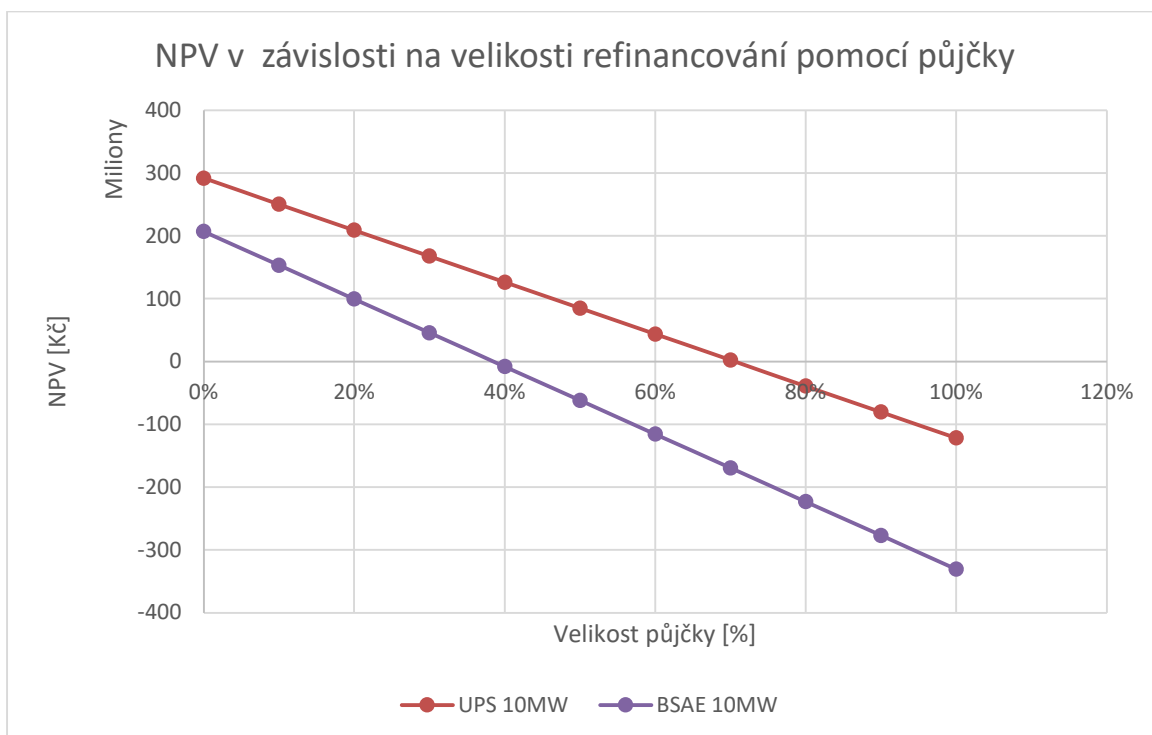
Pro životnost zařízení 15 let.

V případě nutnosti je možnost investici refinancovat pomocí půjčky. Na grafu č.3 je závislost NPV na velikosti refinancování pro obě varianty. Pro řešení pomocí UPS lze čerpat úvěr až do 60% celkové velikosti investice. U BSAE je to pouze do 40% celkové investice, aby se ještě vyplatila. V případě změny diskontu z 2 % na 10 % by velikost úvěru v obou případech klesla o 10 %.



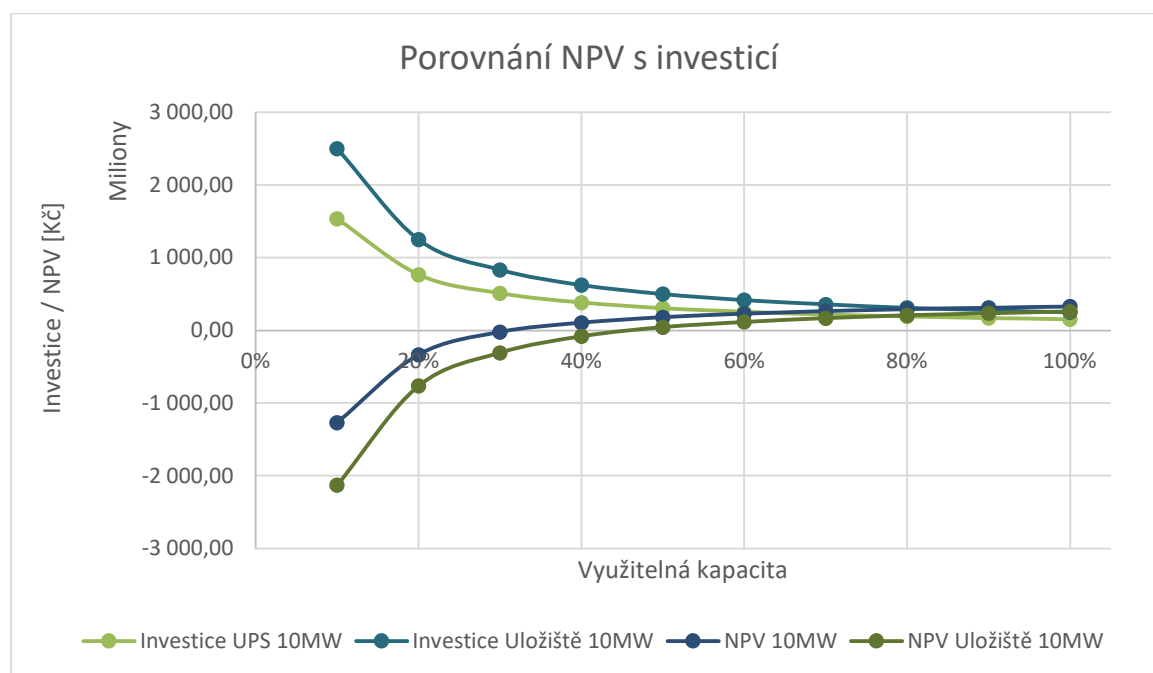
Graf 5 NPV v závislosti na refinancování pomocí půjčky

Pro maximální výkon, který je pro tuto službu využít tedy 10MW, refinancování zůstává na podobných mezních hranicích, ale výrazně se mění NPV, tedy maximálně 40 % pro BSAE a 70 % pro UPS, oproti 3 MW ale zároveň nedochází k výrazné změně NPV v závislosti na hloubce vybití do 60 %.



Graf 6 NPV v závislosti na výšce úvěru

V případě provozování zařízení o výkonu 10 MW, je možno ho předimenzovat až na kapacitu 25 MWh a využívat pouze 40 % této kapacity pro provoz. Zároveň to umožňuje využít až 20 000 cyklů, než kapacita baterií klesne na 80% jmenovité a i pak, lze baterie udržet v provozu a získávat obrát po dobu dalších 5-10 let, vše v závislosti na provozních podmínkách, pravidelném servisu, stavu UPS, vývoji technologií.



Graf 7 Porovnání NPV s investicí pro 10MWh a nulový úvěr

4.3 Minutové zálohy (mFRPt)

U této služby se může jednat o poskytnutí kladné, či záporné zálohy na žádost dispečinku, a to buď do 5 nebo 15 minut. Minimální výkon, který může být pro danou službu poskytnut je 10MW s maximální hodnotou výkonu až 70MW. Doba po, kterou daný výkon musí zařízení dodávat, či odebírat je rozličný pro mFRPt₅ i mFRPt₁₅. Pro mFRPt₅ je minimální doba poskytnutí této zálohy až 4 hodiny, i kdyby povel k aktivaci přišel až na konci rezervovaného intervalu. Pro UPS a BSAE je proto vhodnější využít mFRPt₁₅, která není z hlediska doby poskytnutí služby omezena.

Vstupní parametry:

Technické parametry

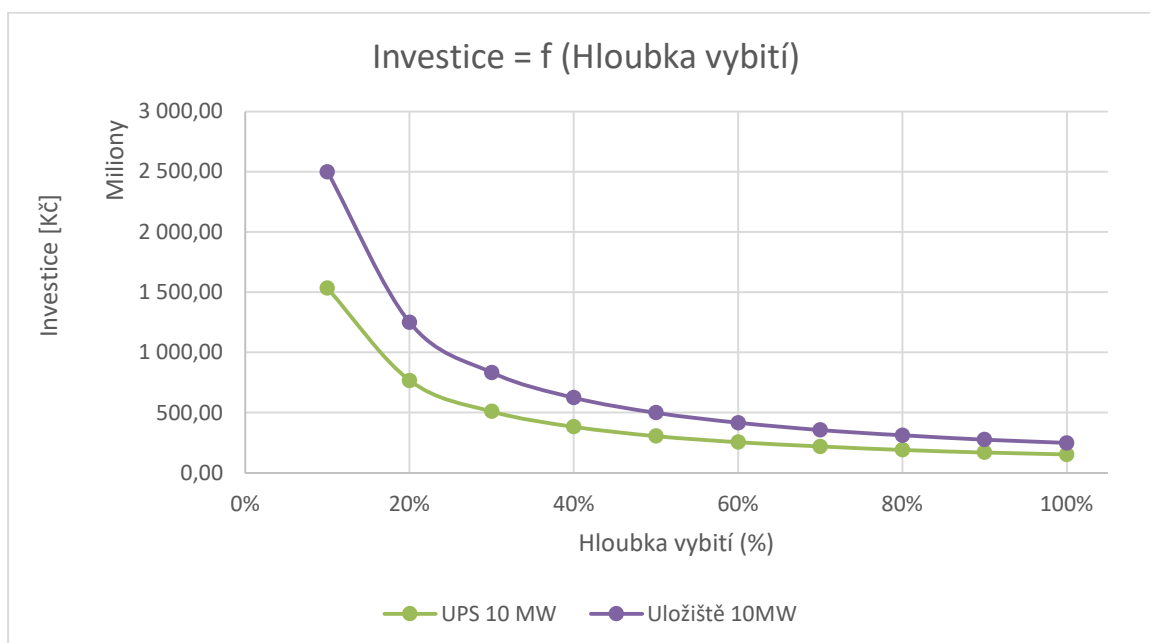
Velikost instalovaného zařízení	10 MW
Využitelná kapacita baterií	10 MWh
Doba zálohy	10 MW / 60 minut

Ekonomické parametry

Eskalace elektřiny	8%
Diskont	2%
Výnosy	2%
Náklady	2%
Daň	21%
Odpisy	7%
Životnost	15 let

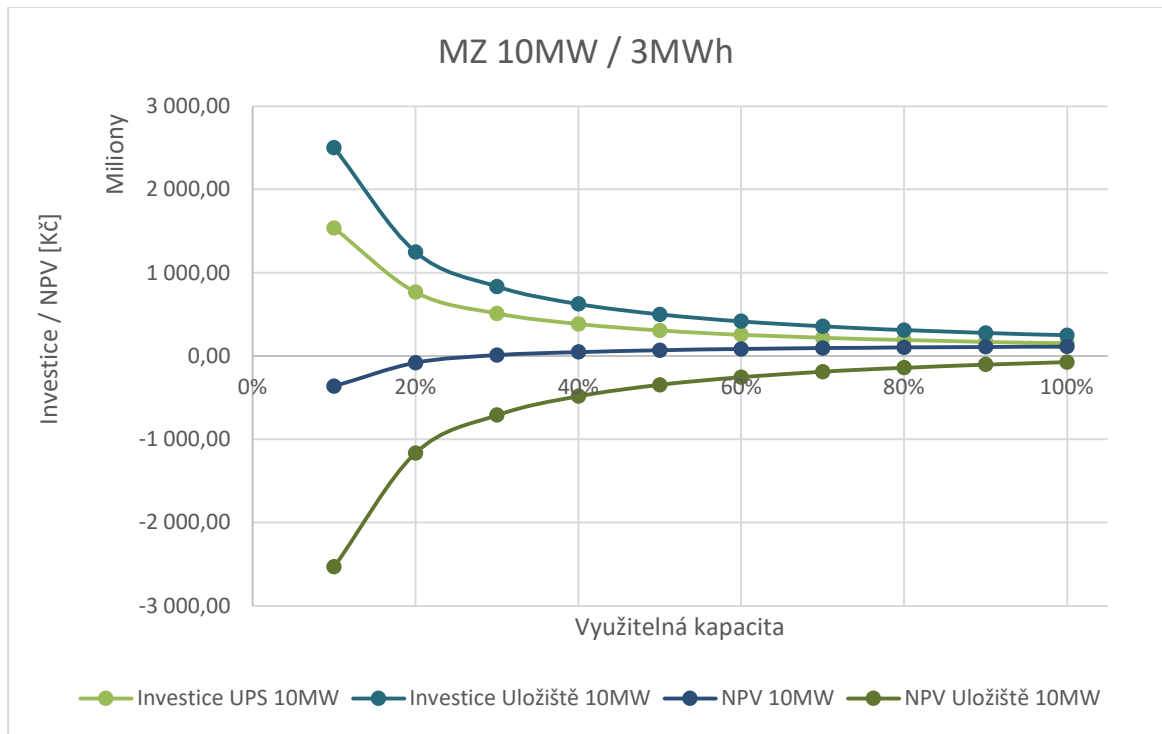
Tabulka 8 Vstupní parametry Minutové zálohy

Doba zálohy je stanovena na 10MW / 60 minut. Z hlediska využití služby nehraje roli, jestli budu využívat baterie v 15minutových intervalech nebo v celých hodinách. Celková doba nabíjecích a vybíjecích cyklů by byla stejná. Ale změna doby zálohy výrazně ovlivní velikost baterií, a tedy i celkovou investici. Na grafu (Graf č.8) je vidět, že velikost investice UPS je menší než pro BSAE. V případě nadimenzování baterií na dobu zálohy 10MW / 15-30 minut (kapacita ±3MWh), by výrazně klesla vstupní investice. Zároveň je nutno podotknout, že vybíjecí proud baterií by dosahovaly 4C (zhruba 270A, maximální je 6C – ±400A). Což by mohlo vést k postupné degradaci baterií, vlivem těchto proudů a vyšších teplot (než provozních 18-28 °C), při nabíjení a vybíjení.

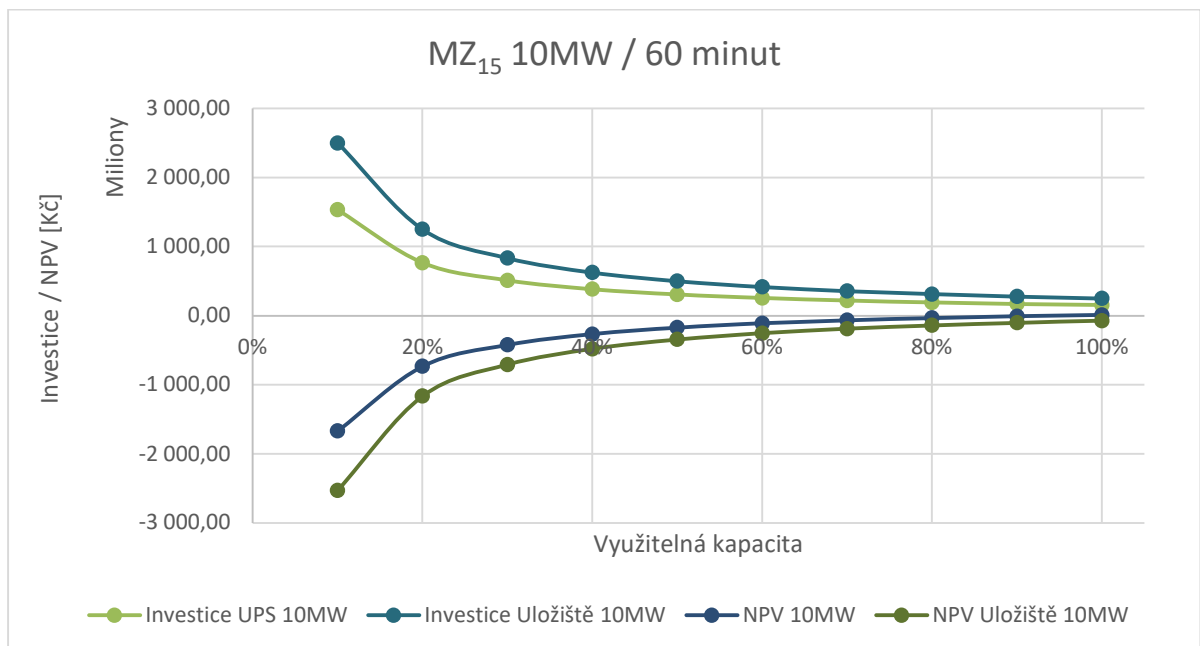


Graf 8 Investice v závislosti na hloubce vybití MZ pro zátěž 100 % / 60 minut

V grafu (Graf č. 9) je znázorněn průběh NPV v závislosti na hloubce vybití. Graf byl zkonstruován pro dobu zálohy 10MW / 15 minut.



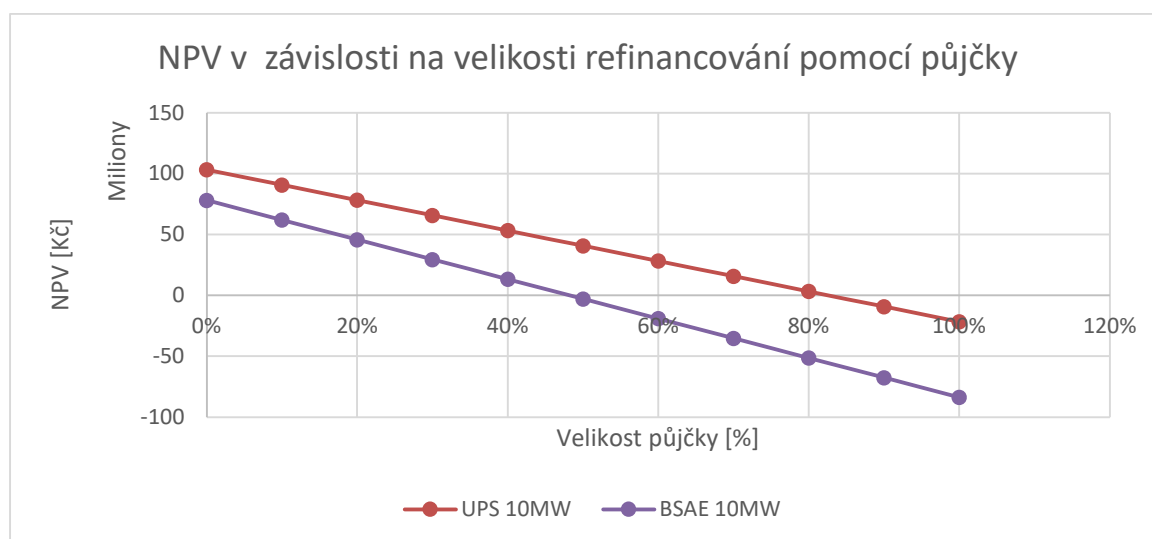
Graf 9 MZ 10MW / 3MWh



Graf 10 MZ₁₅ 10 MW / 60 minut

Při porovnání grafů (Graf č. 9 a 10), je jasně vidět rozdíl v NPV pro jednotlivé varianty. Kde je pak možnost v případě použití UPS dimenzovat baterie na 3MWh využitelné kapacity (60 % z celkové kapacity baterií), v případě hodinové doby zálohy je minimální hodnota DoD 80 %. BSAE, které je možné upravit na základě požadavků zákazníka se bude pohybovat investiční cenou 25 000 000 Kč / 1MW. Cena baterií tvoří alespoň 60% investiční ceny, v případě snížení na čtvrtinu (kapacity, tedy 250kWh), bude výsledná

cena 15 000 000 Kč / 1 MW (250kWh). Čímž by se BSAE mohlo dostat pod investiční náklady UPS a vycházet jako lepší varianta pro tuto službu. Pro hodinovou zálohu je BSAE bez možnosti, přiblížit se ke kladnému NPV.



Graf 11 Refinancování MZ₁₅

Na grafu jsou vidět průběhy závislosti NPV na velikosti půjčky. Je patrné, že v obou případech smí půjčka tvořit 40-60% investiční ceny.

4.4 RRP

V případě dodávek regulační energie, je nutné nadimenzovat instalovaný výkon zařízení na 10MW, což je minimální výkon pro poskytování služby, maximální je 70MW. Kapacita baterií je požadována od 15 minut až do 60 minut, po 15minutových intervalech z důvodu platby vždy za celou obchodní hodinu (kapacita je vztažena k instalovanému výkonu tzn. 10MW / 15 minut). Poskytnutí kladné, či záporné zálohy probíhá do 30 minut od zadání požadavku dispečinku. Zákazník je o akceptaci nebo zamítnutí informován pomocí obchodního portálu. Cena regulační energie se pohybuje okolo 2 350 Kč za MWh, při poskytnutí kladné zálohy a 1 Kč / MWh pro zápornou zálohu. Aktuální cena je závislá na systémové odchylce a její polaritě.

Vstupní parametry:

Technické parametry

Velikost instalovaného zařízení	10 MW
Využitelná kapacita baterií	5 MWh
Doba zálohy	10 MW / 30 minut

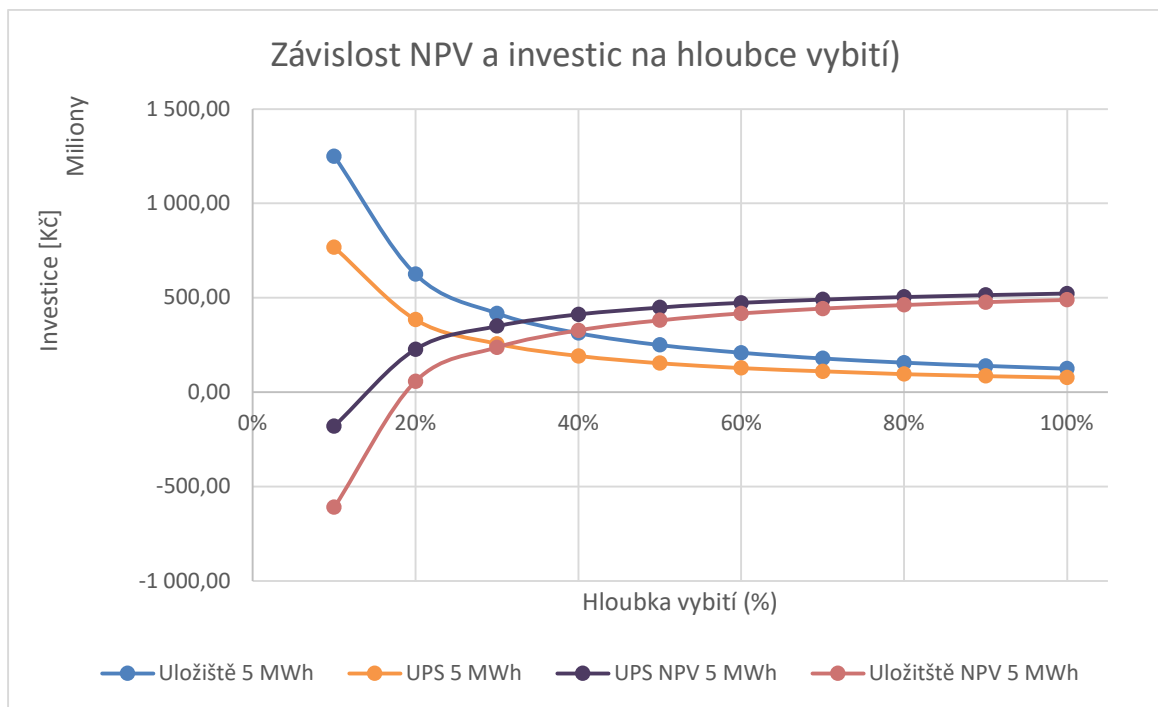
Ekonomické parametry

Eskalace elektřiny	8%
Diskont	2%
Výnosy	2%
Náklady	2%
Daň	21%
Odpisy	7%
Životnost	15

Tabulka 9 Vstupní parametry RRP

Jedná se o nejvhodnější variantu ze všech podpůrných služeb. V případě ročního provozu (8 760 hodin / rok), při minimálním instalovaném výkonu 10 MW je příjem za dodávky a odběry regulační energie $\pm 50\,000\,000$ Kč / 10MW (5MWh / 2 190h / rok), za podmínky nákupu energie ve vhodnou dobu (cena na trhu ± 1 Kč / kWh), v případě cen vyšších (3-6Kč / kWh) už se tato služba nevyplatí provozovat menším subjektům na trhu.

Dále bude počítáno se příjmem 50 000 000Kč / 10MW při kapacitě 5MWh. Roční využití po dobu 2 190h (maximální využitelnost je 4 380 hodin) je kvůli rezervě v případě nepříznivých cen elektrické energie na trhu.

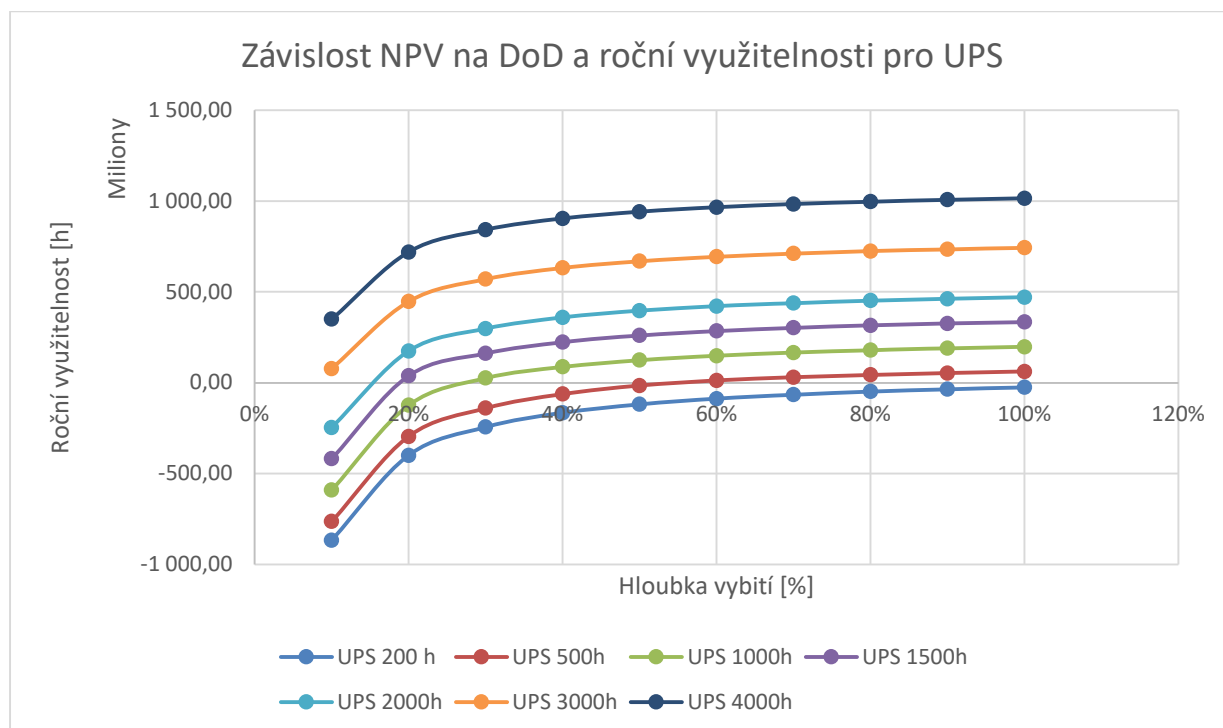


Graf 12 NPV a investice na DoD pro 10MW / 5MWh

Na grafu č. 12 je vidět průběh NPV a investic pro 10MW / 5MWh (10MW / 30 minut). Hloubka vybití může dosahovat až 40 % (limitní DoD = 30 %), případě 5MWh by celková kapacita baterií mohla být až 12,5 MWh. Počet cyklů baterií pro DoD = 40 %

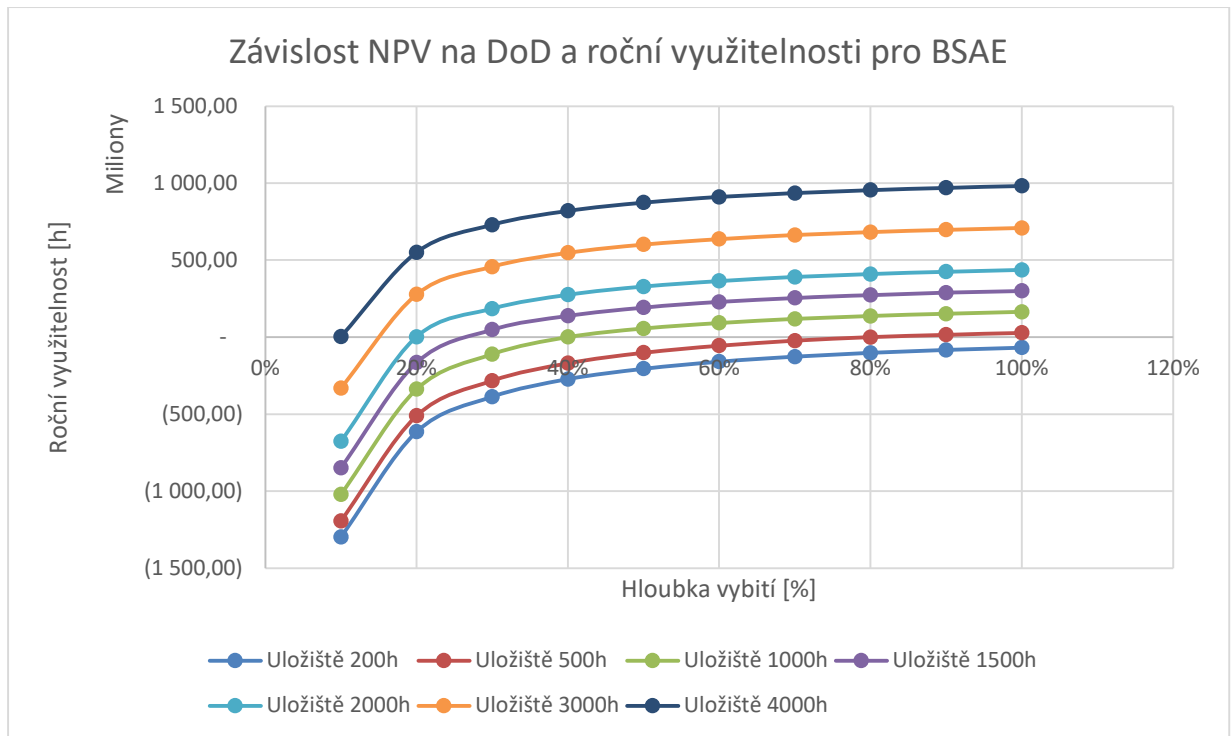
odpovídá 20 000 cyklů viz. (Obrázek 12 NMC baterie, počet cyklů = f (DoD) [12]). Potom při 2200 cyklech ročně je doba životnosti ± 9 let, než dojde k poklesu kapacity baterií na 80 % z původních 12,5 MWh. Dále lze UPS s bateriemi využívat i nadále při celkové kapacitě 10MWh, za podmínky dobrého spolehlivého provozu UPS a baterií. Pro BSAE lze říct, že dodávky regulační energii jsou neoptimálnější volbou podpůrné služby. S NPV skoro schodným s UPS, je možno nadimenzovat BSAE na DoD = 40 % (limitní DoD). Dosáhnout na 20 000 cyklů a mít možnost i po 9 letech dodávat regulační energii.

Změna celkové kapacity baterií a roční využitelnost výrazně ovlivní NPV viz. graf č.13 a 14.



Graf 13 Závislost NPV na DoD a roční využitelnosti pro UPS

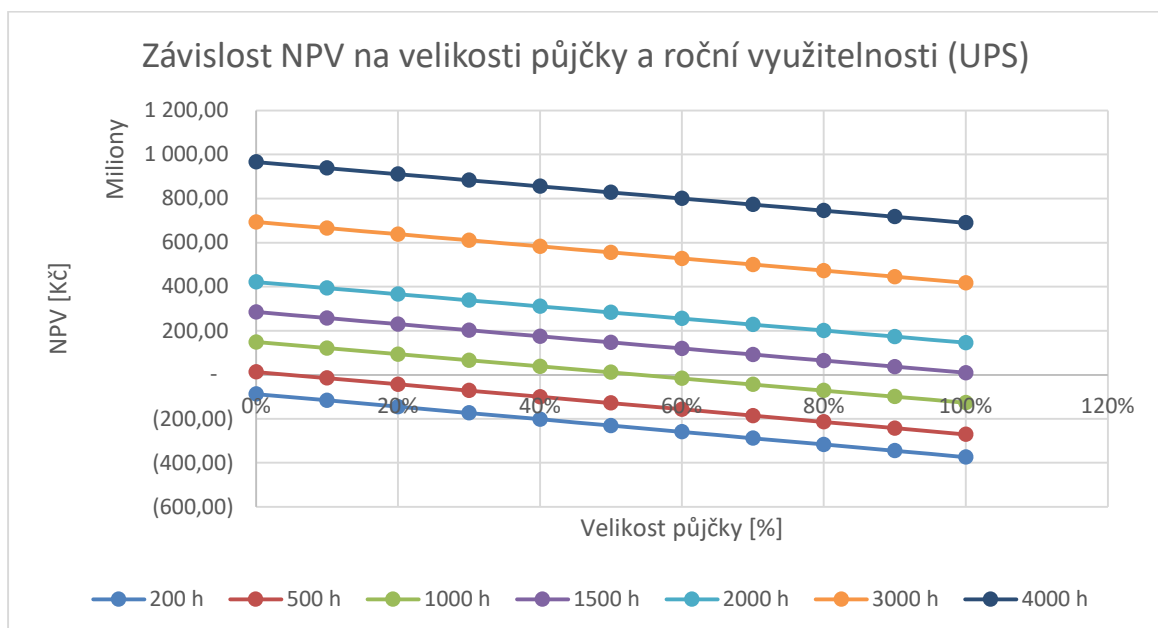
Na grafu č. 13 je vidět závislost NPV nad hloubce vybití a roční využitelnosti. Z grafu (Graf č. 13) vyplývá, že minimální nutná využitelnost se pohybuje u 500 hodin ročně. Kde maximální hloubka vybití může dosahovat 60 %, aby se provoz ještě vyplatil (NPV 13 000 160 Kč).



Graf 14 Závislost NPV na DoD a roční využitelnosti BSAE

Z grafu (Graf č. 14) vyplývá, že mezní hodnotou roční využitelnost je 1 000 hodin, kde lze ještě baterie nadimenzovat na hloubku vybití 60 % (40 % je limitní stav a odpovídá mu NPV 1 140 000 Kč). NPV pro hloubku vybití 60 % a roční využitelnost 1 000 hodin je 92 700 000 Kč.

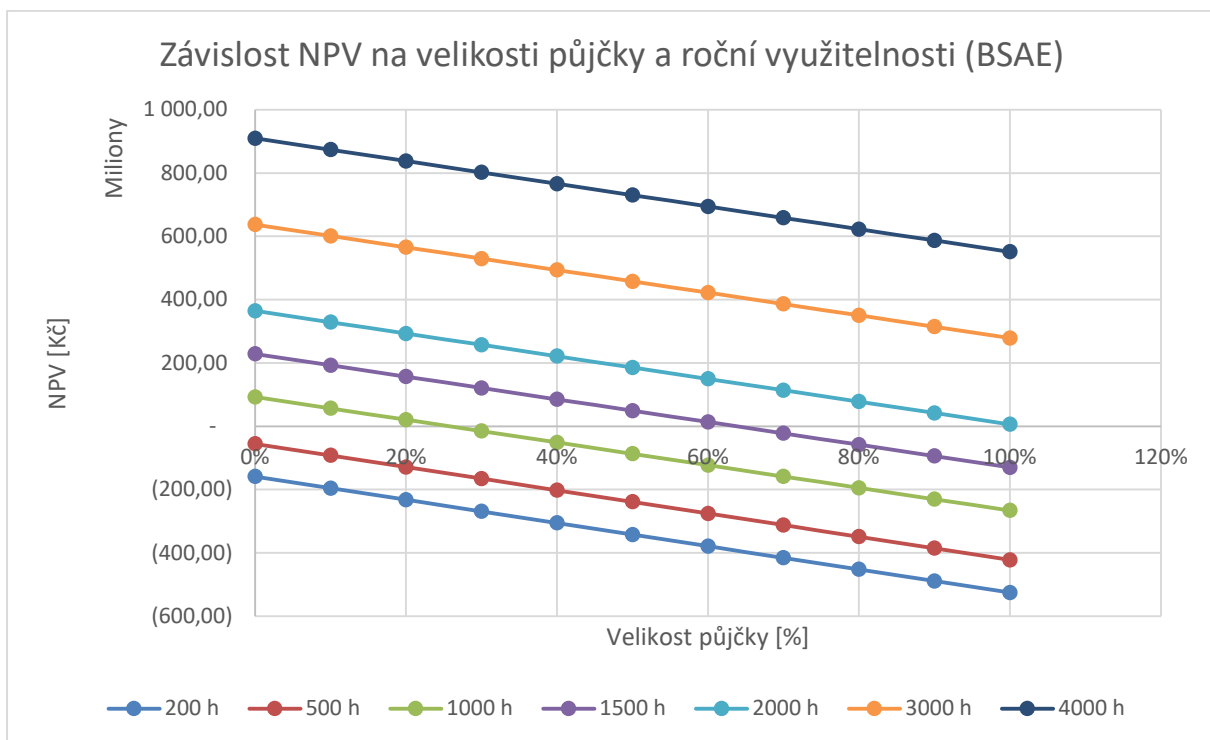
V obou případech je možno využít formu refinancování celého projektu pomocí půjčky.



Graf 15 Refinancování UPS RRP 10MW / 5MWh

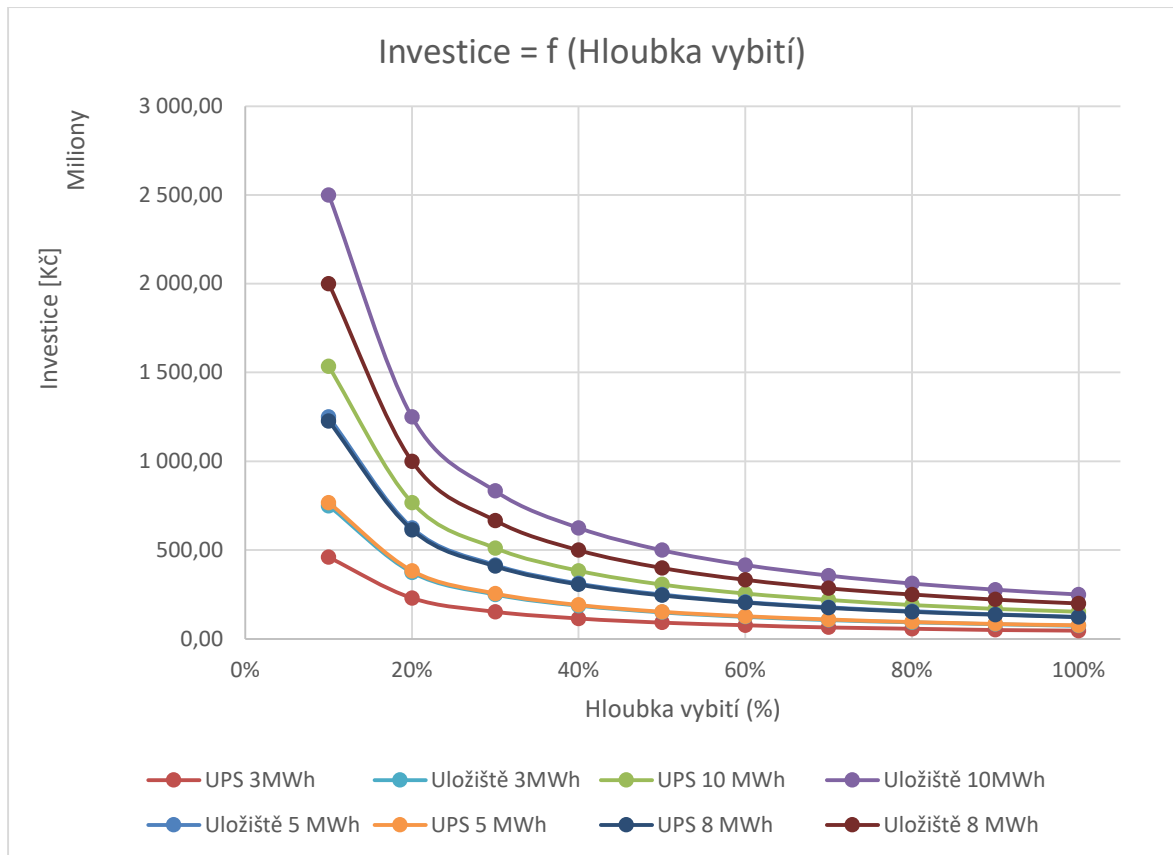
Na grafu (Graf č. 15) je znázorněna závislost mezi NPV, velikostí půjčky a roční využitelností. Pro roční využitelnost 200 hodin je maximální půjčka 20 % z celkové investice. Od 1500 hodin ročně lze celou investici refinancovat pomocí půjčky (NPV 9 600 000 Kč).

Pro BSAE (Graf č. 16) je mezní hodnot roční využitelnost 2 000 hodin, kde lze ještě půjčit si 100 % investice (NPV 6 600 000 Kč). Rizikové, ale taky možné je půjčit si 20 % investice a provozovat BSAE 1 500 hodin ročně (DoD = 60 %). Pro menší roční využitelnost refinancování projektu už není možné.



Graf 16 Refinancování BSAE RPP 10MW / 5MWh

V případě změny kapacity baterií (5MWh) se investice změní následovně viz. Graf č. 17.

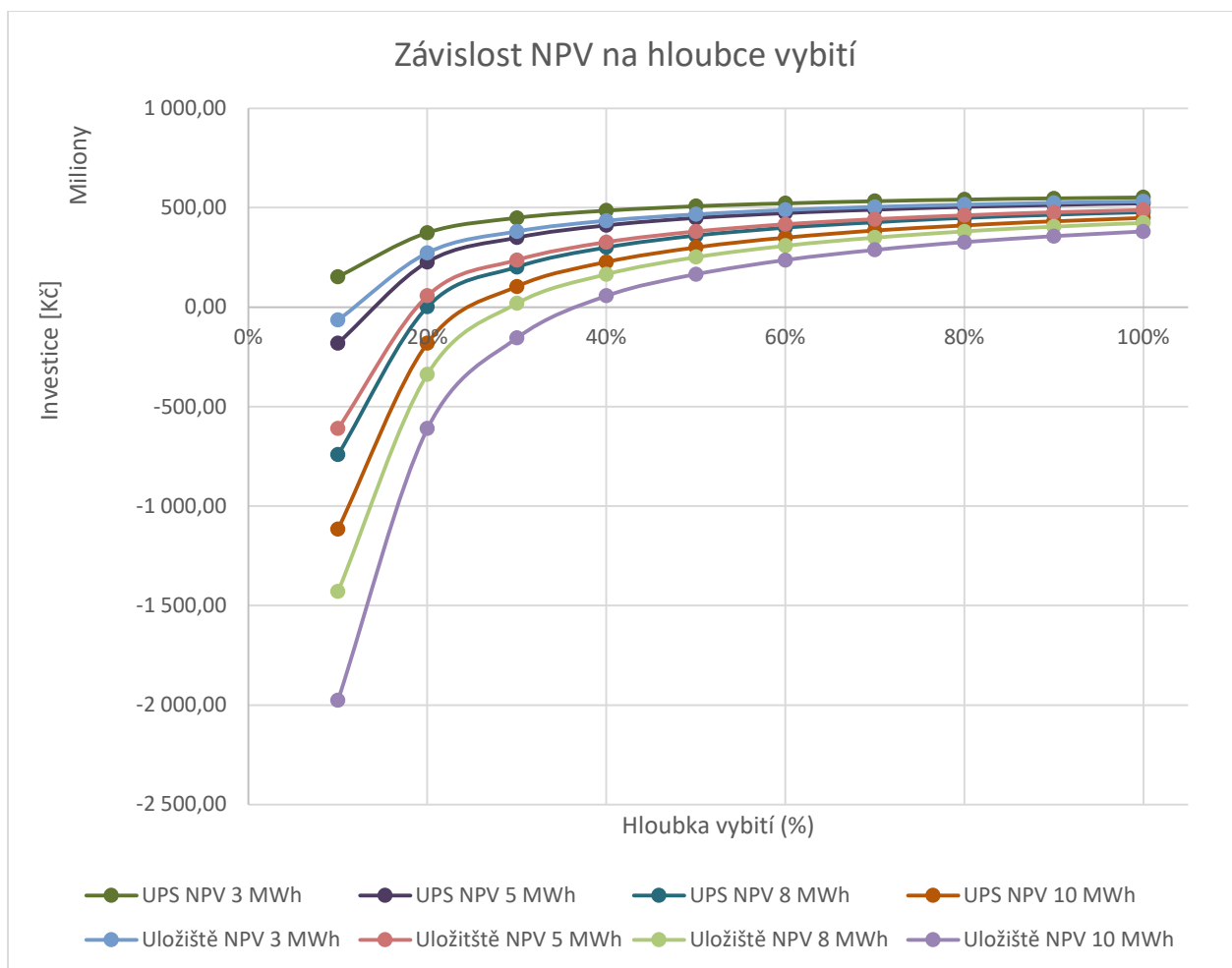


Graf 17 Investiční náklady pro různé doby zálohy baterií

Kde jednotlivé kapacity odpovídají dobám zálohy následovně:

- 3MWh – 10MW / 15 minut
- 5MWh – 10MW / 30 minut
- 8MWh – 10MW / 45 minut
- 10MWh – 10MW / 60 minut

Na grafu (Graf č. 17) je vidět, že investice UPS 8 MWh je téměř totžná s investicí BSAE 5 MWh. A podobně je tomu u UPS 5 MWh a BSAE 3 MWh. Investičně vychází líp UPS.



Graf 18 NPV v závislosti na hloubce vybití pro různé doby zálohy

Na grafu (Graf č. 18) jsou znázorněny průběhy NPV pro různé doby zálohy (od 3MWh do 10MWh). Ve všech případech je možné jít až na hloubku vybití 40 % a produkovat kladné NPV (10MWh / DoD = 40 % / NPV = 57 milionů Kč). Společný graf, pro investice a NPV v závislosti na hloubce vybití viz. Příloha č. 4.

4.5 Ostatní

Ačkoliv výše zmíněné podpůrné služby jsou hlavními možnostmi pro generování příjmů s pomocí BSAE a UPS nejsou jediné. Dalšími možnostmi, které už nejsou tak využívané:

- Kompenzace jalového výkonu:
UPS i BSAE je schopno kompenzovat jalový výkon své zátěže. Za pomoci vstupního měniče, statického bypassu a baterií.
- Start ze tmy:

V případě výpadku napájení jsou obě zařízení schopna poskytnout potřebnou elektrickou energii dodávkou do sítě. A pomoci k obnově provozu schopnosti elektrické sítě.

- Vyhlažování výkonových špiček:

Jak UPS tak BSAE lze použít pro vyhlazování výkonových špiček. V případě UPS je minimální reakční čas nastaven parametry Lithium-iontových baterií (Tabulka 5). Baterie pro UPS jsou schopny poskytnout 4 až 6 násobek jmenovité hodnoty vybíjecího proudu 470A / 60 sekund, 600A / 1 sekundový impuls nebo uvolnit výkon až 173kW. Pro BSAE budou časy přibližně podobné vzhledem k použití Li-on baterií. Pro vyhlazování špiček menších jak 60 sekund by se, ale měli používat spíše super kapacitory, které jsou na danou zátěž a cyklické vybíjení/nabíjení stavěné. Ačkoliv vstupní investice pro super kapacitory, bude výrazně převyšovat investici do baterií. Pro takhle malé časy se už baterie z technologického hlediska nevyplatí a je to téma pro jinou ekonomickou studii.

- Ostrovní provoz:

UPS a BSAE jsou schopny pomoci v ostrovním provozu dodávkou elektřiny pro kritickou infrastrukturu. V případě BSAE se bude jednat o centrální kontejnerové jednotky rozmístěné v uzlových bodech. U UPS, lze říci, že se jedná o decentralizovanou energetiku, kde záložní zdroje mají svoje současné využití v zálohování zařízení zákazníka a v případě potřeby je lze využít (po upravení cesty do sítě – odepnutí/sepnutí elektroinstalačních prvků).

5 Závěr

Ačkoliv v současnosti není využití akumulace zakomponována do legislativy, ani kodexu přenosových soustav, mohlo by budoucí využití akumulace mít pozitivní vliv na denní trh s elektřinou a jeho stabilizaci. Co se týče přenosové sítě, která je stabilizována pomocí podpůrných služeb, využití UPS a BSAE by bylo do budoucna vhodným mezikrokem pro akumulaci elektrické energie a její následné využití jak je tomu v Austrálii, Americe, či Evropských státech. Oba dva systémy ukládání energie je možné vzdáleně řídit a možné připojit na dispečerské řízení a sběr dat. V případě pravidelných servisních kontrol a vzdáleného dohledu, může životnost zařízení dosáhnout až 15 let. Což může a nemusí být doba potřebná pro rozvinutí vodíkové technologie do takové úrovně, kdy cenou a výhodami nahradí baterie.

Přesto je v současné době po celé ČR i EU nainstalováno přes 50MW záložních zdrojů ne-li mnohem víc a je zatím nevyužitým potenciálem na trhu s elektrickou energií, ale i v energetice. UPS slouží nyní pouze pro zálohy infrastruktury a za celou dobu životnosti nemusí zálohovat, ani jedinkrát. Pokud vlastník záložních zdrojů „přeprodá“ nevyužitou kapacitu baterií a UPS, která standartně běží v režimu vysoké účinnosti (tedy přes statický bypass), agregátorovi, který UPS zastřeší. Agregátor je poskládá UPS do fiktivních či obchodních bloků, dle kodexu přenosové soustavy, mohou se vrátit investice na UPS v řádu několika let a dále už jen UPS vydělává. Agregátor by musel zastřešit spolupráci mezi ČEPSem, dodavatelem UPS a vlastníky UPS.

UPS i bateriové uložení byly v práci porovnány ve 3 variantách podpůrných služeb (PR, MZ a RRP) a posouzeny na základě ekonomického modelu.

Primární regulace

V případě primární regulace je nutné předdimenzovat systém na hloubku vybití baterií alespoň 60 % (UPS) a 80 % (BSAE) pro 3MWh. V případě provozování zařízení o výkonu 10 MW, je možno ho předdimenzovat až na kapacitu 25 MWh a využívat pouze 40 % této kapacity pro provoz. Zároveň to umožňuje využít až 20 000 cyklů, než kapacita baterií klesne na 80% jmenovité hodnoty a i pak, lze baterie udržet v provozu a získávat obrát po dobu dalších 5-10 let, vše v závislosti na provozních podmínkách, pravidelném servisu, stavu zařízení, vývoji akumulačních technologií. NPV bude pro UPS \pm 105 000 000 Kč a BSAE \pm 78 000 000 Kč (DoD = 40-60 %). Pro obě zařízení je možné

využití za podmínky stanovení mezní roční využitelnosti v cyklech 400 (BSAE) a 660 (UPS), Při dodržení této podmínky je životnost zařízení odhadována na 10 let. Poté kapacita klesne na 80 % jmenovité a zařízení lze i nadále využívat. Refinancování pomocí půjčky je možné.

Minutové zálohy (mFRPt)

Minutové zálohy, ačkoliv zní optimistky a jejich využití se samo nabízí v případě UPS a BSAE. Vhodnější volbou je využít poskytování 15minutové zálohy, 5minutová záloha požaduje dlouhé doby zálohy, a proto vysokou vstupní investici. Zároveň nízká nákupní cena snižuje příjmy a NPV na hraniční úroveň, která pak také tlačí na velikost baterií (celkovou kapacitu). Hloubka vybití by měla být 60-80 % celkové kapacity. V případě omezení kapacity, tedy i doby zálohy, na 10MW / 15 minut UPS a BSAE generují kladné NPV. Investice se tedy stává rentabilní pro tuto variantu. Nevýhodou tohoto řešení je zvýšené opotřebení měničů a baterií.

RRP

Ačkoliv řešení nespadá do hlavní kategorie podpůrných služeb je zajímavé finanční stránkou a do budoucna skýtá značný potenciál. Oproti PR a MZ nejsou na poskytování RE vytvořeny dlouhodobé kontrakty, jejich cenové ohodnocení je dostačující. Z grafů č. 13 a 14, je vidět, že i při malém ročním využití (200-500 cyklů) si investice na sebe dokáže vydělat a účinně zálohovat určené zařízení.

Pro BSAE je možno říct, že využitelnost je ve všech podpůrných službách možná jen při dodržení vstupních parametrů PpS. BSAE by primárně mělo být určeno k zálohování větších zařízení. Druhotně se pak dá použít na vyhlazování výkonových špiček, kompenzaci jalového výkonu a poskytování PpS. Jako samostatná investice se BSAE vyplatí až v poskytování regulační energie, případně v PR za splněný podmínek zmíněných v Primární regulaci.

Na závěr bych chtěl podotknout, že ekonomický model i technické řešení by se v případě použití na reálnou situaci mělo přizpůsobit dané situaci.

6 Použitá literatura

- [1] Kodex přenosovou soustavou II. *ČEPS* [online]. ČR: ČEPS, 2020, leden 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [2] Podpůrné služby. *ČEPS* [online]. ČR: ČEPS, 2020, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/podpurne-sluzby>
- [3] ING. VOTAVA, Jan. Dimenzování plynového kotle pro kombinovanou výrobu. ČVUT [online]. ČR: ČVUT, 2017, 2017 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70100/F3-DP-2017-Votava-Jan-Jan_Votava_Diplomova_Prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] Platná cenová rozhodnutí. *ERÚ* [online]. ČR: ERÚ, 2020, 3/2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5228943/ERV8_2019.pdf/a5385f13-b36f-487a-8783-6c46cb01a9ca
- [5] DOC. ING. ŽÁČEK, Jaroslav. Zdroje nepřerušovaného napájení – UPS. *ERÚ* [online]. ČR: ERÚ, 2001, 10/2001 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/zdroje-nepreerusovaneho-napajeni-ups--15062>
- [6] The large UPS battery handbook. www.eaton.com [online]. USA, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/backup-power-ups/services-resources/Eaton-Battery-Handbook-BAT11LTA.pdf>
- [7] BU-402: What Is C-rate? *Battery university* [online]. USA: Cadex Electronics, 2017, 2017 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate
- [8] O záložních zdrojích: Baterie pro UPS. *Silektro s.r.o.* [online]. ČR: Silektro, 2018, 2018 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.silektro.cz/zalozni-zdroje/o-zaloznich-zdrojich/baterie-pro-ups>
- [9] PAANANEN, Jaane a Martijn IMMING. UPS installation safety requirements. *Eaton* [online]. USA: Eaton, 2018, 5/2018 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/data-center/documents/ups-installation-safety-requirements-white-paper.pdf>

- [10] Introducing Megapack: Utility-Scale Energy Storage. *Tesla* [online]. USA: Tesla, 2019, 7/2019 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z:
https://www.tesla.com/en_AU/blog/introducing-megapack-utility-scale-energy-storage
- [11] Eaton. *Eaton* [online]. USA: Eaton [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://www.eaton.com/cz/cs-cz.html>
- [12] WANG, Ying. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. *Researchgate* [online]. China, 2016 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/figure/Cycle-life-versus-DoD-curve-for-lithium-ion-NMC-battery_fig4_309148022
- [13] UPS, zálohování. *Alternetivo* [online]. ČR [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
https://www.alternetivo.cz/default.asp?inc=inc/info/b2btechn_info_UPS.htm
- [14] ZEMAN, Miroslav. *Mikroprocesorově řízený pulsní usměrňovač* [online]. ČR: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/92938/ZEM177_FEI_N2649_2612T015_202.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] *Trojfázový napěťový střídač* [online]. ČR, 2005 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2005022203>

7 Obrázky

Obrázek 1 Off-line zapojení[13]

Obrázek 2 Zapojení Line-interaktive[13]

Obrázek 3 Zapojení Online [13]

Obrázek 4 Šesti pulzní tranzistorový (T) řízený usměrňovač se zpětnými diodami (D) [14]

Obrázek 5 Střídač, V_x – spínané součástky (tranzistory), V_{Rx} - zpětné diody [15]

Obrázek 6 VRLA baterie [11]

Obrázek 7 Mokrý článek (VLA) [11]

Obrázek 8 Sestava Lithiový článek, modul a rack [11]

Obrázek 9 Redundantně paralelní zapojení UPS_ [11]

Obrázek 10 UPS 93PM G2 300kW 6UPM [11]

Obrázek 11 BSAE [Příloha č. 3]

Obrázek 12 NMC baterie, počet cyklů = f (DoD) [12]

8 Tabulky

Tabulka 1 Průměrná roční cena služeb SVR za rezervovaný výkon po dobu jedné obchodní hodiny

Tabulka 2 Přehled baterií [7]

Tabulka 3 Parametry UPS 93PM G2 [11]

Tabulka 4 Parametry BSAE [Příloha č. 3]

Tabulka 5 Parametry Li-on Rack 128S1P (Samsung) [11]

Tabulka 6 Vstupní parametry PR [1]

Tabulka 7 Vstupní investice a náklady [1]

Tabulka 10 Vstupní parametry Minutové zálohy [1]

Tabulka 11 Vstupní parametry RRP [1]

9 Grafy

Graf 1 Závislost investice na kapacitě baterií, pro různé výkony

Graf 2 Porovnání NPV s investicí

Graf 3 Závislost investice na hloubce vybití

Graf 4 Porovnání investic s NPV

Graf 5 NPV v závislosti na refinancování pomocí půjčky

Graf 6 NPV v závislosti na výšce úvěru

Graf 7 Porovnání NPV s investicí pro 10MWh a nulový úvěr

Graf 8 Investice v závislosti na hloubce vybití MZ pro zátěž 100 % / 60 minut

Graf 9 MZ 10MW / 3MWh

Graf 10 MZ₁₅ 10 MW / 60 minut

Graf 11 Refinancování MZ₁₅

Graf 12 NPV a investice na DoD pro 10MW / 5MWh

Graf 13 Závislost NPV na DoD a roční využitelnosti pro UPS

Graf 14 Závislost NPV na DoD a roční využitelnosti BSAE

Graf 15 Refinancování UPS RRP 10MW / 5MWh

Graf 16 Refinancování BSAE RPP 10MW / 5MWh

Graf 17 Investiční náklady pro různé doby zálohy baterií

Graf 18 NPV v závislosti na hloubce vybití pro různé doby zálohy

10 Elektronické přílohy

Příloha č. 1 Katalogový listy 93PM G1 a G2

Příloha č. 2 Katalogový list Lithium-iontových baterií (Samsung)

Příloha č. 3 Katalogový list Bateriového uložení

Příloha č. 4 Vzorová tabulka ekonomických modelů