České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Dudka** Andrey

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

Název tématu:

Možnosti snížení nákladů na elektrickou energii v průmyslovém podniku s využitím akumulace

Pokyny pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši současných možností akumulace elektrické energie
2. Vypracujte přehled tvorby ceny elektrické energie pro malé a střední podniky
3. Analyzujte možnosti snížení nákladů na elektřinu s využitím akumulace, zejména možnost nákupu elektřiny mimo špičkové zatížení a snížení rezervovaného výkonu
4. V prostředí MATHEMATICA® vytvořte kód, který bude ekonomicky optimalizovat dimenzování a provoz akumulační jednotky pro zadaný roční průběh čtvrthodinových odběrů v uvažovaném podniku.

Seznam odborné literatury:

1. Chemišinec I.: Obchod s elektřinou. 1. vyd. Praha: Conte, c2010.
2. Cenek M. a kol.: Akumulátory od principu k praxi. FCC PUBLIC s.r.o., Praha, 2003.
3. Libra M., Poulek V.: Zdroje a využití energie. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007.
4. Libra M., Poulek V.: Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie. ILSA, Praha, 2009.
5. www.wolfram.com

Vedoucí bakalářské práce: Doc.Dr.Ing. Jan Kyncl

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Bakalářské práce

Možnosti snížení nákladů na elektrickou energii v průmyslovém podniku s využitím akumulace.

Dudka Andrey

Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management, Bakalářský

Obor: Elektrotechnika a management

22. května 2015

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat všem, kteří mě v průběhu realizace této práce podporovali. Především chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi, za jeho čas, náměty a užitečné rady, které mi věnoval při zpracovávání této práce.

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: ....

Andrey Dudka

Abstract

This thesis deals with the problems of reduction of electrical energy expences in an industrial enterprise. This work is devided into three parts. The first part presents a review of current opportunities how to accumulate electrical energy. The compendium of electricity price formation for small and enterprises was made in the second part. The last part covers the ways to reduce electricity expences, especially a possibility of buying power outside of peak loads and reduction of reserved power and a code has been created, that will economically optimize a design and an operation of the accumulation unit for a given quarter-hour annual course in the considered enterprise.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou snížení nákladů na elektrickou energii v průmyslovém podniku. Práce je rozdělena na tři části.V první části byla vytvořena rešerše současných možností akumulace elektrické energie. Ve druhé části je vypracován přehled tvorby ceny elektrické energie pro malé a střední podniky.V poslední časti jsou analyzovány možnosti snížení nákladů na elektřinu, zejména možnost nákupu elektřiny mimo špičkové zatížení a snížení rezervovaného výkonu a vytvořen kód, který pro dané dimenzování ekonomicky vyhodnocuje provoz akumulační jednotky pro zadaný roční průběh čtvrthodinových odběrů v uvažovaném podniku.

Obsah

1 Úvod 7

1.1 Proč potřebujeme akumulační systémy? 7

1.2 Hlavní potenciály akumulace 9

1.2.1 Přidružení ke zdroji 9

1.2.2 Centrální regulace 9

1.2.3 Instalace v distribuční síti 10

2 Současné možnosti akumulace elektrické energie 10

2.1 Elektrochemické akumulátory 11

2.2 Akumulace energie v superkapacitorech 14

2.3 Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách 17

2.4 Akumulace energie v mechanických akumulátorech 19

2.5 Akumulace do magnetického pole cívky 21

Kapitola 2 23

3 Přehled tvorby ceny elektrické energie pro malé a střední podniky 23

3.1 Tvorba ceny elektrické energii 23

3.2 Přehled cen a porovnání sazeb 24

3.3 Náklady na elektrickou energii 26

Kapitola 3 28

4 Analýza možnosti snížení nákladů na elektřinu s využitím akumulace 28

4.1 Motivační příklad 28

4.2 Výsledky programového kódu 29

5 Ekonomické vyhodnocení variant 30

5.1 Obecné zásady vyhodnocování ekonomické efektivnosti 30

5.2 Programový kód pro ekonomické hodnocení akumulace 33

6 Závěr 35

7 Přílohy 36

7.1 Seznam příloh 36

7.2 Seznam obrázků a tabulek 37

Kapitola 1

1 Úvod

Akumulace elektrické energie jde přeložit jako hromadění či zásoba elektrické energie nebo jako uchování energie pro pozdější spotřebu. Nejrozšířenějším akumulátorem je olověný akumulátor. Díky dopravnímu odvětví s ním většina z nás přišla do styku. Druhým nejrozšířenějším akumulátorem jsou primární baterie – tzv. suché články (např. klasické monočlánky).

1.1 Proč potřebujeme akumulační systémy?

Akumulační systémy jsou z hlediska spotřeby a výroby elektrické energie nenahraditelné. Elektřina svými fyzikálními vlastnostmi je komoditou, kterou nemůžeme jen tak hromadit. Její distribuce naráží na problém okamžité nabídky a poptávky. Přestože akumulátory, respektive skladiště energie, jsou v současné době stále ve vývoji, elektřinu umíme poměrně s dobrou účinností skladovat, praktické aplikace v průmyslovém měřítku narážejí většinou na cenu systémů.

Problematika akumulace je v současné době skloňována především s řešením v oblasti eliminace diskontinuity dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů a vychází z principů jednotlivých alternativních zdrojů energie a z problémů spojenými s časově proměnlivým výkonem těchto zdrojů. Jinak řečeno obnovitelné zdroje (dále jen OZE) v energetické přenosové soustavě vytvořily novou oblast zdrojů výroby a to převážně decentralizovaných zdrojů. Je tím myšleno to, že OZE jsou malými výrobními zdroji, kterých je víc na určité ploše.

Doposud se stavěly jenom velké výrobní zdroje a jednalo se centrální výrobu elektrické energie. Tudíž nebylo zapotřebí akumulace, protože výkon a frekvenci šlo cenrálně regulovat. Bylo to dáno tím, že elektrická energie tekla z elektrárny přes přenosovou soustavu až ke spotřebiteli jak ukazuje následující obrázek.

Obrázek 1. *Dnešní přenosová soustava, převzato z [13].*

S rozvojem OZE došlo ale k decentralizaci výroby. To znamená, že na této přímé cestě se začaly vyskytovat další výrobní zdroje. Jsou to většinou zdroje s velice proměnlivým a nestálým výkonem. Což nám vlastně dává za následek horší regulaci přenosové soustavy, její kvalitní a normované dodávky elektrické energie. Při regulaci se musí zajistit tyto podmínky: 230 V ± 10%, frekvence 50 Hz, průběh napětí sinusového tvaru, a dostatek elektrické energie k odběru. Dřív to šlo poměrně jednoduše, máme podpůrné služby s primární a sekundární regulací sítě a při velkém výpadku tercialní regulaci: to už jsou záložní zdroje.

Ale u dnešní energetiky mají tyto podpůrné služby problém. Je to udržení kvality elektrické energie. Proto se stává že dochází k přepětí/podpětí a nebo k poklesu frekvence. Tento problém by mohla řešit efektivně právě akumulace. A to nejen z technického, ale i z ekologického a ekonomického hlediska.

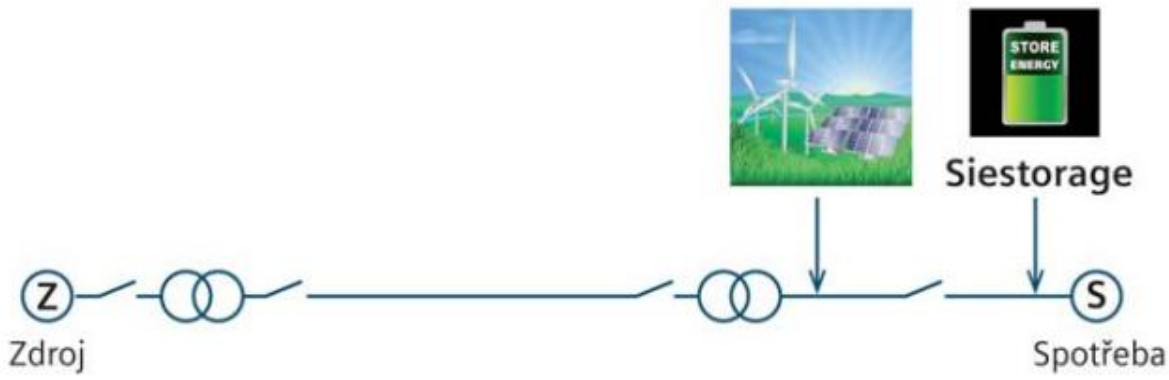
V současné době tedy potřebujeme akumulaci ze dvou důvodů:

- Optimalizace začlenění OZE do sítě

- Příprava na chytré sítě (smart grid), které by měly v budoucnu převzít funkci dnešních přenosových sítí

Z minulého odstavce jsme zjistili, že akumulace má velice velký potenciál. Ale musíme se zamyslet nad tím, jak také správně začlenit samotnou akumulaci do energetiky.

Touto otázkou se zabývají některé státy a byly zrealizovány i výzkumy jak správně začlenit akumulaci elektrické energie do energetiky především do přenosové soustavy, aby nám pomohla nejen vyřešit problém s regulací a ale aby byl celý systém i ekonomický. Nyní si představíme tři hlavní směry, jak by se mohla akumulace začlenit do energetiky a ukážeme si obrázek, jak by mohla vypadat budoucí přenosová soustava se začleněním akumulačních systémů.



Obrázek 2. *Přenosová soustava budoucnosti, převzato z [13].*

1.2 Hlavní potenciály akumulace

1.2.1 Přidružení ke zdroji

Tento směr akumulace řeší problém nestálosti výkonů fotovoltaických a větrných elektráren. Tento problém je vyřešen připojením akumulačního systému přímo u zdroje a má za úkol vyhlazovat výkon z těchto zdrojů a to při krátkodobých výpadcích a nebo při přebytcích energie.

Provozovatelé solárních či větrných elektráren by měli v budoucnosti mít povinnost zajistit, aby se výkon jejich elektráren nezměnil o více než 10 procent během 20 minut, což lze realizovat ale jedině pomocí akumulačního systému.

Nastává ale další otázka jak velká má být kapacita akumulačního systému. Touto otázkou se zabýval výzkum ve Velké Británii. A došli k závěru, že akumulační jednotky mají mít 25 až 30 procent jmenovitého výkonu zdroje aby dokázaly vyhladit dodávky proudu do sítě. Tento výsledek byl zhodnocen jako nejlepší po technicko-ekonomické stránce.

Jenže taková opatření na regulaci výkonů OZE mají zatím jenom v Japonsku a v Kalifornii. V České Republice zatím Energetický regulační úřad podobné opatření nevydal. A proto se zatím nepředpokládá s větším investováním do tohoto směru akumulace, protože investice do akumulačního systému není malá a jelikož provozovatelům zatím nehrozí žádné postihy a nemají proč investovat a zvětšovat si náklady a tím pádem zmenšovat zisky.

1.2.2 Centrální regulace

Tento směr akumulace je zatím v současné době komerčně nezajímavější. V Evropě to odpovídá podpůrným službám primární a sekundární regulace sítě. Proč bychom měli používat akumulační systémy pro regulaci frekvence?

Následně si odpovíme. Akumulační systémy mají výhodu okamžitého náběhu na plný výkon a naopak okamžitého snížení výkonu. To znamená, že tento způsob regulace frekvence je mnohem efektivnější než běžné zdroje regulující frekvenci v síti. Kdyby se využíval tento způsob řízení frekvence, mohli bychom snížit celkový objem podpůrných služeb a tím pádem můžeme snížit i celkové náklady na elektřinu.

Dnešní akumulační systémy už mají nižší investiční náklady na instalovaný výkon než dříve takže mohou být v oblasti podpůrných služeb konkurenceschopné. Nevýhodou však zůstává kapacita akumulačních systémů, které takto může regulovat pouze 15 až 30 minut. Ale v Evropě po 30 minutách už nabíhají záložní zdroje, dále jsou vyvinuty nové druhy akumulátorů, který jsou k těmto potřebám už přizpůsobeny. Takže do budoucna tato nevýhoda bude zcela odstraněna.

V USA mají velký projekt na tento směr akumulace, kde mají už dnes v provozu 20 MW akumulačních zařízení určených jenom k tomuto účelu a dalších 60 MW je v přípravě.

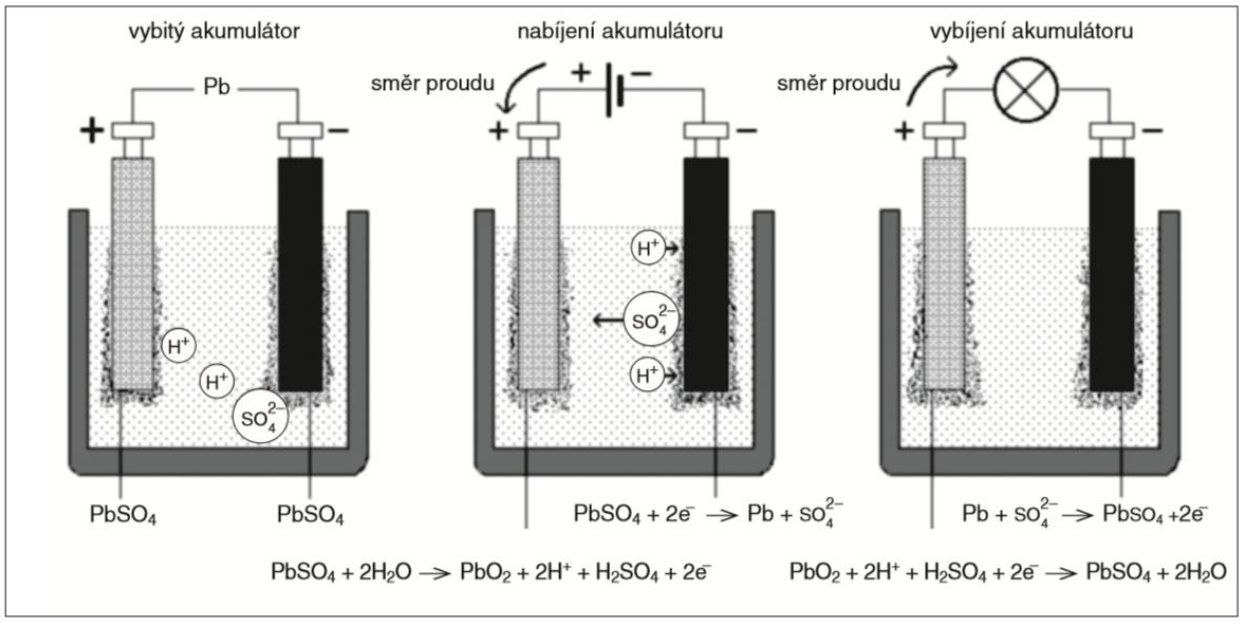
1.2.3 Instalace v distribuční síti

Posledním směrem v akumulaci se vydala firma EdF ve Velké Británii. A to tak, že spojila předešlé oba směry dohromady a vytvořila jakýsi hybridní směr. Princip činnosti tohoto směru spočívá v propojení akumulačního systému s výkonovou elektronikou regulující jalový výkon.

Z toho nám vychází kombinace vyhlazování dodávek výkonu s poskytováním podpůrných služeb. Největší výhoda tohoto třetího směru je v tom, že vlastně nepotřebujeme podpůrné služby a nemusíme stavět akumulaci u každého zdroje.

2 Současné možnosti akumulace elektrické energie

Existuje mnoho způsobů akumulace energie. Kromě použití cívek a superkapacitorů se jedná o její přeměnu na jinou formu, ve které může být efektivněji uskladněna a v případě potřeby znovu přeměněna na energii elektrickou (či podle potřeby i jinou). Tyto způsoby akumulace se liší především oblastí výkonů, při kterých jednotlivé akumulační systémy pracují, účinností, dobou, po kterou jsou schopny udržet akumulovanou energii s přijatelnými ztrátami, životností apod. Dále jsou uvedeny nejdůležitější způsoby akumulace energie.



Obrázek 3. *Schéma olověného akumulátoru, převzato z [8].*

2.1 Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátory či akumulátorové baterie akumulují energii ve formě chemické energie. Jejich výhodou je možnost mnohonásobného opětovného nabíjení, dobře zvládnutá technologie výroby, operativní použití kdekoliv, a relativně nízká cena. Ale velkou nevýhodou je citlivost na hluboké vybíjení a samovybíjení, při kterém nastávají nevratné změny na elektrodách s následkem snižování kapacity akumulátoru. Rovněž poměr akumulované energie ke hmotnosti akumulátoru činí tento způsob akumulace málo efektivním.

Vybitý akumulátor se nabíjí tak, že se reakční produkty převedou elektrickým proudem opět na původní reaktanty. Během nabíjení nabíjecím proudem z jiného zdroje se dodávaná elektrická energie mění na chemickou energii a během vybíjení se akumulovaná chemická energie opět mění na elektrickou energii dodávanou do elektrického obvodu, do kterého je akumulátor zapojen. Záporná elektroda je katodou během vybíjení a anodou během nabíjení. Při vybíjení zde reaktant oxiduje a volné elektrony předává záporné elektrodě. Kladná elektroda je anodou během vybíjení a katodou během nabíjení. Při vybíjení je zde redukován reaktant a volné elektrony reaktant přijímá z kladné elektrody.

Elektrické napětí elektrochemických článků se pohybuje podle typu akumulátorů v hodnotách 1,1 až 2 V. Pro technické účely se proto běžně využívají akumulátory sestavené sériově do baterií. Většina akumulátorů je schopna opětovného nabití ve stovkách až tisících cyklů. Jako příklad lze uvést nejběžnější olověný akumulátor s olověnými elektrodami. Elektrolytem je zředěná kyselina sírová, která v roztoku disociuje na kladné vodíkové ionty a záporné síranové ionty. Toto probíhá podle rovnic:

$$H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$$

$$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2^{e-}$$

Během vybíjení nastává na záporné elektrodě reakce:

$$PbO_2 + 2H^+ + H_2SO_4 + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4$$

Na obou elektrodách vzniká síran olovnatý. Schéma olověného akumulátoru je na obr. 3, elektromotorické napětí jednoho nabitého článku olověného akumulátoru je přibližně $U_e = 2$ V. Například v automobilové baterii $U = 12$ V pro osobní vozy je sériově zapojeno šest takových článků.

Kromě olověných akumulátorů jsou známy např. akumulátory Ni-MH, Li-ion a Li-pol, Ni-Zn, Ni-Cd, Ag-Zn. Jejich princip je analogický. Nabíječky akumulátorů běžně existují a používají se od malých jednoduchých s výkony několik wattů až po velké, řízené počítačem i se senzory teploty s výkony několik kilowattů kontrolující stav nabití i mnoho dalších parametrů. Na trhu jsou dostupné akumulátory s kapacitou až 10 000 A·h s možností až 1 200 nabíjecích

cyklů. Na obr. 8 jsou akumulátory určené pro ostrovní fotovoltaické systémy na výstavě v Miláně roku 2007.

Obrázek 4. *Akumulátory určené pro ostrovní fotovoltaické systémy, převzato z [8].*

Nedávno TESLA představila novou řadu baterií, která by měla znamenat revoluci ve způsobu používání elektřiny. A také začátek jakési revoluce přechodu z centralizované elektrické sítě k decentralizované, ale stále propojené sítě. Nové zařízení TESLA Powerwall se bude prodávat ve dvou velikostech – 7 a 10 kwh - rozdíl kromě kapacity je také v technologii, jak tyto dvě baterie pracují. Sedmikilowattová verze je verze pro denní používání, což je skvělé, když největší rival má baterii, která je vhodná spíš jen jako záložní zdroj energie, když vypadne klasická síť ať už je to vlivem čehokoliv. Větší desetikilowattová verze je designovaná pouze na 50 nabíjecích cyklů za rok, tedy spíš pro krytí jen výpadků elektřiny, nikoliv denní využívání.

Obrázek 5. *Akumulátor TESLA , převzato z [5].*

TESLA technologie mají nepochybně masivní potenciál. Ale zatím náklady a další spojené výdaje s tím převažují nad výhodami, které tato technologie přináší. Ekonomiku prostě nelze přehlížet. Ovšem s padajícími náklady na produkci baterií a měnící se regulací v USA by se nakonec mohla tato technologie vzít na milost a získat si srdce celé řady spotřebitelů. Například na Havaji, kde náklady na elektrickou energii jsou trojnásobně vyšší než v kontinentální části USA, dává technologie smysl již nyní.

Charakteristiky zařizení:

Technologie: nástěnné, dobíjecí lithium-iontová baterie s tekutým tepelnou regulaci

Modely: 10 kWh pro zálohování aplikace 3500$, 7 kWh pro každodenní aplikací cyklu.

Záruka: deset let s volitelným prodloužením o deset let.

Účinnost: 92% round-trip DC efektivita 92%

Výkon: 2.0 kW nepřetržitý, 3.3 kW peak.

Napětí: 350 - 450 V.

Proud: 5 A nominální, 8.5 A špičkový výkon.

Kompatibilita: jednofázové a třífázové rozvodné sítě kompatibilní.

Provozní teplota: od -4°F do 110°F / od -20°C až do 43°C.

Příloha: jsou určeny pro vnitřní i venkovní instalaci.

Instalace: vyžaduje instalaci vyškolený elektrikář. AC-DC měniče není součástí dodávky.

Hmotnost: 100 kg.

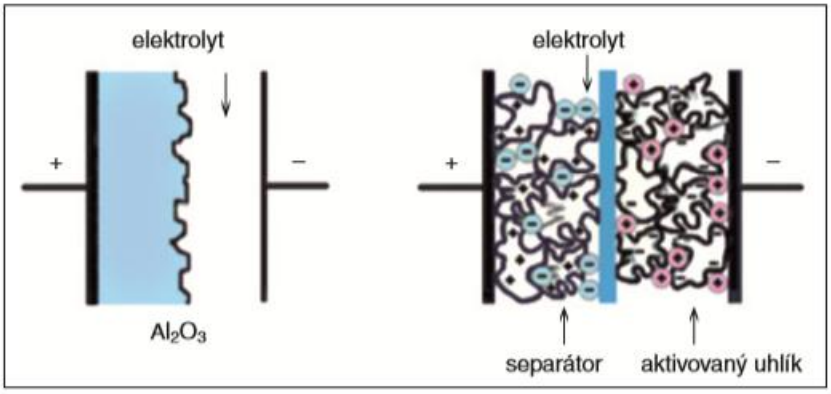
Rozměry: 52.1'' x 33.9'' x 7.1'', 130 cm x 86 cm x 18 cm.

Certifikace: UL uveden.

2.2 Akumulace energie v superkapacitorech

Akumulace energie v superkapacitorech zažívá rozvoj teprve v posledních několika letech. Energie je zde akumulována do elektrického pole nabitého kondenzátoru. Například v elektronických zařízeních se k uchování paměti při výpadku napájení používají velkokapacitní kondenzátory na napětí U = 24 V s kapacitou C = 1,2 F s displejem udávajícím okamžité napětí. Podle známého vztahu pro energii nabitého kondenzátoru pojme tento kondenzátor energii:

$W = (1/2)CU^2 \approx 345$ J



Obrázek 6. *Schéma vnitřního uspořádání superkapacitoru, převzato z [8].*

Tento vztah platí i pro superkapacitory. Využití superkapacitorů je nyní běžné především v hybridních elektromobilech a automobilech, kde jsou určeny k rychlé akumulaci energie při rekuperaci během brzdění a k rychlému dodání energie pro akceleraci. Díky dobré perspektivě je vývoji superkapacitorů věnována značná pozornost i finanční prostředky pro vývoj a výzkum. Proto můžeme očekávat další rozvoj tohoto způsobu akumulace energie.

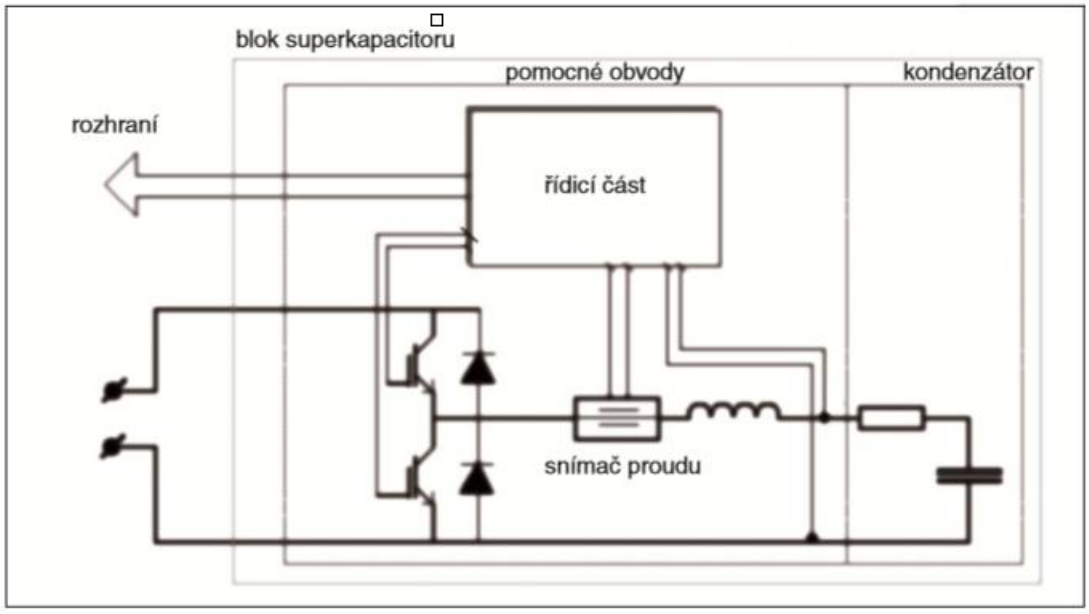
Obrázek 7. *Modul superkapacitoru, převzato z [8].*

Základem superkapacitorů je speciální materiál elektrod s velkou plošnou hustotou (práškový uhlík nanesený na hliníkovou fólii o ploše v poměru k hmotnosti asi 2 000 $m^2 \cdot g^{-1}$), čímž se zajistí kapacita v řádu tisíců faradů (viz obr. 7). Elektrody superkapacitoru jsou odděleny polypropylenovou fólií a prostor je vyplněn tekutým elektrolytem. Při použití současných elektrolytů je napětí jednoho článku zhruba 2,5 V. Pro akumulaci energie pod vyšším napětím lze články řadit sériově. Superkapacitory se vyznačují malým sériovým odporem, jsou tedy vhodné pro rychlé dodávky i odběr energie. Špičkové výkony při uvolnění energie ze superkapacitoru v poměru k jeho hmotnosti jsou v řádech kilowattů na kilogram ($kW \cdot kg^{-1}$). Na obr. 8 je uvedeno porovnání parametrů elektrochemického akumulátoru elektrické energie, kondenzátoru a superkapacitoru . V současné době je na trhu několik typů superkapacitorů s napětím na článek 2,7 V a kapacitami od 2 do 3 000 F.
Vzhledem k malému vnitřnímu odporu tohoto zdroje, který je řádově v jednotkách miliohmů, je vhodné při jeho nabíjení používat napěťové měniče, které jsou schopny omezit velký

nabíjecí proud. Tyto měniče mohou řídit rovněž vybíjení superkapacitoru a plnit dodatkové funkce, jako např. funkci elektronické pojistky proti přetížení či přepětí, nebo měřit nabíjecí a vybíjecí proud. Blokové schéma pomocného obvodu superkapacitoru pro řízení nabíjecího proudu a udržování napětí je na obr. 9.

Parametr	Akumulátor (olověný trakční)	Kondenzátor (elektrolytický velkokapacitní)	Superkapacitor (Maxwell HC)
hustota energie ($W \cdot h \cdot kg^{-1}$)	100	0,2	10
měrný výkon ($kW \cdot kg^{-1}$)	1	500	10
doba nabíjení/vybíjení (s)	18 000	0,001	10
životnost (počet cyklů)	1 000	1 000 000	1 000 000

Obrázek 8. *Porovnání parametrů elektrochemického akumulátoru elektrické energie, kondenzátoru a superkapacitoru (zdroj: firemní dokumentace ECOM, s. r. o.), převzato z [8].*



Obrázek 9. *Blokové schéma pomocného obvodu superkapacitoru pro řízení nabíjecího proudu a udržování napětí, převzato z [8].*

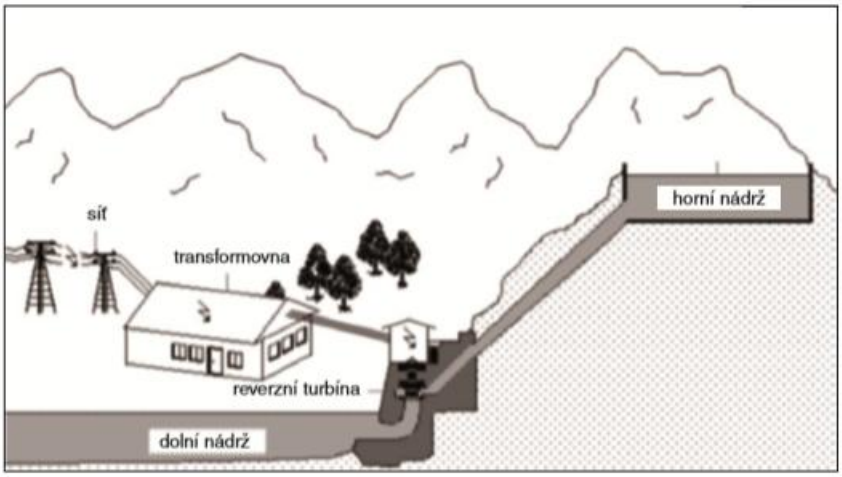
Výhodou superkapacitorů je poměrně vysoká účinnost akumulace (až 95 %). Nevýhodou je závislost napětí na uloženém náboji, což lze minimalizovat použitím napěťových měničů. Rovněž cena je zatím poměrně vysoká, ale s objemem zavedení v průmyslu a s nárůstem sériovosti výroby lze předpokládat její pokles.
Superkapacitory se jeví vhodné pro použití v oblasti fotovoltaiky, především jako vyrovnávací akumulátory elektrické energie pro menší systémy spojené se sítí, kde mohou kompenzovat krátkodobé výkyvy výkonu. Jejich použití se rovněž předpokládá v ostrovních fotovoltaických systémech, kde by mohly časem konkurovat klasickým elektrochemickým akumulátorům.

2.3 Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách

Další možností akumulace energie je princip přečerpávacích elektráren. Je-li jedna nádrž umístěna výše než druhá a jsou-li oba rezervoáry propojeny potrubím s reverzní turbínou, je možné v době přebytku energie čerpat vodu do horní nádrže.

Voda tak zvyšuje svou potenciální energii o $\Delta W_p = mg \cdot \Delta h$. V době nedostatku energie může voda naopak tuto energii předávat turbíně a s ní spojenému elektrickému generátoru. Lze tak vyrovnávat nerovnoměrný odběr energie z rozvodné sítě ve špičkách a mimo ně. Vodní elektrárna může najet na plný výkon během krátké doby – přibližně 100 s.

České velké přečerpávací elektrárny byly konstruovány hlavně pro akumulaci přebytku elektrického výkonu z jaderných elektráren v mimošpičkové době, bylo by však možné je využít i k akumulaci energie z fotovoltaických a větrných elektráren. Rozměry nádrží, turbíny i generátoru je třeba dimenzovat podle plánovaného využívání. Schéma malé přečerpávací elektrárny je na obr. 10. V ČR jsou tři velké přečerpávací elektrárny ČEZ a stavba dalších je plánována (nicméně bude problematická z mnoha důvodů). Největší z nich je přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně. Na obr. 11 je vidět víko turbíny a dno elektrického generátoru ve strojovně elektrárny a na obr. 12 je unikátní záběr vnitřku přivaděče, kde voda vstupuje do rotoru Francisovy turbíny.



Obrázek 10. *Schéma malé přečerpávací elektrárny, převzato z [8].*

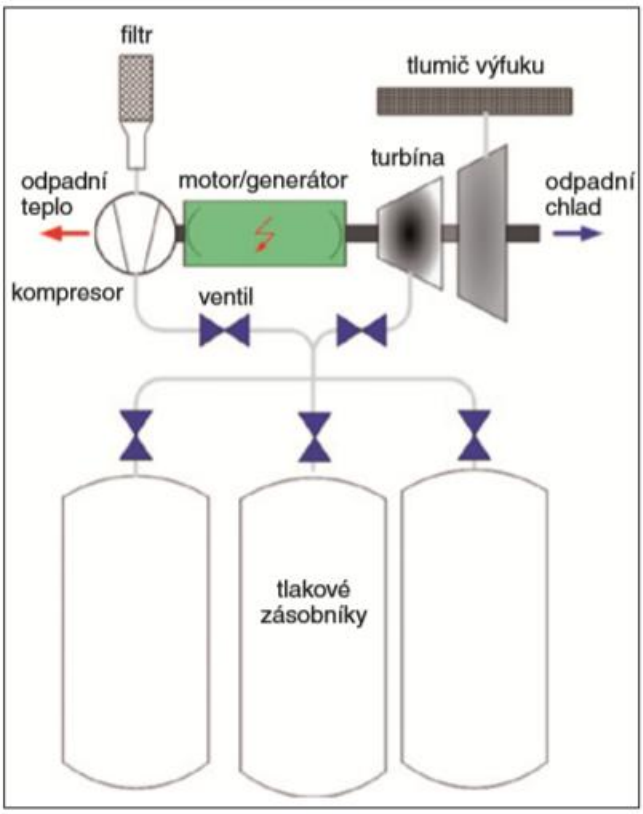
Na analogickém principu jako přečerpávací elektrárny pracují vzduchové elektrárny s tlakovými zásobníky. V tomto případě je přebytečnou elektrickou energií poháněn kompresor, který stlačuje vzduch do objemných a dobře utěsněných prostor. Mohou to být jak přírodní kaverny, např. po vytěžené ropě, tak i umělé zásobníky.

Obrázek 11. *Víko turbíny a dno elektrického generátoru (Dlouhé Stráně), převzato z [8].*

V případě potřeby elektrické energie se stlačený vzduch přivádí na plynovou turbínu, která pohání soustrojí s generátorem elektrické energie. Schéma takové elektrárny je na obr. 13.

Obrázek 12. *Vnitřek přivaděče k Francisově turbíně (Dlouhé Stráně), převzato z [8].*

Během provozu při stlačování vzduchu se kompresor ohřívá, naopak při expanzi se ochlazuje. Odpadní teplo může být rovněž využito, nicméně využotí odpadního tepla je většinou problematické.



Obrázek 13. *Schéma elektrárny s tlakovými zásobníky, převzato z [8].*

2.4 Akumulace energie v mechanických akumulátorech

Mechanické akumulátory akumulují energii v podobě kinetické energie. K tomuto účelu se používají setrvačníky. Využití setrvačníků k akumulaci energie je časté ve spalovacích motorech pro vyrovnávání nerovnoměrných sil. V praxi byl testován autobus poháněný energií akumulovanou ve velkém setrvačníku. Některé firmy (např. Phoenix-Zeppelin) nabízejí systémy záložního napájení (UPS) s mechanickým akumulátorem energie. Pro kinetickou energii akumulovanou v setrvačníku platí:

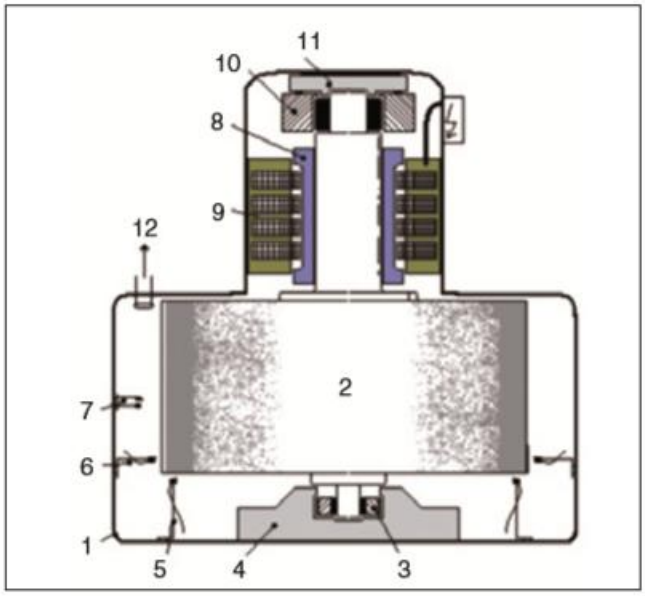
$$E_k = (1/2)J\omega^2$$

Kde

J je moment setrvačnosti,
ω úhlová rychlost setrvačníku.

Používají se dva typy setrvačníkových akumulátorů. Jeden typ využívá setrvačníky velké hmotnosti uspořádané do takového tvaru, aby bylo dosaženo co největšího momentu setrvačnosti. Pracují při otáčkách do 8 000 min^{-1}. Druhý typ naopak používá lehčí setrvačníky pracující při vysokých otáčkách až 100 000 min^{-1}. Pro tak vysoké otáčky musí být rotor uložen ve vakuu, aby se zamezilo tření o vzduch. Často bývá uložen ještě v magnetických

ložiskách s magnetickou levitací. Tyto setrvačníky jsou dílem špičkové techniky, kterou dokáže vyrobit jen několik firem na světě, a tomu odpovídá i jejich cena. Proto se zatím používají jen ve velmi speciálních aplikacích. Schéma takového setrvačníku (motor/generátor) je na obrázku 14.



Obrázek 14. *Schéma setrvačníkového akumulátoru energie, převzato z [8].*

1 - kryt setrvačníku s vakuem uvnitř, 2 - kompozitové těleso setrvačníku, 3 -víceosé magnetické uložení, 4 - mechanické uložení pro případ defektu magnetického uložení, 5 - čidla vyosení v horizontálním směru, 6 - čidla vyosení ve vertikálním směru, 7 - optický snímač otáček, 8 - permanentní magnety, 9 -elektrické vinutí (motor/generátor), 10 - víceosé magnetické uložení, 11- mechanické uložení pro případ selhaní magnetického uložení, 12 - příruba pro čerpání vývěvou.

K roztáčení (dodávání energie) a brzdění (odběr energie) jsou používány elektromagnety. Vysokootáčkové setrvačníkové akumulátory využívá pro akumulaci energie např. NASA ve vesmírném programu, kde je využit i gyroskopický efekt setrvačníku pro polohovou stabilizaci (obr. 15).

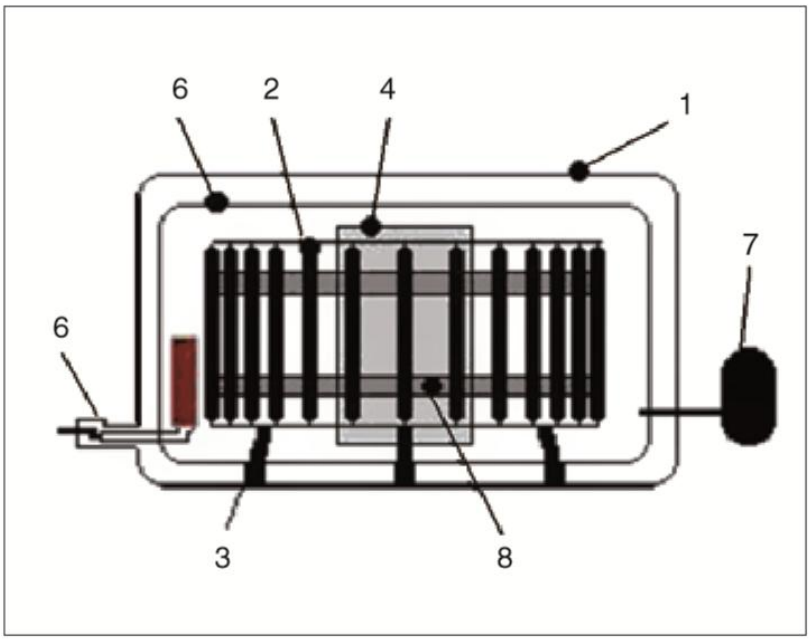
Obrázek 15. *Vysokootáčkový setrvačníkový akumulátor energie (foto NASA), převzato z [8].*

2.5 Akumulace do magnetického pole cívky

První pokusy s akumulací elektrické energie do supravodivých cívek začaly ve Spojených státech amerických v 80. letech 20. století. Princip akumulace energie do magnetického pole je založen na stejnosměrném elektrickém proudu protékajícím cívkou. Cívka tohoto akumulátoru musí být konstruována pro velké proudy ze supravodivého materiálu, tj. s nulovým odporem vodiče. Jinak by se elektrická energie na odporu cívky transformovala na teplo. Energii akumulovanou do cívky o indukčnosti L protékané proudem I lze vyjádřit vztahem:

$$W = (1/2)LI^2$$

Cívka musí mít odpovídající tepelnou izolaci. Pro zachování supravodivého stavu cívky je nutné udržovat cívku na nízké teplotě, obyčejně bývá chlazena kapalným héliem.



Obrázek 16. *Schéma akumulace energie v magnetickém poli supravodivé cívky, převzato z [8].*

Na obr. 16 je schéma akumulátoru energie se supravodivou cívkou. V současné době odborníci pracují na vývoji systému se supravodivou cívkou se schopností akumulovat až 1 800 MJ energie.

Otázka akumulace energie je důležitá zejména pro její využití v terénu daleko od rozvodných sítí a u samotných rozvodných sítí k vyrovnání nerovnoměrného odběru během dne. Vývoj se těžko odhaduje, lze ale předpokládat, že všechny popsané způsoby akumulace energie budou v budoucnu používány a dále zdokonalovány.

Kapitola 2

3 Přehled tvorby ceny elektrické energie pro malé a střední podniky

3.1 Tvorba ceny elektrické energii

Cena na elektrickou energii je závislá na více faktorech, než u většiny běžného zboží. Její výše je totiž, do určité míry, regulována státem. Důvodem je zajištění přijatelné ceny pro obyvatele, a koneckonců i průmyslové podniky. Obyčejně cena elektřiny tvořena dvěma částmi:

- Regulované složky
- Neregulovaná složka

Regulovanými složkami jsou systémové služby, cena za distribuci a skladování elektřiny, příspěvek na podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Ty složky stanovuje Energetický regulační úřad (ERÚ), který je provozován státem. Cena těchto složek je prakticky stejná pro všechny konečné odběratele. Za zmínku stojí to, že regulovaná cena za distribuci, dopravu i skladování ochraňuje zdravé konkurenční prostředí na trhu s elektřinou. Prodejci elektřiny, kteří nemají vlastní distribuční síť, tak mohou využívat síť cizí, aniž by byli jejím majitelem znevýhodňováni. To jim umožňuje nabídnout konkurenceschopnou cenu konečnému spotřebiteli.

Neregulovaná složka reprezentuje tu část ceny, která vyjadřuje skutečně spotřebovanou energii (silovou elektřinu). Výši této ceny stanovují její dodavatelé a zahrnuje náklady na výrobu/pořízení elektřiny, marži obchodníků a další složky, které se mohou u jednotlivých dodavatelů lišit. Celkovou výši neregulované složky ovlivňuje samotný trh, ke kterému patří i energetická burza.

Celková platba za elektřinu se skládá ze tří částí:

- Platba za dodávku elektřiny. Spotřeba elektřiny v odběrném místě. Ceny stanovuje dodavatel elektřiny ceníkem dodávky elektřiny.
- Platba za distribuci elektřiny. Distribuce elektřiny od výrobce do odběrného místa. Ceny stanovuje Energetický regulační úřad v cenových rozhodnutích.

- Platba za související služby. Platby za systémové služby, za činnost operátora trhu s elektřinou a na podporu výkupu elektřiny z OZE, KVET a DZ. Ceny stanovuje Energetický regulační úřad v cenových rozhodnutích.

3.2 Přehled cen a porovnání sazeb

Pro náš podnik máme možnost sazeb ***C 25d***, ***C 26d*** a ***C 27d*** společnosti EON které nám vyhovují. Řešíme, které jsou možné a porovnáme jejich výhodnost.

Srovnání sazeb C 25d a C 26d

Hodnota hlavního jističe	Hodnota roční spotřeby, do které je výhodnější sazba C 25d [MWh]
do 3x10 A do 1x25 A včetně	6,143
nad 3x10 A do 3x16 A včetně	9,816
nad 3x16 A do 3x20 A včetně	12,285
nad 3x20 A do 3x25 A včetně	15,357
nad 3x25 A do 3x32 A včetně	19,663
nad 3x32 A do 3x40 A včetně	24,571
nad 3x40 A do 3x50 A včetně	30,714
nad 3x50 A do 3x63 A včetně	38,723
nad 3x63 A do 3x80 A včetně	49,142
nad 3x80 A do 3x100 A včetně	61,427
nad 3x100 A do 3x125 A včetně	76,784
nad 3x125 A do 3x160 A včetně	98,284

Pozn.: Výpočet proveden pro poměr celkové spotřeby v NT a VT v poměru 50 : 50

Obrázek 17. *Tabulka srovnání sazeb C25d a C26d, převzato z [3].*

Přehled cen dvoutarifových sazeb ***C 25d***, ***C 26d***:

Pevná cena distribuce elektřiny se skládá:

- z měsíčního platu za příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem.

- z platu za distribuované množství elektřiny ve vysokém a nízkém tarifu (VT a NT).

Sazba C 25d je sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu (8 hodin denně) vhodná pro odběrná místa s elektrickými akumulačními spotřebiči.

Sazba C 26d je sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu vhodná pro odběrná místa s vyšší spotřebou vybavena elektrickými akumulačními spotřebiči pro vytápění objektu.

Sazba C 27d je sazba s operativním řízením doby platnosti pro vlastníky a uživatele elektromobilu.

Podmínky přiznání sazeb ***C 25d*** nebo ***C 26d***:

- V odběrném místě musí být řádně instalován u sazby ***C 25d*** el. akumulační spotřebič pro vytápění objektu nebo ohřev teplé vody, u sazby ***C 26d*** el. akumulační spotřebiče pro vytápění objektu.

- Odběratel zajistí technické blokování elektrických akumulačních spotřebičů v dobách platnosti vysokého tarifu.

- U sazby ***C 26d*** musí součtový inst. příkon akumulačních el. spotřebičů činit nejméně 55 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem v odběrném místě, nebo musí odběratel prokázat, že výkon těchto spotřebičů odpovídá tepelným ztrátám vytápěného objektu. U této podmínky může distributor po zvážení podmínek a charakteru odběru tuto sazbu přidělit.

Podmínky přiznání sazeb ***C 27d***:

- Sazba ***C 27d*** je určena pro odběrná místa, u nichž žadatel věrohodným způsobem doloží vlastnické právo, případně užívací právo (leasing, apod.) k elektromobilu.

- Nabíjecí zařízení musí být napájeno samostatným přívodem a měřeno samostatným měřicím zařízením.

Vymezení doby platností NT:

- Časové vymezení doby platnosti nízkého tarifu je prováděno distributorem v celkové délce minimálně 8 hodin denně. V průběhu dne může distributor dobu platnosti nízkého tarifu operativně měnit.

- Časové vymezení těchto pásem nemusí být stejné pro všechny odběratele a jednotlivé dny a ani nemusí být v souvislé délce.

- Pokud je osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu rozděleno během dne do více časových úseků, nejvíce však do tří, žádný z nich nesmí být kratší než jedna hodina. Na žádost odběratele rozdělí distributor 8 hodinové pásmo platnosti nízkého tarifu do dvou

úseků, z nichž žádný nesmí být kratší než tři hodiny. Odběratel může o změnu požádat pouze 1krát za 12 měsíců, pokud se s distributorem nedohodnou jinak.

3.3 Náklady na elektrickou energii

Podle tarifových cen spočítáme náklady na elektřinu:

Ceník dodávky elektřiny E.ON Energie, a.s., pro zákazníky kategorie C – Podnikatelé, Produktová řada StandardPower, distribuční území E.ON Distribuce, a.s.								
Produkt dodávky elekřiny			Accu (drívé také "E.ON Standart PowerAku")					
Cena za dodávku elekřiny	ve VT		Kč/MWh	**1961**		2046		01
	ve NT		Kč/MWh	**1072**		1297		02
	stálý měsíční plat		Kč/MWh	**58**		70		03
Daň z elektžiny	sazba daně z elektřiny		Kč/MWh	**28,30**		34,24		04
	Sazba distibuce			C 25d	C 27d	C 26d		
	Cena za distribuované množství elektřiny							
	ve VT		Kč/MWh	**1860,77**	2251,53	**994,46**	1203,30	05
	v NT		Kč/MWh	**71,54**	86,56	**71,54**	86,56	06
Měsíční plat v Kč za příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem								
Cena za distribuci elektřiny	jistič do 3x10 do 1x25A		Kč/měsíc	**111**	134	**315**	381	07
	jistič do 3x16A včetně		Kč/měsíc	**178**	215	**504**	610	08
	jistič do 3x20A včetně		Kč/měsíc	**222**	269	**630**	762	09
	jistič do 3x25A včetně		Kč/měsíc	**278**	336	**788**	953	10
	jistič do 3x32A včetně		Kč/měsíc	**355**	430	**1008**	1220	11
	jistič do 3x40A včetně		Kč/měsíc	**444**	537	**1260**	1525	12
	jistič do 3x50A včetně		Kč/měsíc	**555**	672	**1575**	1906	13
	jistič do 3x63A včetně		Kč/měsíc	**699**	846	**1985**	2402	14
	jistič do 3x80A včetně		Kč/měsíc	**888**	1074	**2520**	3049	15
	jistič do 3x100A včetně		Kč/měsíc	**1110**	1343	**3150**	3812	16
	jistič do 3x125A včetně		Kč/měsíc	**1388**	1679	**3938**	4765	17
	jistič do 3x160A včetně		Kč/měsíc	**1776**	2149	**5040**	6098	18
	jistič nad 3x160A za A		Kč za 1 A/měsíc	**11,10**	13,43	**31,50**	38,12	19
	jistič nad 1x25A za A		Kč za 1 A/měsíc	**3,70**	4,48	**10,50**	12,71	20
Ceny za související služby	systémové služby		Kč/MWh	**119,25**	144,29	**119,25**	144,29	21
	podpora výkupu el. z OZE, KVET a DZ		Kč/MWh	**495**	598,95	**495**	598,95	22
	činnost OTE		Kč/MWh	**7,55**	9,14	**7,55**	9,14	23
Celková jednotková cena elektřiny	ve VT		Kč/MWh	**4021,87**	5084,26	**3335,56**	4036,03	24
	v NT		Kč/MWh	**1793,64**	2170,3	**1793,64**	2170,30	25
	měsíční platy		Kč/měsíc	**58 + plat dle příslušné hodnoty jističe bez DPH (70 + plat dle příslušné hodnoty jističe s DPH)**				26

Obrázek 18. *Ceník dodávky elektčiny sazeb C 25d, C 26d a C 27d, převzato z [3].*

Uvedené ceny zahrnují ceny za distribuci a související služby dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2013 a č. 6/2013 ze dne 27. listopadu 2013 a dále ceny za dodávku elektřiny platné od 25. 8. 2014. Tučně uvedené ceny jsou bez DPH. Ostatní ceny jsou včetně DPH 21 % a jsou pouze orientační.

Výpočet celkové roční platby za elektřinu:

Platba za spotřebu elektřiny ve VT (roční spotřeba MWh **ve VT** × cena z řádku č. 24)
+ platba za spotřebu elektřiny v NT (roční spotřeba MWh **v NT** × cena z řádku č. 25)
+ měsíční platy (počet měsíců × cena z řádku č. 26)

Výpočet celkové jednotkové ceny (ř. 24 až 26)

- za spotřebu 1 MWh **ve VT** (ř. č. 24) = (ř. č. 01 + 04 + 05 + 21 + 22 + 23)
- za spotřebu 1 MWh **v NT** (ř. č. 25) = (ř. č. 02 + 04 + 06 + 21 + 22 + 23)
- výše **měsíčních platů** (ř. č. 26) = (ř. č. 03 + jeden z ř. 07 až 20 dle hodnoty jističe)

Vysvětlivky a poznámky:

VT - vysoký tarif, **NT** - nízký tarif, **A** - Ampér, **OZE** - obnovitelné zdroje,
KVET - kombinovaná výroba elektřiny a tepla, **DZ** - druhotné zdroje,
OTE - Operátor trhu s elektřinou, a.s.,
MWh - Megawatthodina (1 MWh = 1000 kWh)

Možnost akumulovat elektřinu a akumulovanou použít ve vlastním podniku jsem konzultoval s jedním expertem, bývalým pracovníkem jedné distribuční společnosti a s pracovníky jedné konzultační firmy z oblasti elektroenergetiky.
Získané informace se různí: podle jednoho názoru umožňuje akumulaci pouze sazba ***C 27d***, přičemž ovšem s přihlášením se k nabíjení elektromobilů (které pak nebudou zakoupeny).
Sazba ***C 26d*** v podstatě nepřichází v úvahu: akumulací se zde rozumí akumulace pro účely vytápění.
Podle pracovníků konzultační firmy, podle jejich sdělení na základě konzultací s právníky, je možno akumulaci využít sazeb ***C 25d*** i sazby ***C 27d***, přičemž je ovšem nutno technickými prostředky zajistit, aby odběrné místo bylo stále čistým odběratelem elektrické energie (nelze dodávat energii do sítě).

Jelikož akumulace energie je v současnosti často diskutované téma a např. firma TESLA představila akumulační bateriové systémy pro domácnosti i průmysl, můžeme předpokládat, že právní problémy budou vyřešeny.

Další možností pro odběratele je přechod (tam kde je to možné) na odběr z hladiny VN, kde jsou obecně větší možnosti smluvní úpravy vztahů.

Kapitola 3

4 Analýza možnosti snížení nákladů na elektřinu s využitím akumulace

4.1 Motivační příklad

Pro účely této práce byla za podmínky nezveřejnění specifikace odběrného místa získána data o spotřebě elektřiny. Jedná se o čtvrthodinová zatížení, tedy o průměrné výkony s časovým krokem 15 minut.
Tato data budeme používat ve všech uvažovaných variantách.

Rozložení výkonu v čase pro zvolený měsíc ukazuje graf na Obr. 19.

Máme k dispozici čtvrthodinová zatížení. Každá tečka v grafu je takovým zatížením. Z grafu vidět, že pro uvažovaný podnik se odběry mění a nejsou konstantní. Podnik odebírá energie jak v čase platnosti vysokého tarifu, tak i v čase nízkého. Z obrázku jsou patrná nižší zatížení v noci a o weekendech. Podnik bude platit podle odběru a navíc ještě se v budoucnosti bude platit příspěvek na obnovitelné zdroje podle velikosti jističe. Velikost našeho jističe se daná největším výkonem.

$$I = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U},$$

bereme ovšem vždy hodnotu o něco větší (nutná rezerva výkonu).

Budeme uvažovat situaci připojení na hladině NN a to z hlediska nákladů na „cenu za distribuované množství“. Konkrétní cena silové elektřiny závisí na zvoleném dodavateli a cena za distribuované množství je na ní nezávislá.

Vypočteme pro sazby ***C 25d*** a ***C 27d*** cenu za distribuované množství a za distribuci (první podle odebraného množství v NT a VT a druhé podle velikosti jističe určené podle maximálního výkonu).

Jako první modelový případ uvážíme současnou situaci (na Obr. 19 tečky ukazující měnící se čtvrthodinový výkon) a modelovou situaci, kdy pomocí akumulace snížíme potřebnou velikost jističe na minimum, tady pro rovnoměrné zatížení. Jde jen o ukázku, jak se změní složky platby, dimenzování akumulačního zařízení v tuto chvíli neřešíme.
V tomto výpočtu také nezahrnujeme účinnost akumulace, jde jen o získání názoru na efektivitu změny rozložení spotřebované energie ve VT a NT a platbě za distribuci elektřiny.

4.2 Výsledky programového kódu

Vezmeme ceník sazby ***C 27d*** pro náš podnik. Podle výkonu spočteme proud:

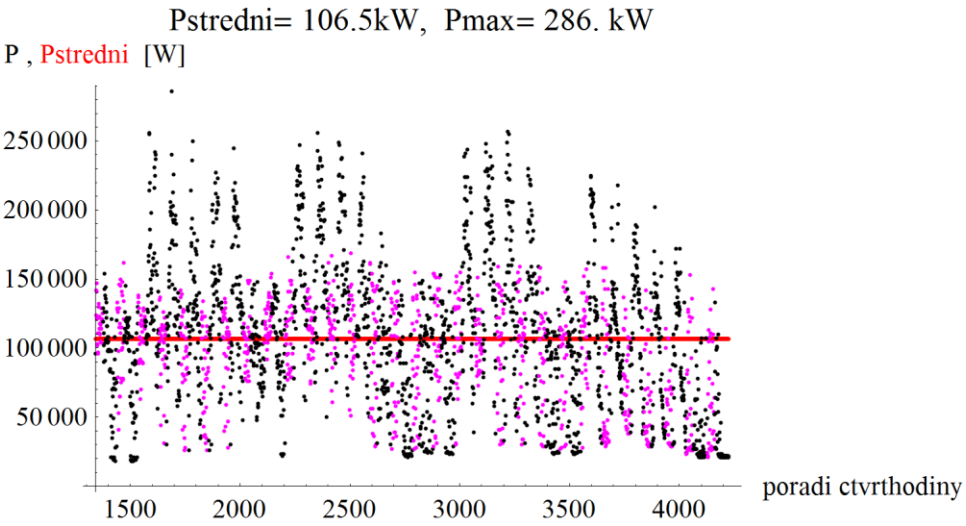
Minimální proud jističe bude 412, 805 A (viz. programový kód)

Za dobu odběru bereme měsíc, protože minimálně se platí měsíčně. Spočteme kolik budeme měsíčně platit za jistič: stalá platba za měsíc bude 5,640 Kč (viz. kód).

Ve VT za energii platíme měsíčně 120,941 Kč.
V NT za energii platíme měsíčně 1989 Kč.
Celkem za měsíc zaplatíme 128571 Kč.

Řešení ukazuje, že minimální proud jističe je 412A. Aby byla nějaká rezerva, uvažujeme jistič, s vypínacím proudem 420A.

Červená čára ukazuje střední odběr v kW. Ve VT platíme měsíčně 115,179 Kč, v NT bychom platili 2212,87 Kč; celkem za měsíc zaplatíme 119,168 Kč; stalá platba za měsíc činí 2149 Kč (viz. programový kód). Pokud porovnáme tyto dvě situace, přijdeme k tomu, že jsme ušetřili 9029,89 Kč (viz. programový kód).



Obrázek 19. *Odběry výkonu.*

Máme jistič nad 3x160 A a spočteme kolik máme spotřebované energie ve našich tarifech: v NT spotřebováno 8.27235×10^{10} J, ve VT spotřebováno 1.93374×10^{10} J (viz. programový kód).

Pokud budeme odebírat energii při středním výkonu, dostaneme v NT 9.2032×10^{10} J a ve VT 1.8416×10^{11} J (viz. programový kód).

Vezmeme ceník sazby ***C 25d*** pro náš podnik. Podle výkonu spočteme proud:

Minimalní proud jističe bude 412, 805 A (viz. programový kód)

Stalá platba za měsíc bude 4,662 Kč (viz. kód).

Ve VT za energii platíme měsíčně 99,951 Kč.
V NT za energii platíme měsíčně 1643 Kč.
Celkem za měsíc zaplatíme 106,257 Kč.

Ve VT platíme měsíčně 95,189 Kč.
V NT platíme 1828,89 Kč.
Celkem za měsíc 98,794 Kč.
Stálá platba za měsíc činí 1776 Kč.
Při porovnání situace přijdeme k tomu, že ušetřili jsme 7463,1 Kč (viz. programový kód).

5 Ekonomické vyhodnocení variant

5.1 Obecné zásady vyhodnocování ekonomické efektivnosti

Hodnocení bude provedeno z pohledu projektu. V případě pohledu projektu se posuzuje efektivnost celkových vložených finančních zdrojů a nezkoumá se způsob jejich zajištění a ani se nezahrnuje vliv daní na ekonomický efekt.

Ekonomické hodnocení variant se provádí na bázi těchto kriteriálních ukazatelů:

- prostá doba návratnosti
- reálná doba návratnosti
- čistá současná hodnota toku hotovosti
- vnitřní výnosové procento.

Cash flow (tok hotovosti):

CF = Úspory (U) – Náklady spojené s dosažením úspor (N)

Úspory (Ú) se stanoví jako rozdíl ročních provozních nákladů před a po realizaci opatření včetně případných změn tržeb za energii, přičemž jejich výše se opakuje po dobu trvání realizovaného opatření.

Kriteriální ukazatel současné hodnoty čistého toku hotovosti se stanoví pomocí vztahu:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_h-1} (U_t - IN_t).(1+r)^{-t}$$

Vnitřní výnosové procento se obecně vypočte ze vztahu:

$$\sum_{t=0}^{T_h-1} CF_t.(1+IRR)^{-t} = 0$$

Prostá doba návratnosti:

$$T_s = \frac{IN}{CF}$$

Reálná doba návratnosti investice se vypočte z rovnice:

$$\sum_{t=0}^{Tsd-1} CF_t.(1+r)^{-t} - IN = 0$$

Vnitřní výnosové procento se vypočte z podmínky

$$\sum_{t=0}^{Th-1} CF_t.(1+IRR)^{-t} - IN = 0$$

Význam použitých symbolů je následující:

CF - roční přínosy projektu (cash flow, změna peněžních toků po realizaci projektu)
IN - investiční náklady celkem , které je nutné vynaložit na realizaci projektu
r - diskontní míra
T_h - doba hodnocení (životnosti projektu)
T_{sd} - reálná doba návratnosti investice
IRR (internal rate of return) – vnitřní výnosové procento.

- *Investiční náklady* – zahrnují všechny náklady kapitálového charakteru, které je nezbytné vynaložit za účelem opatření nových energetických zařízení a zabezpečení jejich provozu. Mají charakter jednorázových nákladů a jsou dlouhodobě vázány. Jedná se zejména o náklady spojené s koupí a montáží technologických zařízení a stavebních konstrukcí a zpracování projektové dokumentace.

- *Provozní náklady* - zahrnují náklady spojené s provozem systému a obsahují zejména spotřebu přímého a nepřímého materiálu, paliv a energie, služby zahrnující zejména náklady na opravy a údržbu, dopravu a spoje atd., osobní náklady tvořené souhrnem mezd, pojištění, odměn a ostatních osobních nákladů, ostatní náklady, které zahrnují zejména daně a poplatky a ostatní provozní náklady.

- *Čistá současná hodnota* – reprezentuje diskontovaný součet rozdílů příjmů a výdajů v jednotlivých letech hodnoceného období navrženého projektu úspor energie. Přepočet se provádí pomocí diskontního činitele za účelem přepočtu na současnou hodnotu. NPV se vyjadřuje za účelem stanovení ekonomické efektivnosti jednak celkového kapitálu použitého k financování úsporného projektu bez ohledu na poskytovatele kapitálu.

- *Diskontní činitel (úročitel) (1+r)* – slouží k přepočtu různodobých příjmů a výdajů ke stejnému časovému okamžiku a jejich vzájemnému porovnání. Výše diskontu r se v zásadě odvíjí buď od nákladovosti kapitálu nebo od očekávané míry výnosnosti.

Ve výpočtech se přínosy uvažují v cenové úrovni roku realizace projektu, uživat může zadat předpokládané roční zvýšení distribučních poplatků.

Vstupné cenové údaje pro vyhodnocení ekonomické efektivnost akumulace

V následujícím vycházím zejména z údajů dostupných na
http://www.sandia.gov/ess/publications/SAND2013-5131.pdf
a z údajů sdělených pracovníky konzultační firmy v elektroenergetice.

Levelized Cost of Energy (LCOE) je měřítkem zdroje elektřiny, který se snaží porovnat různé způsoby výroby elektřiny na srovnatelném základě. Je to ekonomické posouzení průměrné celkové náklady na vybudování a provoz k výrobě elektřiny, aktiva během jeho životnosti děleno celkovým výkonem aktiva nad touto dobou života.
SIC - Specific Investment Cost

Typ batarei	SIC: USD/kW	LCOE: USD/MWh
Přečerpávací elektrárna	2200	175
Stlačený vzduch	4400	120
Baterie NaS	5400	270
Baterie SMH (Sodium-Metal Halid)	6700	600
Vanadium Redox Batteries	7000	510
Baterie Fe-Cr	3200	170
Baterie Zn-Br	4200	210
Olověné akumulátory	3900	220
Setrvačníky	4200	375
Baterie LiON	7000	1000
Tesla baterie	428	120

Obrázek 20. *Ceny za batarei, převzato z [7].*

5.2 Programový kód pro ekonomické hodnocení akumulace

V příloze je uveden výpis kódu vytvořeného pro hodnocení možností nasazení akumulačních prostředků uvedených v předcházející kapitole. Pro zajímavost je hodnocena i varianta přečerpávací elektrárny, přestože je pro uvažovaný maximální výkon a v situaci ČR věcně nesmyslná.
Program vyhodnocuje ekonomické dopady nasazení akumulace, hodnotí konkrétní případ jako projekt, tedy uvažuje ostatní podmínky nezměněné.

Jelikož vstupní údaje SIC a LCOE jsou v USD/kW resp. v USD/MWh, je třeba zadat uvažovaný kurs USD vůči Kč.

Investiční náklady jsou vypočítány jako součin uvažovaného výkonu nasazené akumulace v kW a hodnoty SIC.

Veškeré roční náklady na provoz akumulačního systému, zejména výměny akumulátorů nebo částí a energie ztracené v procesu nabíjení a vybíjení jsou počítány ze součinu energie prošlé akumulačním systémem tam a zpět v MWh hodnoty LCOE. Tento přístup je zjednodušený (například právě ocenění ztrát energie zahrnuté v LCOE je jistě závislé na ceně elektrické energie, kterou ten, kdo LCOE určoval, použil). Při studiu problematiky se však ukázalo, že získání přesnějších či jistějších údajů je velmi obtížné a navíc se akumulační systémy dynamicky rozvíjejí a přesné údaje staré i jen několik let jsou zastaralé.
Navíc se při výpočtech ukázalo, že pro uvažované tarify C25d a C27d se instalace žádného z uvažovaných systémů nevyplatí ani kdyby investiční náklady byly nulové.
Optimalizace ze zadání práce má tedy triviální řešení (žádné systémy neinstalovat).
Programový kód tedy parametry akumulace nakonec neoptimalizuje, ale umožňuje určit ekonomické ukazatele pro situace, kdy by došlo ke snížení hodnot LCOE a SIC.

V programu je uvažováno maximální využití akumulačního systému, tedy provoz, kdy po dobu trvání NT je plným výkonem systém nabíjen a po dobu trvání VT vybíjen. Takový provoz je teoreticky možný (např. pro sazbu C 25d) je doba trvání NT 8 hodin a je rozdělena do více intervalů, což je výhodné. V praxi by si takový provoz pravděpodobně vyžádal další náklady (např. na technické zajištění aby byl podnik stále čistým odběratelem).

Pro uvažovaný výkon nabíjení je v programu vypočteno dimenzování hlavního jističe (tak, aby bylo možno akumulovat se zvoleným výkonem akumulačního systému i při maximální potřebě výkonu v podniku) a z vypočteného proudu pak roční platba za distribuci elektřiny.

Platba za distribuované množství elektřiny je vypočtena tak, že spotřebu podniku bereme nezměněnou, pouze pomocí akumulačního systému přesuneme energii danou součinem výkonu akumulačního zařízení a dobou trvání NT z VT do NT.
Roční nediskontovanou úsporu pak spočteme jako rozdíl platby za distribuci před a po instalaci akumulačního systému. Platba za příkon se z důvodu potřeby většího proudu jističe zvýší, platba za distribuované množství se díky přesunu části energie z VT do NT sníží.

Výpočet prosté doby návratnosti používá pouze jednoduché matematické operace, je rychlý. V programu jsou nejprve (funkce vyhodnot1) vybrány varianty, pro které je prostá doba návratnosti v intervalu 0 a 10 let. Tyto varianty při uvažovaných diskontních sazbách nevedou k diskontované době návratnosti větší než uvažovaná doba hodnocení, tedy 15 let.

Pro varianty, splňující $0 < PDN < 10$ jsou pak dopočteny ostatní ekonomické ukazatele.
Tento postup byl zvolen na doporučení vedoucího proto, že pokud řešení rovnic pro vnitřní výnosové procento v reálném oboru neexistuje, výpočet v SW Mathematica trvá podstatně déle (a výsledek je navíc k ničemu). Proto se ukázalo vhodné pomocí PDN předvybrat možné varianty. To je ostatně při posuzování projektů běžné: je-li prostá doba návratnosti rozumná, mohou ostatní ukazatele vycházet dobře či nikoli, je-li prostá doba návratnosti příliš veliká, nemá příliš smysl podrobněji ostatní ukazatele vyčíslovat.
Pro rychlost výpočtu jsou řešení rovnic pro diskontovanou dobu návratnosti a vnitřní výnosové procento řešeny tak, že se vytvoří tabulka hodnot inverzní funkce a do ní se dosadí za parametr hodnota nula. Počet bodů tabulek inverzních funkcí byl zkusmo volen tak, aby byl přesnost v podstatě shodná s výsledky získanými pomocí FindRoot při dobrém výpočetním čase.

Na konci programu hodnoceni.nb je funkce
zpracuj[{Paccu_,diskont_,{kSIC_,kLCOE_,pocetRoku_}}]
kde mají symboly následující význam:
Paccu je v kW uvažovaný výkon akumulačního systému
Diskont se zadává v procentech (tedy 5.5 znamená 5,5%)
kSIC je číslo, kolikrát se u hodnocených variant uvažuje nižší SIC
kLCOE je číslo, kolikrát se u hodnocených variant uvažuje nižší LCOE
pocetRoku je délka hodnoceného období.

Koeficienty kSIC a kLCOE uvažuji proto, že uvažování hodnot SIC a LCOE podle výše uvedené tabulky vede k prodělečnosti všech uvažovaných akumulačních systémů.

Pokud zadáme například {kSIC=0.0001, kLCOE=1}, výsledkem je prázdná množina: systémy se nevyplatí „ani zadarmo“.

Pokud zadáme například {kSIC=1, kLCOE=0.4}, což znamená, že uvažujeme že systémy investičně nezlevní, ale zvýšením účinnosti a počtu možných cyklů klesne LCOE na 40% dnešní hodnoty, výsledkem je jednoprvková množina: Tesla baterie pak mají při diskontu 5,5% diskontovanou dobu návratnosti 7,5 roku.

6 Závěr

Při zpracování bakalářské práce jsem vypracoval rešerši současných možností akumulace elektrické energie a seznámil jsem se s tvorbou ceny elektřiny pro malé a střední podniky. Při zpracování ekonomických hodnocení možností akumulace se ukázalo, že platba odvíjející se od velikosti hlavního jističe je podstatně menší, než za odebrané množství a má-li tedy přinést akumulace ekonomický efekt, musí přesouvat odebranou energii z pásma vysokého do pásma nízkého tarifu. Pro hodnoty LCOE a SIC současných akumulačních systémů a ceny elektřiny se ovšem instalace akumulace nevyplatí. Navíc se v ČR budou měnit pravidla pro platby za OZE, takže ekonomické hodnocení podle současných pravidel nemůže vypovídat o ekonomice hodnoceného období.
Vytvořený program přesto může být užitečný, umožňuje vyzkoušet jak by se musely parametry SIC a LCOE změnit, aby mělo smysl o nasazení toho či onoho typu uvažovat.

7 Přílohy

Seznam uvedených zdrojů, obrázků, tabulek.

7.1 Seznam příloh

[1] Programový kod 1 hodnoceni.np

[2] Programový kod 2 ukazka.np

Seznam použité literatury:

Zdroje z internetu:

[1] http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2013.html

[2] www.wolfram.com

[3] www.eon.cz

[4] http://www.mojeenergie.cz/cz/elektroenergetika-tvorba-ceny#neregul

[5] http://rameznaam.com/2015/04/30/tesla-powerwall-battery-economics-almost-there/

[6] http://www.patria.cz/zpravodajstvi/2906767/baterie-tesla-stale-jeste-pekne-nalestene-nic.html

[7] http://www.sandia.gov/ess/publications/SAND2013-5131.pdf

[8] http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/akumulace-elektricke-energie--9696

Literatura:

[9] CHEMIŠINEC, Igor. *Obchod s elektřinou*. 1. vyd. Praha: Conte, c2010, 201 s. ISBN 978-80-254-6695-7.

[10] CENEK, M. a kol.: *Akumulátory od principu k praxi*, FCC PUBLIC, s. r. o., Praha, 2003, ISBN 80-86534-03-0.

[11] LIBRA, M. – POULEK, V.: *Zdroje a využití energie.* Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007, ISBN 978-80-213-1647-8.

[12] LIBRA, M. – POULEK, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie.* ILSA, Praha, 2009, ISBN 978-80-904311-0-2.

[13] Reichl Tomáš: Akumulátory v elektroenergetice, bakalářská práce, ČVUT-FEL.

7.2 Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

Obrázek 1. Dnešní přenosová soustava, převzato z [13].

Obrázek 3. Přenosová soustava budoucnosti, převzato z [13].

Obrázek 3. Schéma olověného akumulátoru, převzato z [8].

Obrázek 4. Akumulátory určené pro ostrovní fotovoltaické systémy, převzato z [8].

Obrázek 5. Akumulátor TESLA , převzato z [5].

Obrázek 6. Schéma vnitřního uspořádání superkapacitoru, převzato z [8].

Obrázek 7. Modul superkapacitoru, převzato z [8].

Obrázek 8. Porovnání parametrů elektrochemického akumulátoru elektrické energie, kondenzátoru a superkapacitoru (zdroj: firemní dokumentace ECOM, s. r. o.), převzato z [8].

Obrázek 9. Blokové schéma pomocného obvodu superkapacitoru pro řízení nabíjecího proudu a udržování napětí, převzato z [8].

Obrázek 10. Schéma malé přečerpávací elektrárny, převzato z [8].

Obrázek 11. Víko turbíny a dno elektrického generátoru (Dlouhé Stráně), převzato z [8].

Obrázek 12. Vnitřek přivaděče k Francisově turbíně (Dlouhé Stráně), převzato z [8].

Obrázek 13. Schéma elektrárny s tlakovými zásobníky, převzato z [8].

Obrázek 14. Schéma setrvačníkového akumulátoru energie, převzato z [8].

Obrázek 15. Vysokootáčkový setrvačníkový akumulátor energie (foto NASA), převzato z [8].

Obrázek 16. Schéma akumulace energie v magnetickém poli supravodivé cívky, převzato z [8].

Obrázek 17. Tabulka srovnání sazeb C 25d a C 26d, převzato z [3].

Obrázek 18. Ceník dodávky elektčiny sazeb C 25d, C 26d a C 27d**,** převzato z [3].

Obrázek 19. Odběry výkonu.

Obrázek 20. Ceny za batarei, převzato z [7].