

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGY INSTITUTE

TECHNOLOGIE PRO AKUMULACI ELEKTŘINY

TECHNOLOGIES FOR ELECTRICITY STORAGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ POCHYLÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. JIŘÍ ŠKORPÍK, PH.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Pochylý

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie pro akumulaci elektřiny

v anglickém jazyce:

Technologies for electricity storage

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Elektrická energie se vyrábí v rozmanitých zdrojích většinou o výkonech přesahující regionální spotřebu. I když jsou jednotlivé zdroje propojené, dochází k nerovnováze mezi výrobou a spotřebou nejčastěji ve 24h cyklech. Pro vyrovnání spotřeby a výroby elektřiny jsou nutné akumulční technologie.

Cíle bakalářské práce:

- (1) Důvody potřeb akumulovat elektrickou energii.
- (2) Dostupné technologie pro akumulaci (princip, výhody, nevýhody, parametrické omezení)
- (3) Trendy vývoje, experimentální popřípadě první komerční jednotky.

Seznam odborné literatury:

1. P. Dvořák, P. Bača, Akumulace elektřiny, vyšlo 9. 5. 2011, portál TZB–info, ISSN 1801-4399, dostupné z <http://energie.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>.
2. Transformační technologie, on-line pokračující zdroj, dostupné z <http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/index.html>, ISSN 1804–8293.
3. J. Baláč, Akumulace el. energie, AllforPower 2/2011, ISSN ISSN: 1802-8535.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Škorpík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 17. 10. 2011

L.S.

doc. Ing. Zdenek Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je porovnat a popsat základní funkční principy různých technologií pro akumulaci elektrické energie. S rostoucí nerovnováhou mezi spotřebou a výrobou je nutné začleňovat akumulární jednotky do elektrické sítě. Jsou zde popsány základní principy a vhodnost použití těchto technologií. Technologie pro akumulaci elektřiny můžeme rozlišovat podle formy přeměny a typu uskladněné energie. Podle těchto hledisek se dělí akumulátory na několik odlišných typů, z nichž je každý vhodný pro specifické aplikace.

Klíčová slova

Akumulace, elektrická energie, elektřina, elektrická síť, elektrárna, elektrochemická akumulace, elektrická akumulace, pneumatická akumulace, hydraulická akumulace, baterie

Abstract

The point of this work is to compare and to describe basic types and principles of electric storage systems. With the increasing imbalance between consumption and generation of electric energy there is a need for integration of electric accumulators to the electric grid. Technologies for electric energy storage can be divided into several types, which differ in form and conversion of energy. These technologies are suitable for specific industrial applications.

Key words

Electric storage, accumulation, electric energy, electricity, electric grid, power station, electrochemical accumulation, electric accumulation, pneumatic accumulation, hydraulic accumulation, batteries

Bibliografická citace

POCHYLÝ, J. *Technologie pro akumulaci elektřiny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Škorpík, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že tuto práci na téma *Technologie pro akumulaci elektřiny* jsem napsal sám s použitím odborné literatury, která je součástí příloh, pod vedením Ing. Jiřího Škorpíka, Ph.D.

V Brně dne 24. května 2012

.....
Jiří Pochylý

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Škorpíkovi, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a za ochotné a přínosné vedení při realizaci mé bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	11
1. Účel a rozdělení akumulátorů elektrické energie.....	13
1.1 Elektrochemická akumulace	13
1.2 Elektrická akumulace	13
1.3 Pneumatická akumulace	14
1.4 Hydraulická akumulace	14
1.5 Akumulace kinetickou energií	14
1.6 Akumulace pomocí supravodičů	14
2. Elektrochemická akumulace	16
2.1 Úvod.....	16
2.2 Základní pojmy	16
2.3 Rozdělení chemických zdrojů proudu	17
2.3.1 Články primární.....	17
2.3.2 Články sekundární - akumulátory	17
2.3.3 Články palivové.....	18
2.3.4 Průtokové baterie.....	18
2.4 Rozdělení podle dalších hledisek	18
2.5 Sekundární články	18
2.5.1 Olověné akumulátory	19
2.5.2 Alkalické akumulátory	20
2.5.3 Průtokové baterie.....	20
3. Elektrická akumulace	23
3.1 Úvod.....	23
3.2 Princip činnosti superkondenzátoru	23
3.3 Využití superkondenzátorů v praxi	24
4. Pneumatická akumulace	26
4.1 Úvod.....	26
4.2 Vývoj a historie	26
4.3 Princip funkce	27
4.4 Typy pneumatické akumulace.....	28
4.5 Geologie a pneumatická akumulace.....	29
4.6 Typy zásobníků	30
4.7 Budoucnost a inovace.....	31
4.8 Menší průmyslové jednotky	32
5. Hydraulická akumulace.....	33
5.1 Úvod.....	33
5.2 Energetická bilance	35
5.3 Uspořádání a komponenty.....	36
6. Podzemní hydraulická akumulace.....	38
6.1 Úvod.....	38
6.2 Uspořádání a celková konstrukce.....	39
6.3 Systémy využívající podzemní vodu.....	39
6.4 Podzemní turbína.....	41
6.5 Budoucnost.....	41

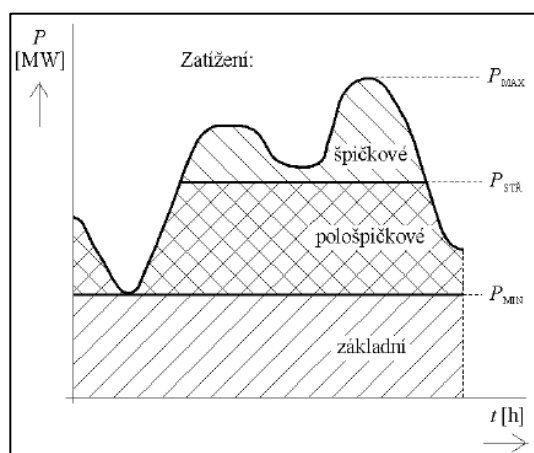
7. Kinematická akumulace	42
7.1 Úvod	42
7.2 Historické pozadí.....	42
7.3 Základní parametry a definice	43
7.4 Výhody a nevýhody	44
7.5 Využití.....	45
8. Akumulace pomocí supravodičů	47
8.1 Úvod a základní údaje	47
8.2 Princip a vlastnosti akumulace	47
Závěr	48
Seznam použitých zdrojů	49
Seznam příloh	52

Úvod

Ve 21. století staví rychlý rozmach všech odvětví světového hospodářství energetické inženýrství před obtížný problém, jak uspokojivě krýt stoupající potřeby elektrické energie. Dalším problémem je také zvládnout situaci nestejně zatížení energetických výroben. Neustále se zvětšující rozdíly spotřeby nutí hledat nové cesty a postupy k účinnému vyrovnání špiček a poklesů zatížení energetických soustav. [2]

Nerovnoměrné zatížení sítě je způsobeno několika důležitými faktory. Mezi tyto faktory se řadí klimatické podmínky, ve státech s nižší roční průměrnou teplotou je spotřeba energie vyšší (vytápění, kratší den – vyšší spotřeba elektrické energie pro osvětlení). Mezi faktory můžeme také zařadit pracovní aktivitu. Zatížení sítě se vlivem pracovní aktivity může snižovat v čase kolem 12 hodiny. Naopak v dopoledních a odpoledních hodinách je spotřeba elektrické energie zvýšená. Dalšími důležitými faktory jsou střídání dne a noci, střídání pracovních a volných dnů, střídání ročních období. Nerovnoměrnosti v dodávkách elektrické energie mohou být způsobeny vlivem počasí, například pokud je síť napájena ze slunečních elektráren v kombinaci se zvýšenou oblačností, nebo je napájena větrnými elektrárnami při bezvětří. To znamená, že okamžitá výroba energie se nemusí shodovat s okamžitou poptávkou. Rychlý pokles může také způsobit nečekaná havárie některého z energetických zařízení, to ovšem nepatří mezi klasické (očekávané) faktory. [2][1]

Úkolem energetického hospodářství je vyrovnávat tyto rozdíly zatížení, kdy musí být neustále zachována rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Průběh denního zatížení můžeme vyjádřit pomocí denního diagramu spotřeby (DDZ). [2]



Obr 0.1 Digram denní spotřeby [4]

Z grafu můžeme vyčíst, že existují 3 základní typy zatížení:

Základní – oblast pod P_{\min} (minimální výkon). Dodávka elektrické energie je zajišťována nepřetržitě 24 hodin. Elektrárny jsou provozovány pouze s malými změnami výkonu. V této oblasti pracují jaderné a moderní tepelné elektrárny velkých výkonů a teplárny.

Pološpičkové – oblast mezi P_{MIN} a P_{STR} (střžení výkon). V tomto rozmezí pracují především klasické tepelné elektrárny a akumulační vodní elektrárny. Změny výkonu musí být dostatečně rychlé.

Špičkové – oblast nad P_{STR} . V této oblasti pracují především přečerpávací vodní elektrárny. Lze také využít akumulační vodní elektrárny a elektrárny s plynovými turbínami. Zdroje musí mít krátkou najížděcí dobu a velkou rychlost změny výkonu. Doba využití elektrárny během dne je nízká. [4]

K vyrovnávání rozdílů (výpadků) se tedy musí použít zdroje s rychlou reakcí. Tyto zdroje můžeme nazvat akumulátory elektrické energie. Jejich účel je tedy v období nízkého odběru ze sítě akumulovat (ukládat) a převádět elektrickou energii na jiný druh energie (který je snazší udržovat – s menšími ztrátami) a v době zvýšené spotřeby, kdy je potřeba rychle reagovat na změny zatížení sítě, tuto energii zpětně dodávat do sítě a vyrovnávat rozdíly mezi výrobou a spotřebou. Existuje několik druhů technologií, jak akumulovat elektrickou energii.

Základními faktory těchto zařízení jsou dodávaný výkon, rychlost najetí do plného provozu, cena vyrobené elektrické energie, účinnost. Dalším faktorem může být ovlivňování životního prostředí, protože některá tato technická díla výrazně mění ráz krajiny (například přečerpávací vodní elektrárny).

Tato bakalářská práce je zaměřena na popis a vysvětlení funkce akumulátorů elektrické energie. V jednotlivých kapitolách je postupně rozebráno rozdělení a popis jednotlivých akumulátorů. Každá z kapitol se snaží popsat základní principy, jejich funkce a ve kterých aplikacích mohou být použity.



Obr 0.2 Horní nádrž vodní přečerpávací elektrárny Dlouhé Stráně [10]

1. Účel a rozdělení akumulátorů elektrické energie

Akumulátory elektrické energie nacházejí využití hlavně v době, kdy je výroba energie větší, než je poptávka a v době, kdy je energie levná (noční období). Akumulátory hrají velice důležitou roli v celkovém začlenění do elektrické sítě. Například pokud bude produkce energie z obnovitelných zdrojů překračovat poptávku, dají se tyto generátory jednoduše odpojit ze sítě. Ovšem vypojení některé z uhelných nebo jaderných elektráren sebou přináší problémy s údržbou a provozem. Může trvat i několik hodin nebo dokonce dnů, než jsou tyto dva typy elektráren uvedeny zpět do plného provozu, to si ovšem poskytovatel elektrické energie nemůže dovolit.[1]

Efektivitu akumulátorů můžeme zvětšit také jejich umístěním. Je výhodnější umístit akumulátor v blízkosti solární nebo větrné farmy. Značně se tím snižují ztráty vyvolané elektrickým vedením. V případě bezvětrí může akumulátor dodávat energii do sítě místo větrné elektrárny. V době, kdy není poptávka energie vysoká (větrná elektrárna generuje energii i v období malé spotřeby), ji může akumulátor absorbovat. Jako příklad je možné uvést polohu větrné elektrárny Medvědí hora a Přecherčavací elektrárny Dlouhé Stráně. Dalším příkladem je poloha jaderné elektrárny Dukovany a přecherčavací elektrárny Dalešice. Lze tedy vidět, že akumulátory energie jsou klíčovým prvkem pro zajištění flexibility a spolehlivosti energetických systémů, kde nezanedbatelnou část energie vyrábějí solární a větrné elektrárny. V energetických systémech, kde je rozsáhlejší generace zajištěna z obnovitelných zdrojů, budou akumulátory zpravidla napájeny energií právě z těchto zdrojů. Ovšem mohou nastat i případy, kdy jsou akumulátory nabíjeny energií z neobnovitelných zdrojů (jaderné, uhelné, plynové elektrárny). Je tedy zřejmé, že z výhod akumulátorů těží především energie z obnovitelných zdrojů, ale také i energie z klasických zdrojů. [1]

K akumulaci elektrické energie je používáno několik základních typů akumulátorů, které se liší tím, na jaký typ energie je elektrická energie přeměněna.

1.1 Elektrochemická akumulace

Tento způsob energetické akumulace pomocí akumulátorových baterií se vyznačuje velkou účinností, poměrně malými nároky na zastavěný prostor a okamžitou pohotovostí. Mezi chemické akumulátory patří elektrické články a průtokové baterie. [2]

1.2 Elektrická akumulace

Elektrická akumulace je prováděna za pomoci elektrických součástek zvaných kondenzátory (kapacitory). U kondenzátorů je elektrická energie jako u jediného typu akumulátoru uchována v podobě elektrického náboje. Jedná se tedy o přímou akumulaci. [2]

1.3 Pneumatická akumulace

U pneumatické akumulace se používá jako média k přeměně přebytečné elektrické energie ve špičkovou vzduchu stlačeného do zásobníku. Samostatný kompresor, poháněný elektromotorem, který je napájený ze sítě, dopravuje stlačený vzduch do přírodních nepropustných podzemních prostorů. Při poklesu zatížení se síť zatěžuje provozem kompresoru a elektrická energie se ukládá jako energie stlačeného vzduchu. Při špičkovém zatížení sítě se pak přivádí akumulovaný stlačený vzduch přes spalovací komoru do plynového turbínového soustrojí, které přes generátor vyrábí elektrickou energii.[2]

1.4 Hydraulická akumulace

Hydraulická akumulace, též nazývaná sekundární hydraulická akumulace se liší od primární hydraulické akumulace. Na rozdíl od primární akumulace s přirozeným přítokem do přehradního jezera se při sekundární akumulaci voda v dobách přebytků elektrické energie čerpá do výše položené (akumulační) nádrže. V době špičkového zatížení sítě se pak akumulované vody využije pomocí turbínových soustrojí k výrobě elektrické energie. Výhoda tohoto typu akumulace je velká hodnota kapacity skladované energie. Elektrárny pro hydraulickou akumulaci můžeme dělit podle poloh jednotlivých nádrží. Existují základní dva typy. U prvního typu je postavena dolní nádrž většinou v údolí a horní nádrž ve vyšší poloze (přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně). U druhého typu je horní nádrž na povrchu země a dolní nádrž vyhloubena v podzemí. [2]

1.5 Akumulace kinetickou energií

Kinetická energie rotujícího tělesa je úměrná hmotnosti (přesněji momentu setrvačnosti) a druhé mocnině otáček. Při vysokých otáčkách tedy i relativně lehký setrvačnick má vysokou kinetickou energii. Zatím jsou běžnější nízkootáčkové setrvačnicky (zhruba do 7000 ot./min.) s ocelovým rotorem. Velmi pevné kompozitní materiály dovolují vývoj lehkých vysokootáčkových setrvačnicků až do 100000 ot./min. Kvůli omezení tření se rotor točí ve vakuu a je magneticky nadnášen. Součástí rotoru jsou i permanentní magnety, které jej roztácejí nebo při brzdění generují proud v cívkách. K tomu patří i vyspělá elektronika pro bezpečný a bezúdržbový chod. Jako vyspělou aplikaci možno uvést nasazení v kosmu, kde setrvačnicky kromě akumulace energie ze slunečních kolektorů plní i funkci prostorové stabilizace tělesa v beztížném stavu. [5]

1.6 Akumulace pomocí supravodičů

Akumulace je prováděna pomocí supravodivých cívek, které jsou podchlazeny na velmi nízkou teplotu, která se blíží 4 K. Díky takovému podchlazení prakticky zaniká ve vodiči elektrický odpor a elektrický proud koluje ve vodiči dlouho i po odpojení od zdroje. Supravodivé materiály mají významné výhody, mají velmi vysokou hustotu energie (řádově

MWh/m³) a dají se téměř neomezeně rychle nabíjet a vybíjet. Ovšem technologie výroby supravodičů se snaží vyrovnat s jedním zásadním problémem. Supravodič může svou supravodivost v určitém místě náhle a zcela nečekaně ztratit v důsledku kvantových jevů, jako je zásah vysokoenergetickou částicí z nějakého radioaktivního rozpadu, či kosmického záření. Ztráta supravodivosti nastane sice ve velmi malém objemu, ale protože vodičem prochází silný proud, začne se dané místo okamžitě ohřívat, čímž se ztráta supravodivosti rychle šíří. To může být velmi nepříjemné, protože v důsledku toho se veškerá uskladněná energie v krátké době uvolní. [6]

2. Elektrochemická akumulace

2.1 Úvod

Historie chemických (přesněji elektrochemických) zdrojů začala v roce 1800, kdy Ital A. Volta sestavil první elektrický článek. Po Voltovi přišli další vynálezci s principem oloveného akumulátoru v polovině 19. století (Sinstenden, Planté). Až do 60. let 19. století byly elektrochemické zdroje proudu jedinými praktickými zdroji elektrického proudu. Teprve vynález elektromagnetického generátoru však umožnil rozvoj stacionárních elektrických sítí a rozšířil použití elektrické energie pro každodenní život a využití v průmyslu. Koncem 19. století ztratily chemické zdroje proudu svůj výjimečný význam, ovšem jejich vývoj stále pokračoval. O nové oživení se výrazně postarala radiotechnika a zejména automobilismus. [3]

V současné době se elektrochemické články používají téměř ve všech oblastech techniky. Toto velké rozšíření je dáno širokým rozpětím výkonu ($10^{-5} - 10^7$ W). Žádný jiný zdroj elektrické energie nemá tak široké použití a takovou univerzálnost jako chemické zdroje. Roční produkce článků a akumulátorů se ročně pohybuje v miliardách kusů. [3]

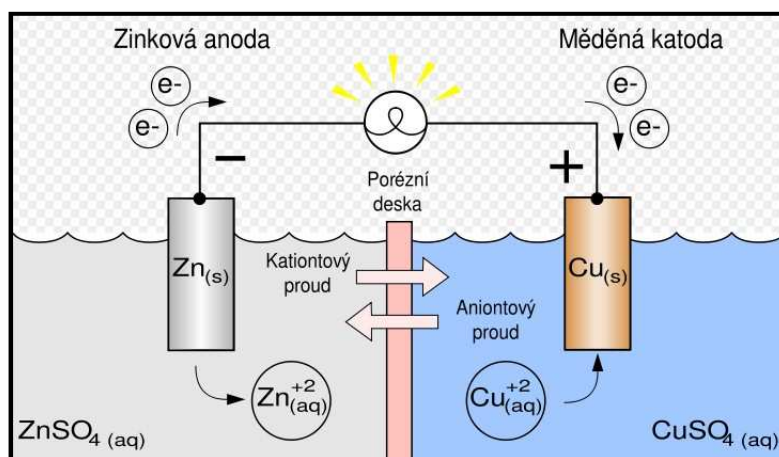
2.2 Základní pojmy

V elektrochemických člancích probíhá přímá přeměna energie chemické na elektrickou. Je důležité uvést význam slova přímá. V ostatních typech akumulátorů dochází k přeměně nepřímé (potenciální energie vody \rightarrow kinetická energie \rightarrow mechanická energie turbíny \rightarrow elektrická energie). Díky tomu dochází u nepřímé přeměny k větším ztrátám během přenosu. Baterie se tedy řadí mezi přímé akumulátory energie. Mezi přímé akumulátory můžeme zařadit také supravodivé akumulátory, které budou popsány v poslední kapitole. U přímé, tedy jednostupňové přeměny, je účinnost vyšší a v některých případech dokonce blízká hodnotě 1. [3]

Chemické reakce produkují elektrochemické (elektrodové) elektrony, které udržují kontinuální tok elektronů vnějším okruhem. Základní jednotkou elektrochemického zdroje proudu je galvanický článek tvořený kladnou a zápornou elektrodou, které jsou ve styku s elektrolytem. [3]

Zápornou elektrodou (anodou) je materiál, který se při vybíjení článku oxiduje a uvolňuje elektrony. Kladnou elektrodou (katodou) je materiál s kladným elektronovým potenciálem, uvolněné elektrony přijímá a tím se redukuje. Elektrolyt je látka schopná se v roztoku štěpit na kladně nabitě části (kationty) a záporně nabitě části (anionty). Elektrolyt bývá ve většině případů tekutina a v ní rozpuštěná sůl. [3]

Baterie může obsahovat několik článků (buněk), které jsou spojeny sériově nebo paralelně tak, aby poskytovali požadované napětí. Je nutné podotknout, že nevýhoda baterií spočívá v tzv. samovybíjení, kdy se baterie po dlouhé době bez zapojení sama vybíjí. [3]



Obr 2.1 Schematické zobrazení galvanického článku Cu-Zn [8]

2.3 Rozdělení chemických zdrojů proudu

Podle principu funkce se galvanické články dělí do několika skupin.

2.3.1 Články primární

Články primární obsahují omezené množství aktivních materiálů účastnících se elektrochemických reakcí. Po spotřebování těchto materiálů (při vybití) články ztrácejí svou funkčnost. Produkty reakce nelze vnějším elektrickým proudem převést zpět v aktivní materiály.

Primární články ovšem nepatří mezi akumulátory energie. Elektrickou energii pouze generují. Ale pro základní přehled elektrochemických zdrojů jsou zde uvedeny. [3]

2.3.2 Články sekundární - akumulátory

Stejně jako primární články mají omezené množství reaktantů. Ovšem na rozdíl od primárních článků lze reakční produkty znovunabytím převést v aktivní materiály.

Dodávaná elektrická energie se v článku akumuluje ve formě chemické energie. Jedno vybití a jedno nabití článku se označuje jako cyklus. Většina moderních akumulátory snese stovky až tisíce takových cyklů. Podle druhu elektrolytu můžeme dělit akumulátory nejčastěji na kyselé (olověné) a alkalické. Můžeme tedy tvrdit, že pro akumulaci elektrické energie jsou právě sekundární elektrické články nejdůležitější. [3].

2.3.3 Články palivové

Fungují podobně jako baterie, jenom s tím rozdílem, že se nevybíjí ani nepotřebuje nabíjet. Článek produkuje energii ve formě elektřiny tak dlouho, dokud je dodáváno palivo. U některých článků je možné po skončení vybíjení nahradit spotřebované reaktanty novými. Ovšem pro akumulaci je palivový článek jako takový nevhodný. [7]

2.3.4 Průtokové baterie

Průtokové baterie mají podobnou konstrukci jako palivové články, ovšem princip fungování je velmi rozdílný. Rozdíl bude vysvětlen v následující podkapitole. V rozboru na ně bude kladena větší pozornost, protože tato technologie představuje velký příslib do budoucna.

2.4 Rozdělení podle dalších hledisek

Z hlediska praktického využití dělíme baterie na několik základních typů.

Přístrojovými bateriemi jsou primární baterie nebo některé druhy akumulátorů. Slouží zpravidla jako jediný zdroj elektrické energie pro mobilní zařízení. Tímto zařízením může být kapesní svítilna, radiopřijímač, notebook.

Olověné startovací akumulátory jsou používány jako zdroj elektrické energie pro spouštění motoru automobilu. Pro jejich provoz je charakteristické, že jsou udržovány téměř v nabitěm stavu zdrojovou soustavou vozidla. Ve větším měřítku jsou vybíjeny pouze při startu motoru.

Průmyslové baterie jsou baterie vyšších kapacit, dělíme je na baterie trakční a staniční.

Staniční baterie slouží pro nouzové napájení důležitých spotřebičů (telefonní ústředny). Baterie prodělá za dobu své existence velmi malý počet vybíjecích cyklů.

Trakční baterie slouží jako zdroj pro nezávislou elektrickou trakci. Elektrická trakce znamená pohon hnacích kol vozidla elektrickým motorem. [14] Pro tyto baterie je charakteristické pravidelné střídání vybíjení a nabíjení. [3]

2.5 Sekundární články

Sekundární články jsou v současnosti používány v mnoha různých odvětvích. Jako příklad lze uvést zejména automobilový průmysl, kde jsou tyto články klíčovým prvkem při startování automobilu, dále akumulátor napájí světla a další potřebnou elektroniku. Také

jsou používány v různých pohotovostních a nouzových systémech, kde fungují jako záložní zdroj při výpadku elektrického proudu (důležitá je například aplikace těchto akumulátorů v nemocnicích, telefonních centrálach). Dále jsou důležité pro různá přenosná zařízení, kterých existuje celá škála, můžeme uvést například mobilní telefony, notebooky, hračky,

kamery atd. V nedávné době vzbudily sekundární články zájem automobilových inženýrů kvůli vývoji elektrických a hybridních vozidel. [1]

Sekundární články se dají použít i ve větším měřítku. Již dnes se používají jako akumulátory vyrovnávající nerovnoměrné zatížení sítě. Komerčně dostupné olověné

akumulátory dokážou uspokojit požadavky energetické akumulace a jsou už nyní používány ve světě v několika velkých projektech. Ovšem neustále jsou ve vývoji pokročilejší druhy baterií, které nabízejí větší potenciál. Pokročilejší baterie budou zaručovat nižší cenu energie, méně náročnou obsluhu, větší spolehlivost i při velkém počtu pracovních cyklů. [1]

Z tohoto typu akumulace mají prospěch hlavně generátory energie z obnovitelných zdrojů, kde je generace energie přerušovaná. Baterie jsou nabíjeny, když zdroj produkuje energii a ta může být v případě potřeby vybita. Užití je velmi široké, typickým příkladem může být napájení odlehlých vesnic nebo usedlostí, napájení telekomunikačních přístrojů (odlehle vysílače). [1] V praxi se nejčastěji vyskytují tři základní typy sekundárních akumulátorů.

2.5.1 Olověné akumulátory

Podstatu činnosti olověných akumulátorů nám vysvětluje tato chemické rovnice:

Kladné elektrody	Elektrolyt	Záporné elektrody	Proces	Kladné elektrody	Elektrolyt	Záporné elektrody
$\left[\begin{array}{c} \text{redukce PbO}_2 \text{ kladné elektrody na síran olovnatý PbSO}_4 \end{array} \right. \downarrow$						
PbO ₂	+	H ₂ SO ₄	+	Pb	vybití =>	PbSO ₄ + H ₂ O + PbSO ₄
$\left. \begin{array}{c} \text{oxidace Pb záporné elektrody na síran olovnatý PbSO}_4 \end{array} \right] \uparrow$						
$\downarrow \left[\begin{array}{c} \text{oxidace PbSO}_4 \text{ kladné elektrody na PbO}_2 \end{array} \right.$						
PbO ₂	+	H ₂ SO ₄	+	Pb	<= nabíjení	PbSO ₄ + H ₂ O + PbSO ₄
$\left. \begin{array}{c} \text{redukce PbSO}_4 \text{ záporné elektrody na Pb} \end{array} \right] \uparrow$						

Obr 2.2 Princip reakce olověného akumulátoru [15]

Elektrody jsou hlavním konstrukčním prvkem akumulátorů. Závisí na nich elektrické, rozměrové a hmotnostní parametry i životnost akumulátorů. Vyrábějí se jako kladné a záporné (aktivním materiálem je velmi porézní PbSO₂, porézní je kvůli zvýšení povrchu, na kterém reakce probíhá). [3]

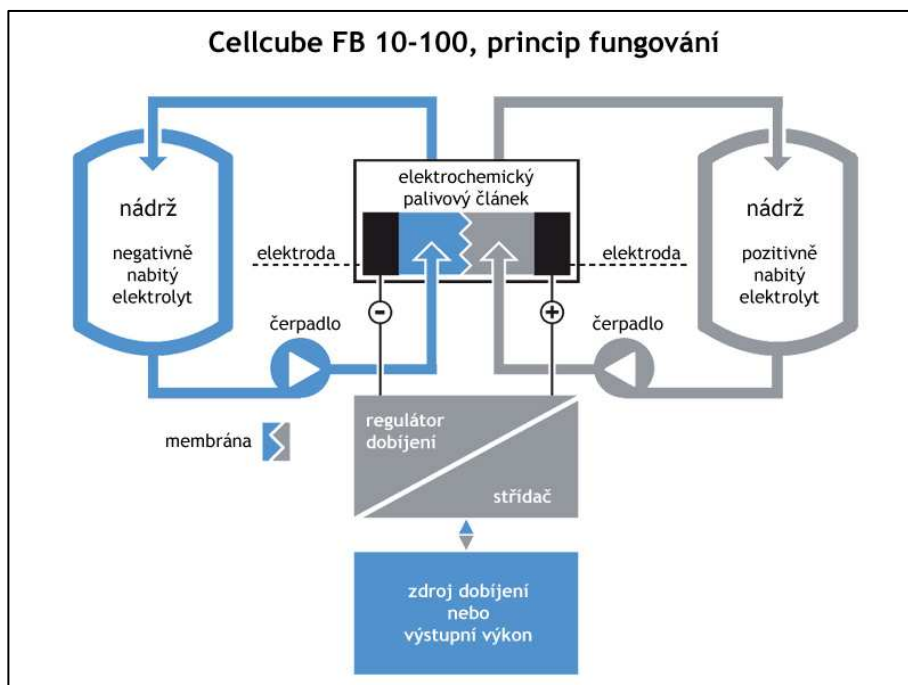
2.5.2 Alkalické akumulátory

Alkalické akumulátory představují poměrně širokou skupinu akumulátorů. Jejich společným znakem je druh použitého elektrolytu, jehož základní složkou je hydroxid draselný rozpuštěný ve vodě. Alkalické akumulátory dělíme podle základních materiálů na nikl-kadmiové, nikl-železné, stříbro-zinkové, stříbro-kadmiové, nikl-zinkové. Za výhodu těchto zdrojů se všeobecně považuje to, že výpary elektrolytu nepůsobí agresivně na zařízení, ve kterých jsou použity. Jsou méně citlivé na nepečlivou obsluhu než akumulátory olovené a jsou odolnější proti mechanickým nárazům a otřesům. [3]

Elektrolyt je jednou z nejdůležitějších složek systému alkalických akumulátorů. Na jeho čistotu jsou kladeny velmi vysoké požadavky. Skutečnost je taková, že právě většina těchto akumulátorů končí existenci právě v důsledku znečištění elektrolytu. [3]

2.5.3 Průtokové baterie

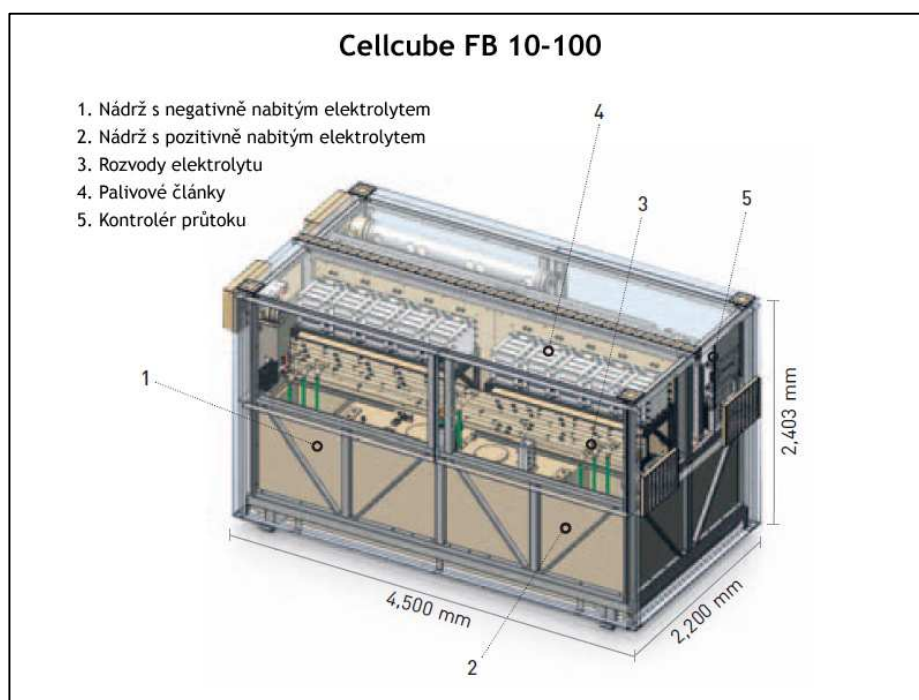
Průtokové baterie jsou typ akumulátorů, který dovoluje uchovávat energii jako chemickou. Rozdíl v konstrukci oproti jinému článku je takový, že aktivní látka (elektrolyt), je uskladněna ve dvou oddělených nádobách, při tom v každé nádobě je jiná látka. Tyto elektrolyty mají opačný elektrochemický potenciál. Rozdíl těchto potenciálů pohání redoxně-oxidační reakce v samotné baterii, které jsou důležité k nabíjení a vybíjení. Elektrolyty jsou čerpány z oddělených nádrží do průtokové baterie, kde je jedná část elektrolytu elektrochemicky oxidována a druhá redukována. [11]



Obr 2.3 Konstrukce a princip činnosti průtokové baterie [13]

Elektrolyty se v baterii nemíchají, jsou odděleny velice tenkou membránou, která dovoluje jen určitým typům iontů procházet skrz [11]. Tím se liší od palivového článku. Díky tomu vzniká na výstupech baterie napětí a baterie může být připojena k zátěži.

Jako praktický příklad průtokové baterie je zde uveden akumulátor od německé firmy Cellstrom. Tento akumulátor používá tzv. „vanadium-redox“ systém, který je založen na použití elektrolytů s obsahem Vanadu. Přístroj *FB 10/100* (FB z anglického Flow Battery) se skládá z vlastní průtokové baterie a odolného pláště. Tento systém může být nabit až na 10kW a může poskytnout až 10kWh energie. Tato baterie může být připojena k fotovoltaickým zařízením, větrným turbínám, dieslovým, plynovým generátorům a vodním turbínám. Jako akumulátor má samozřejmě druhou funkci, a to poskytování elektrické energie. [1]



Obr 2.4 systém Cellcube FB 10/100 [13]

V přístroji jsou umístěny dvě nádrže s celkovým obsahem 2500 litrů elektrolytu v každé z nich. Nádrže jsou umístěny ve spodní části stroje. Chemicky odolné pumpy vytvářejí tlak pro přívod elektrolytu do baterie. I když se elektrolyty v baterii mohou jemně smísit, je tento problém vyřešen automatickou kontrolou, která v případě potřeby otevře vyrovnávací ventil. Tím se dosáhne opětovné rovnováhy elektrolytů. Operační teplota přístroje je od 5°- 40°C. Teplota systému je opět automaticky kontrolována, v případě potřeby jsou zapnuty ventilátory nasávající okolní vzduch. Další výhodou je, že samotný elektrolyt funguje jako chladivo a je rozváděn kanálky po přístroji. [1][12]

Systém FB 10/100 je přívětivý k životnímu prostředí, neobsahuje žádné těžké kovy. Pokud je elektrolyt udržován čistý, může být používán prakticky po celou dobu životnosti baterie (20 let). Jednotlivé součásti se také dají vyměnit bez složitějšího rozložení konstrukce.

Technologie těchto baterií je zatím velmi mladá a naráží na 4 základní problémy, které brání většímu rozšíření. Typy elektrolytů použitelné do těchto baterií jsou relativně drahé na výrobu, proto je nutné hledat nové a levnější výrobní cesty. Za druhé je to vylepšení membrány, která je nejdražší součástí baterie. Třetím problémem je zvýšení hustoty uložené energie a posledním problémem je také vysoká teplota reakce. [1]

I přes tyto technická omezení je možné říci, že průtokové baterie představují do budoucna velký příslib pro energetický průmysl

3. Elektrická akumulace

3.1 Úvod

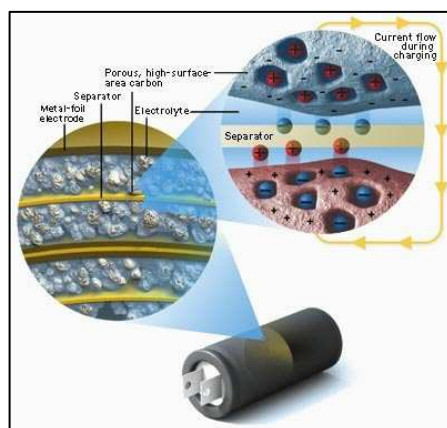
Elektrická akumulace energie je prováděna elektrickými součástkami, zvanými kondenzátory. I přesto, že jsou kondenzátory nazývány jako elektrochemické součástky, chemické reakce nehrají při ukládání energie žádnou roli. K akumulaci elektrické energie jsou používány speciální typy kondenzátorů, tzv. superkondenzátory, ultrakondenzátory nebo se také nazývají dvouvrstvé kondenzátory. Od obyčejných kondenzátorů se liší především mnohonásobně větší kapacitou. Typické parametry kondenzátoru jsou kapacita $10\mu\text{F} - 2\text{F}$, napětí do $6,3\text{V}$ (typické pro elektronické obvody).

Hlavní výhodou kondenzátorů oproti běžným akumulátorům, které pravidelně používáme, je vysoká účinnost, schopnost podat okamžitě plný výkon, odolnost proti přebíjení i extrémnímu vybíjení, životnost několik desítek let, mnohonásobně větší počet nabíjecích cyklů a především krátká doba nabíjení. [16]

3.2 Princip činnosti superkondenzátoru

U klasických kondenzátorů se energie uchovává ve formě elektrostatické energie. Kondenzátor jako elektronickou součástku lze vyrobit mnoha různými technologiemi. Existují kondenzátory pro vysokofrekvenční aplikace na bázi keramiky, klasické svitkové nebo metalické kondenzátory s různým dielektrikem pro střední frekvence do řádu stovek kHz. Pro nízkofrekvenční a stejnosměrné aplikace je důležitý elektrolytický nebo tantalový kondenzátor. Uvedené typy kondenzátorů se běžně vyrábějí v rozsahu jednotek pF až μF . Náboj, který mohou zachytit tyto kondenzátory je proto relativně malý a pro dlouhodobější skladování energie mají jen malý význam. [16]

Nový typ kondenzátoru, tzv. superkondenzátor dosahuje běžně kapacit v pásmu jednotek až tisíců Faradů, a tak se již v tomto směru trochu blíží průmyslovým akumulátorům. Zvýšení měrné kapacity o mnoho řádů je dáno jejich principem, který je založen na využití vlastností elektrické dvouvrstvy (kterou obyčejné kondenzátory nemají). [16]



Obr 3.1 Schéma elektrické dvojevrstvy superkondenzátoru [17]

Current flow during charging – směr el. proudu během nabíjení

Separator – separátor, odděluje elektrickou dvouvrstvu

Electrolyte - elektrolýt

Porous, high surface area carbon – uhlíkový aerogel s extrémně velkou povrchovou plochou

Metal – foil electrode – kovová elektroda

3.3 Využití superkondenzátorů v praxi

Superkondenzátor je předurčen k nasazení v automobilové technice, kde je schopen pojmout brzdovou energii, která je následně využitelná ke startu spalovacího motoru, nebo urychlení vozidla. Nejnovější vyvíjené superkondenzátory mají elektrody tvořené z pórovitého uhlíku, jehož vnitřní povrch má plochu až 2000 m² v jednom gramu materiálu. Tím dochází k mnohonásobnému nárůstu kapacity, která může být ještě zvýšena umístěním velkého množství uhlíkových nanotrubic do jednoho celku. Výše uvedené výhody těchto superkondenzátorů se začínají využívat především v automobilovém průmyslu. Elektromobily s tímto zdrojem energie by byly schopné mít dostatečný výkon při stoupání v těžkém terénu díky schopnosti podat maximální výkon během okamžiku, což by se projevilo i na prudké akceleraci. [16]

Velmi důležité uplatnění kondenzátorů najdeme ve zdravotnictví. Kondenzátor je základním prvkem defibrilátoru, který se používá k obnovení srdeční činnosti. Je potřeba rychle uvolnit nahromaděné množství energie, ovšem je také důležité defibrilátor rychle nabít, aby mohl být znovu použit. Obě tato kritéria splňují kondenzátory velmi dobře.

	olověná baterie	superkondenzátor	běžný kondenzátor
nabíjecí doba	1 – 5 h	0.3 – 30 s	$10^{-3} - 10^{-6}$ s
vybíjecí doba	0.3 – 3 h	0.3 – 30 s	$10^{-3} - 10^{-6}$ s
měrná energie [Wh/kg]	10 - 100	1 – 10	< 0.1
měrný výkon [W/kg]	< 1000	< 10 000	<100 000
životnost [cyklů]	1000	> 500 000	> 500 000
účinnost nabíjení [%]	70 – 85	85 –98	> 95

Tab 3.2 Srovnání typů akumulátorů [16]

Superkondenzátorům určitě patří budoucnost. Vyplňují místo mezi klasickými kondenzátory a nabíjecími akumulátory. Existuje totiž opravdu mnoho aplikací, kde kondenzátory mají malou kapacitu a naopak akumulátory mají pomalé nabíjení, limitované zatížení a krátkou životnost. Zvláště je budoucnost superkondenzátorů jako krátkodobých zálohovacích zdrojů krátkých výpadků napájení (hodiny, radiobudíky, stolní počítače, rekordéry a vypalovací zařízení apod.), vyrovnávání a akumulaci elektrické energie pro malé větrné a solární elektrárny, hybridní automobily a napájení nízkopříkonové kapesní elektroniky (hodinky a budíky, mp3 přehrávače a rádia, svítilny, různé čtečky apod.). [16]

4. Pneumatická akumulace

4.1 Úvod

Pneumatická akumulace energie je technologie pro skladování velké kvantity elektrické energie ve formě vysoce stlačeného vzduchu. Je to jeden z druhů energie vhodný pro dlouhé dodávání elektrické energie do sítě (až desítky hodin), dokáže dodávat energii ve velkém měřítku (stovky až tisíce MW). Ostatní typy elektrických akumulátorů, jakými jsou například kondenzátory nebo setrvačníky provádějí operace v krátkém časovém období a nejsou cenově výhodné pro vyrovnávání výkonu v elektrické síti a pro podporu větrných elektráren. [1]

Dvě základní technologie pro několikahodinové dodávání elektrické energie do sítě jsou hydraulická akumulace a pneumatická akumulace (angl. PHES-Pumped Hydro Electrical Storage, CAES-compressed air electrical storage). Hydraulická akumulace nevyžaduje spalování a má větší pole realizace, ale je ekonomicky výhodná pouze na místech, kde zásobníky mají rozdílnou elevaci a musí být také postavena za přijatelnou cenu. Dalším problémem jsou environmentální dopady velkých přečerpávacích elektráren, kdy konstruktéři musí pracně vyhledávat vhodná místa tak, aby stavba zásadně neohrozila životní prostředí. [1]

Oproti tomu pneumatická akumulace může využít širokou paletu zásobníků (rezervoárů) pro uskladnění stlačeného vzduchu. To dává těmto typům zařízení větší flexibilitu v umístění na rozdíl od přečerpávacích elektráren. Stlačený vzduch může být uskladněn také v zásobnících na povrchu, které jsou k tomuto účelu přímo vyrobeny, ale pro akumulaci energie ve velkém měřítku se musejí použít mnohem objemnější zásobníky, jako například vytěžené hlubinné doly nebo jiné podzemní prostory [18]. Je výhodné tyto akumulací elektrárny umístit v oblastech s větrnými elektrárnami, kde mohou rychle akumulovat přebytečnou energii. [1]

Jedním z hlavních úkolů je akumulace energie z větrných elektráren a její vypuštění zpět do sítě během bezvětrného období. Velice vhodná oblast je v USA na Velkých planinách, kde je značný počet větrných dní v kalendářním roce a geologické podmínky jsou také velice dobré. [1]

4.2 Vývoj a historie

Pneumatická akumulace se objevila v 70. letech jako nadějný zdroj vyrovnávání rozdílů v zatížení sítě. Vysoká cena ropy a expandující výstavba nukleárních elektráren vyvolala zájem pro použití nových typů akumulace. V 80. letech klesl zájem o tuto technologii z důvodu použití klasického spalování (plynové turbíny) jako primární technologie pro vyrovnávání špičkového zatížení (situace v USA) [1].

Poslední trendy ve větrné energetice opět obnovily zájem o tuto technologii. Ovšem neměla být použita pro vyrovnávání špiček, ale hlavně pro začlenění do sítě větrných elektráren. Globální energetická kapacita obnovitelných zdrojů prudce stoupla z 4,8 GW

v roce 1995 na 121 GW v roce 2008. Variabilita generace energie z větrných elektráren musí být podpořena umístěním vhodných zásobníků, do kterých lze energii ukládat v případě malé poptávky.

Kvůli nízké spotřebě paliva je tato technologie velice atraktivní v období vysokých cen zemního plynu. V posledních letech už ovšem dosáhla generace energie z větrných elektráren takového stupně, že je potřeba doplňovat tyto soustavy o další technologie, které zaručí stabilitu systému (např. baterie). [1]

4.3 Princip funkce

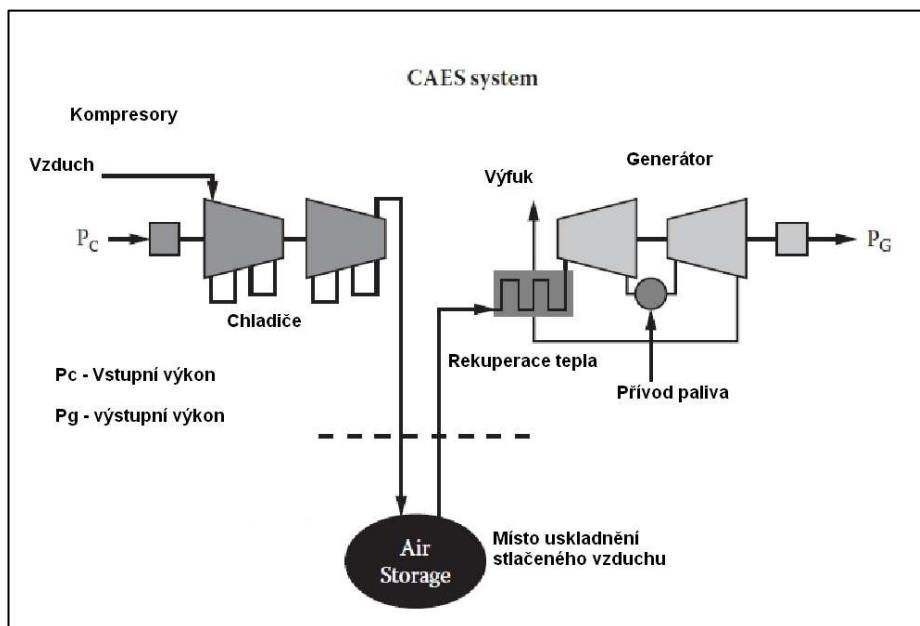
Zařízení pracující na principu pneumatické akumulace pracují prakticky úplně stejně jako konvenční plynové turbíny, pouze s tím rozdílem, že je děj komprese a expanze se odehrávají odděleně a v jiných časech. Protože je energie dosažená pomocí komprese uskladněna, může být v době potřeby znovu uvolněna. Podle toho, jaký z těchto dějů je prováděn, můžeme rozlišovat, kdy pracuje zařízení v kompresním módu a kdy v expanzním módu. [1]

Kompresní mód

Během komprese (uskladnění) je elektrická energie použita k pohonu řetězce kompresorů, které vpravují stlačený vzduch do neizolovaného podzemního zásobníku. Zde je vzduch skladován pod vysokým tlakem a při teplotě obklopující horniny. Kompresory jsou vybaveny několika chladiči, které snižují teplotu stlačovaného vzduchu a odvádějí pryč. Tím se zvyšuje kompresní efektivita, zmenšuje se potřebný užitný objem a minimalizuje se tepelný účinek na stěny zásobníku, ten by mohl být nežádoucí, například kdyby byla v zásobníku obsažena zbytková voda, mohla by se začít odpařovat. Tepelné rozdíly by také mohli mít vliv na tepelnou roztažnost zásobníku, proto musí být minimalizovány. [1]

Expanzní mód

Během expanze (generace) je stlačený vzduch vyňat z podzemního zásobníku a přiveden společně s palivem (nejčastěji zemní plyn) do spalovací komory plynové turbíny. [18] Produkty spalování roztácejí turbínu, která je napojena na generátor produkující elektrickou energii. [1]



Obr 4.1 Schéma pneumatického systému [1]

4.4 Typy pneumatické akumulace

Ze základů termodynamiky umíme odvodit, že při kompresi plynu (vzduchu) se tento plyn značně zahřívá. Naopak expanze vyžaduje teplo dodávat. Jestliže při expanzi není dodáváno teplo, bude plyn značně chladnější. Odvod tepla při kompresi plynu značně zvyšuje účinnost celého zařízení. [20]

Existují 2 základní postupy, jak se pneumatická zařízení umějí vypořádat s teplem :

Adiabatická komprese (isoentropická)

Při adiabatické kompresi je snaha udržet kompresí vzniklé teplo a vrátit ho, když je vzduch expandován pro generaci energie. Tato technologie je zatím pouze objektem studií, zatím nebyla postavena žádná elektrárna tohoto typu, ovšem v Německu probíhá práce na projektu ADELE, který by měl být dokončen v roce 2013. Teoretická účinnost zařízení by měla být 100% při použití dokonalé izolace, ale předpokládaná účinnost se pohybuje okolo 70%. Teplo může být uloženo například odvodem do nějakého zásobníku s kapalinou (například horký olej se může nahřát až na 300°C). [20]

Izotermická komprese

U izotermické komprese se snažíme neustále udržet rovnováhu mezi teplotou vzduchu a teplotou okolí. Teplo způsobené kompresí se tedy vyměňuje s okolím a je odpadní.

Při tomto typu komprese je nutné plyn chladit mezi jednotlivými stupni komprese (použití tzv. mezichladičů). [20]

4.5 Geologie a pneumatická akumulace

Jako geologické útvary vhodné pro uskladnění vzduchu byly klasifikovány solná hornina, tvrdá skála a porézní skála.

Solná hornina

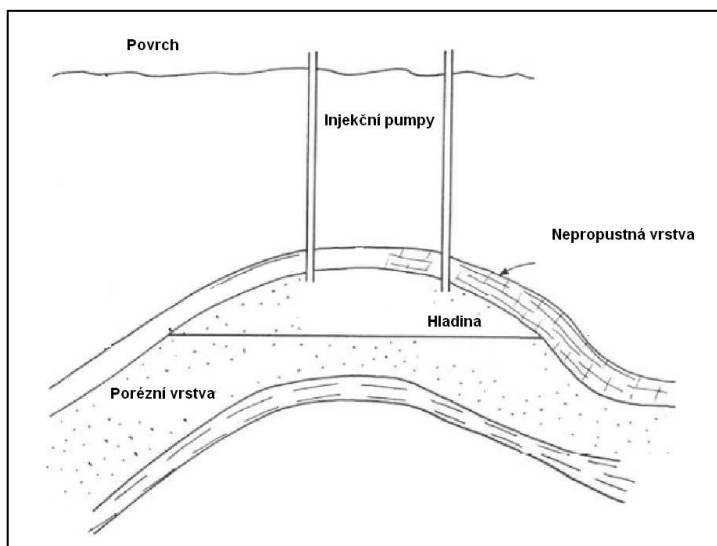
Solná hornina je díky svým elasto-plastickým vlastnostem velice výhodná pro uskladnění stlačeného vzduchu. V těchto zásobnících jsou minimální úniky stlačeného vzduchu. Tento typ uskladnění má ovšem také zásadní nevýhodu a tou je napadání lopatek turbín agresivní solí obsaženou ve směsi vypouštěného vzduchu. Účelem je také zkombinovat oblasti, kde pracují větrné elektrárny s oblastmi, kde se nachází tento typ horniny. Mezi tyto horniny patří hlavně vápencové horniny. [1]

Tvrdá hornina

Je asi nejpoužívanějším systémem. Mezi tyto zásobníky můžeme zařadit opuštěné doly, vytěžená ložiska ropy nebo zemního plynu, jeskyně, uměle vytvořené podzemní zásobníky. [1]

Porézní propustná hornina

Použití porézní horniny je velmi zajímavé. Využívá se dutin v porézní hornině, kde je ustálena hladina podzemní vody a dutina poskytuje místo pro stlačený vzduch. Porézní hornina musí být ovšem dále obklopena klasickou tvrdou horninou.

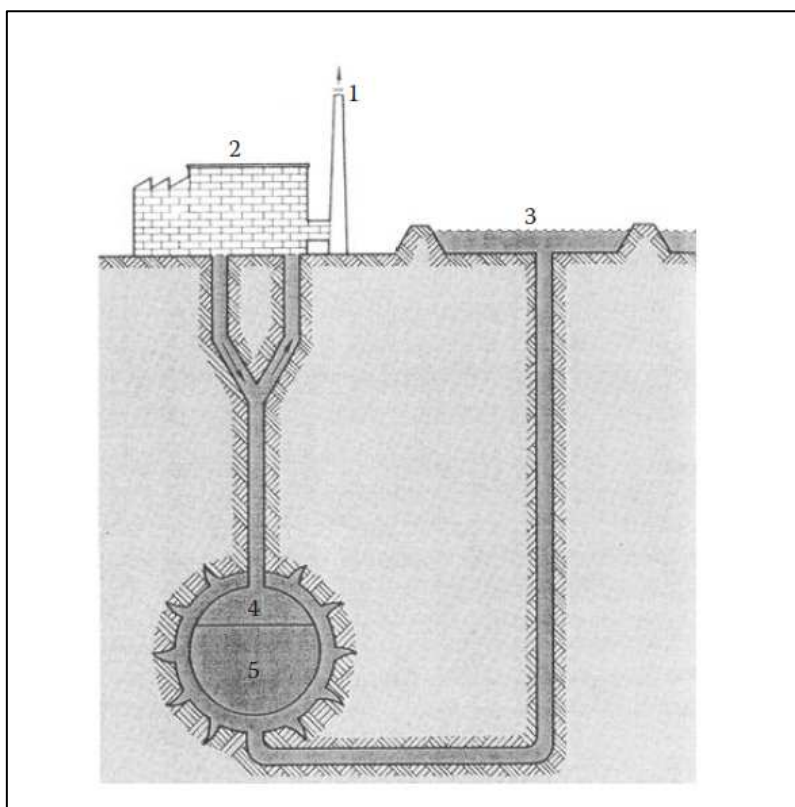


Obr 4.2 Ukázka skladování v porézní propustné hornině [1]

4.6 Typy zásobníků

Pneumatické elektrárny mohou pracovat několika způsoby, závisí hlavně na způsobu skladování a na typu horniny, ve které je zásobník utvořen. Nejpoužívanějším způsobem skladování je skladování za podmínek stálého objemu zásobníku. To znamená, že objem zásobníku je fixní a zásobník dokáže skladovat vzduch v celé škále tlaků. Tím ovšem vzniká problém, že se při expanzi vzduchu do turbíny tlak postupně snižuje, což je technologickým problémem pro konstrukci turbíny. Řešení je dvojí, lze navrhnout systém, kdy se turbína dokáže se změnami tlaku vypořádat. Druhou možností je zaškrčení vzduchu před vstupem do turbíny, takže do ní proudí vzduch o stálém tlaku. Tato varianta ovšem vyžaduje velké skladovací prostory pro stlačený vzduch, protože při škrčení vznikají značné ztráty. Jako příklad lze uvést elektrárnu The Huntorf CAES, kde rozmezí tlaků v zásobníku je od 48-66 bar, vzduch přiváděný do turbíny je škrčen na stálý tlak 46 bar. [1]

Třetím a principiálně odlišným způsobem je použití zásobníku, který dokáže zachovat stálý tlak tím, že mění svůj objem. K tomu je použita vyrovnávací nádrž, která dorovná tlak a objem zásobníku. Tento způsob nesmí být použit v solných horninách, ve kterých by voda působila jako rozpouštědlo na zdi zásobníku. Nemůže také být použito porézní horniny, protože by voda otekla s podzemní vodou, tudíž lze tento způsob realizovat pouze v pevné hornině[1].



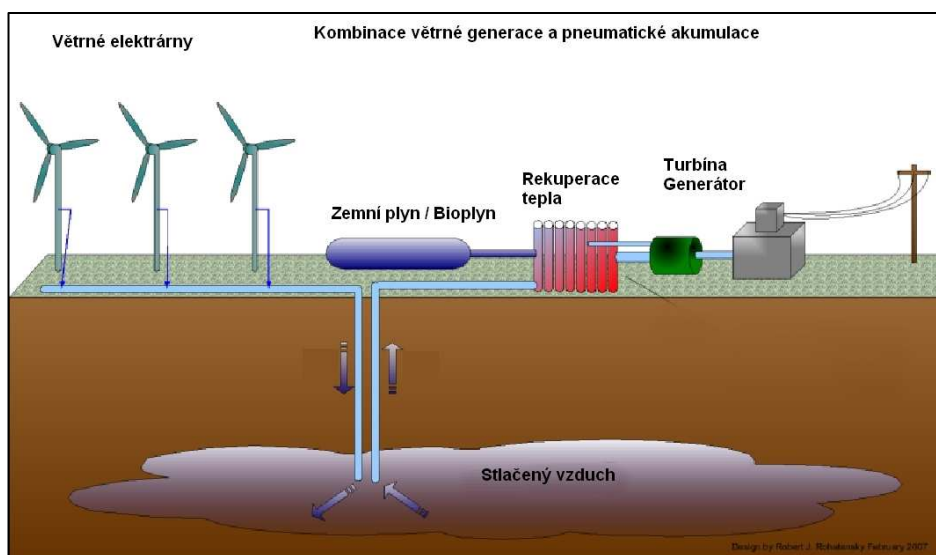
Obr 4.3 Schéma použití vyrovnávacího zásobníku [1]

4.7 Budoucnost a inovace

Ačkoli pracují tyto typy elektráren již několik desetiletí, je tato technologie na svém počátku. Většina z těchto zařízení je založena na klasické konvenční plynové turbíně. Je snaha v budoucnu zvyšovat výkon a snižovat cenu dodané energie.

Jednou z možností je zmenšit (nebo zcela eliminovat) závislost na palivu a tím se zbavit vypouštění spalin do atmosféry a spojit tuto technologii s termálním ohřevem. Nedávné studie ukazují, že značným vylepšením kompresoru a turbín lze dosáhnout tzv. pokročilé adiabatické akumulace (AACAES - Advanced Adiabatic CAES). Tento koncept počítá s vysokoučinností turbínou s velkou kapacitou pro ukládání tepla (termální akumulace). Tento koncept by měl být zcela nezávislý na palivu (zemní plyn).

Další z budoucích variant navrhuje začlenění kompresorů přímo do konstrukce větrných elektráren, které rovnou stlačí vzduch a budou ho pumpovat do podzemního zásobníku. Tím se eliminují ztráty, které vznikají dvojitou přeměnou energie u klasické pneumatické akumulace, kdy je větrná energie přeměněna na elektrickou a až po té na mechanickou energii kompresoru.

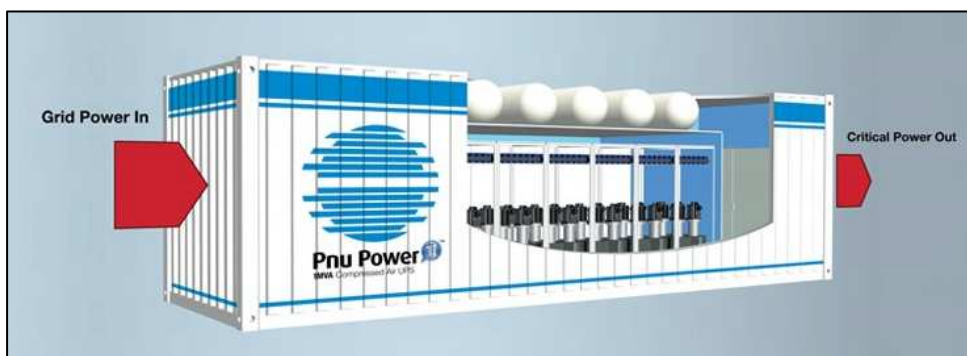


Obr 4.4 Schéma začlenění kompresorů do větrných elektráren [21]

Další budoucí technologií může být skladování stlačeného vzduchu pod vodou, kde je dostatečně velký tlak. Vzduch se naplní do plastových kontejnerů a ponoří se na dno jezera nebo na dno u pobřeží. [20]

4.8 Menší průmyslové jednotky

Jako příklad průmyslové jednotky lze uvést výrobek firmy Pnu POWER. Tato firma se zabývá výrobou tzv. baterií na stlačený vzduch. Princip funkce je prakticky stejný jako u větších elektráren, jenom vydaná elektrická energie je řádově menší a při expanzi není spalováno palivo. Dodaná elektrická energie musí být taková, aby dokázala v případě výpadku dodávat po dostatečně dlouhou dobu elektrický proud. Tyto záložní baterie jsou vhodné pro různá datová centra, centrální servery a další aplikace, kde je nemožné si dovolit jejich náhlé odpojení od elektrické energie.



Obr 4.5 Baterie na stlačený vzduch od firmy Pnu POWER [22]

5. Hydraulická akumulace

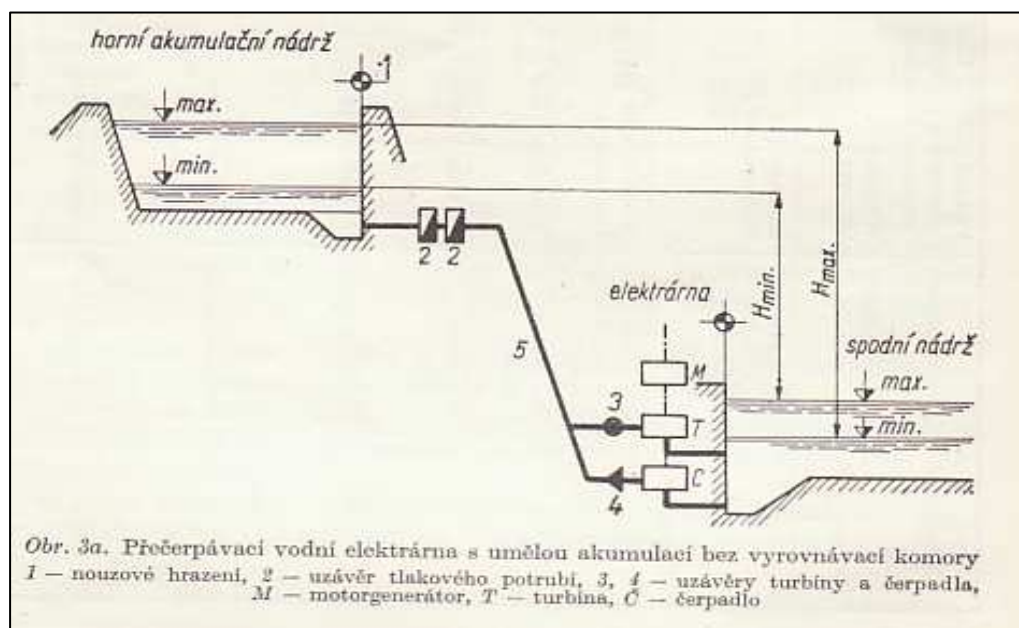
5.1 Úvod

Hydraulická akumulace je technologie umožňující skladovat velké množství přebytečné elektrické energie a v případě potřeby ho opět dodávat do sítě. Elektrická energie je v těchto zařízeních přeměněna na potenciální energii vody, která je zvednuta proti směru gravitačního působení, tím se tedy zvětšuje její potenciální energie. [1]

Myšlenka hydraulické energetické akumulace byla uskutečněna již koncem 19. století. První přečerpávací zařízení tohoto druhu bylo postaveno r. 1898 v železárnách Klus ve Švýcarsku. Jeho strojní zařízení se skládalo ještě z pístových čerpadel poháněných vodními turbínami a sloužilo k akumulaci tlakové vody pro hydraulické pohony zařízení železáren. Další zařízení byly už postaveny čistě z důvodu energetického zásobování (1904 – Ruppoldingen, Švýcarsko, výkon 1,3MW, spád 315m) [2]. Můžeme tedy říci, že rozmach této technologie začal již na přelomu 19. a 20 století a lze ji společně s elektrickou akumulací považovat za vůbec jednu z nejstarších technologií pro akumulaci energie.

Tato technologie se vyznačuje velkou kapacitou a jednoduchým začleněním do elektrické sítě. Například přečerpávací elektrárna Castaic (USA, Kalifornie) má výkon 1440 MW. [22] Pro srovnání, největší česká přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně má výkon 650 MW. [21]

Výhody PVE (přečerpávací vodní elektrárny) jsou ty, že dokážou rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě energie, jsou jednoduché na obsluhu a na rozdíl od ostatních způsobů akumulace elektrické energie mají delší životnost, ta se udává až 100 let. Další výhodou je velká účinnost, která se pohybuje okolo 80 %. Nevýhodou je náročnost konstrukce a možnost stavby jen ve vhodných terénních podmínkách. [21]



Obr 5.1 Schéma konstrukce vodní přečerpávací elektrárny [2]

V přímořských a ostrovních státech je možné na vhodných místech stavět i mořské přečerpávací elektrárny. Zatím jediným příkladem takového zařízení je přečerpávací elektrárna Okinawa Yanbaru na japonském ostrově Okinawa. V tomto případě byla postavena umělá horní nádrž nad hladinou moře. Voda se pak přečerpává z nebo do umělé horní nádrže. Umělá nádrž této přečerpávací elektrárny je umístěna 150 metrů nad hladinou moře a je do ní přečerpávána mořská voda. V současnosti je to jediná přečerpávací vodní elektrárna tohoto druhu, je ale plánována stavba podobných elektráren na Havajských ostrovech (USA) nebo také v Irsku. [21]



Obr 5.2 Přečerpávací vodní elektrárna Okinawa - Yanbaru [23]

Dalším rozšířením této technologie může být podzemní hydraulická akumulace. Je to vlastně adaptace předchozí technologie. Rozdíl je v tom, že jako spodní nádrž používáme podzemní prostory. Tento systém by mohl být vhodný pro akumulaci menšího rozsahu. Ovšem žádné takové zařízení nebylo dosud nikdy postaveno. Tento typ technologie bude rozveden v příští kapitole.

5.2 Energetická bilance

Vodní přečerpávací elektrárny vyžadují dva základní zdroje. Těmito zdroji jsou rozdíl elevace a voda. Pokud známe výšku elevace a množství vody, je jednoduché si vyjádřit celkové množství uložené energie podle jednoduchého vztahu pro potenciální energii:

$$P_e = mgh \quad [5.1]$$

kde P_e = potenciální energie v Joulech, m = hmotnost vody v m^3 , g je gravitační zrychlení $9,81 \text{ m}^2/\text{s}^2$ a h je rozdíl hladin v metrech.

Přečerpávací elektrárny se vyznačují vysokou účinností, následující tabulka ukazuje účinnosti jednotlivých ústrojí a účinnost výslednou.

Komponenty generace	
vedení vody	97,40%
turbína	91,50%
generátor	99%
transformátor	99,70%
<i>mezi-výpočet</i>	<i>89,44%</i>
Komponenty čerpání	
vedení vody	97,60%
turbína	92,50%
motor	99,00%
transformátor	99,80%
<i>mezi-výpočet</i>	<i>89,10%</i>
celková účinnost	79,78%

Tab. 5.3 Účinnost jednotlivých ústrojí [1]

Z tabulky tedy můžeme vyčíst, že na lopatkách turbíny se ztrácí největší množství energie.

Dalším vztahem známým z hydrodynamiky si umíme vyjádřit celkový výkon:

$$P = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot \eta \quad [5.2]$$

kde P je generovaný výstupní výkon ve Watech, Q je průtok v m^3/s , H je výškový rozdíl v metrech, g je gravitační zrychlení a η účinnost. Základním požadavkem je dosáhnout rovnováhy mezi výškou (spádem) a průtokem. Tyto dvě veličiny jsou si velmi příbuzné. [1]

5.3 Uspořádání a komponenty

Přečerpávací elektrárny se skládají z několika klíčových komponentů. Každý má významnou roli na celkovou funkci elektrárny.

Nádrže

Nádrže jsou kritické části elektrárny z hlediska životnosti. Jsou také zároveň hlavním místem uskladnění energie. Při výstavbě nových elektráren vznikají problémy zejména se stavbou těchto nádrží, které mají na okolí environmentální dopad. Přečerpávací elektrárny mají vždy dvě základní nádrže a to jsou spodní a horní nádrž[1].

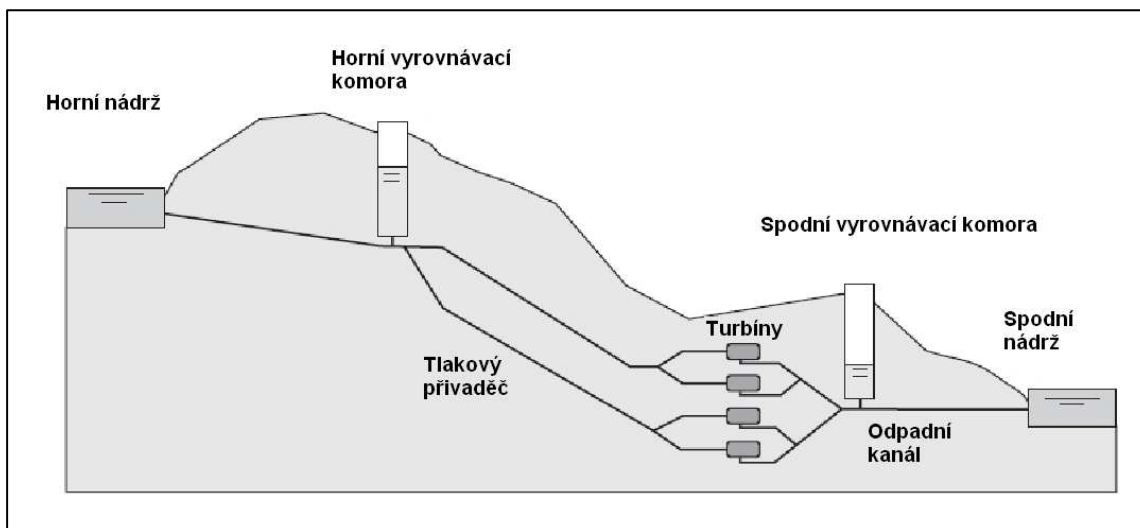
Horní nádrž může být provedena několika způsoby, ale nejpoužívanější jsou dva základní způsoby. Prvním způsobem je konstrukce elektrárny kaskádového stylu, kdy jsou nádrže postupně postaveny za sebou v horském údolí.(obrázek galerie). Druhým způsobem je utvoření horní nádrže na místě s velkou výškovou elevací, kdy je voda uskladněna uvnitř hory. [1]

Dolní nádrže mohou být vytvořeny uměle anebo může být použito například existující řeky. Dolní nádrž by měla být dostatečně velká a měla by mít dostatečnou rezervu, aby mohla vstřebat přitékající vody z horní nádrže při maximálním výkonu elektrárny. Alternativními dolními nádržemi mohou být například jezera, oceán, podzemní prostory nebo také zásobní nádrže pro zemědělce. [1]

Vedení vody

Ústrojí pro vedení vody můžeme rozdělit do několika částí. Základní složkou je tlakový přivaděč. Tlakový přivaděč je hlavním spojením mezi horní nádrží a turbínovým ústrojím a je velice důležitou součástí elektrárny. Přečerpávací elektrárny mohou mít jeden nebo více přivaděčů, které mohou být zabudovány pod nebo nad zemí.

Další částí je turbínové soustrojí. V minulosti byla turbínová část oddělena od čerpadla. Ovšem v moderních přečerpávacích elektrárnách jsou používány tzv. reverzní turbíny, které plní funkci jak turbíny při generaci energie, tak funkci čerpadla při pumpování vody do horní nádrže. Ze soustrojí putuje voda do odpadního kanálu, který dále ústí do spodní nádrže. [1]



Obr 5.3 Schéma ústrojí vodní elektrárny [1]

Další důležitou složkou jsou vyrovnávací komory, které vyrovnávají tlakové změny v potrubí způsobené otvíráním a zavíráním uzávěrů (tzv. hydraulický ráz). Tím se chrání veškeré strojní zařízení. [1]

Turbínové ústrojí

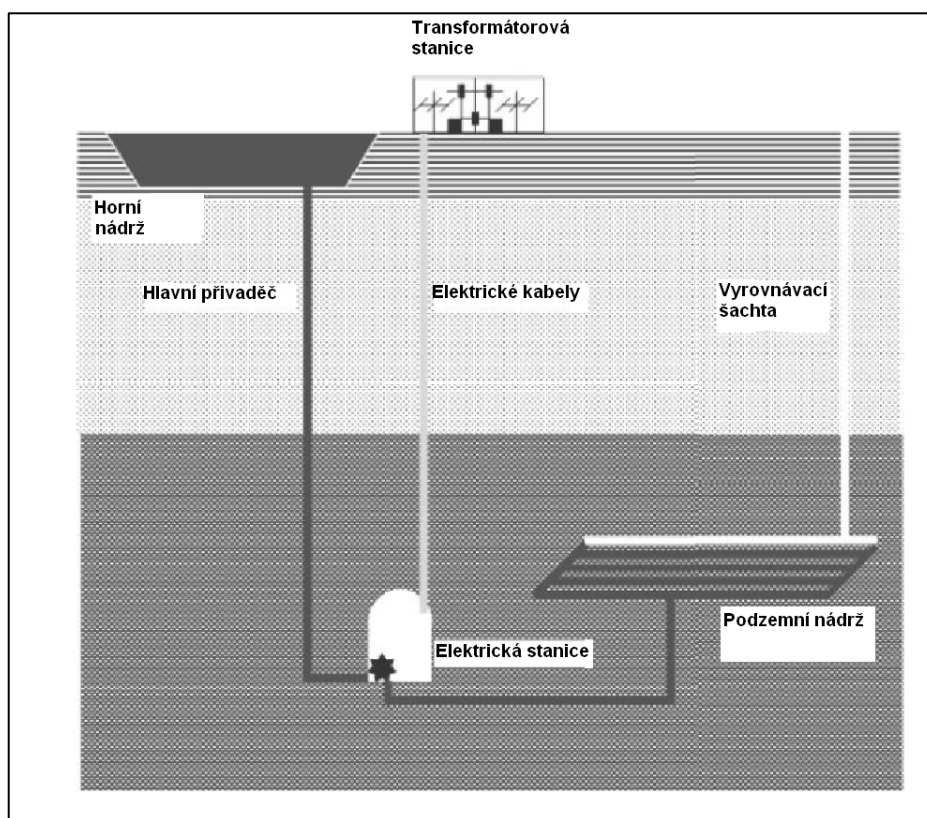
Většina dnešních přečerpávacích elektráren je vybavena Francisovou reverzní turbínou. Tyto turbíny umějí pracovat jako turbína i jako čerpadlo, když je potřeba. Existují též elektrárny s rozděleným ústrojím, je tím sice dosaženo větší účinnosti při přeměně energie, ale je to vykoupeno mnohem vyšší cenou samotné elektrárny.

6. Podzemní hydraulická akumulace

6.1 Úvod

Jak už bylo řečeno na začátku minulé kapitoly, podzemní hydraulická akumulace zatím nebyla v praxi provedena, je jen součástí různých studií. Do budoucna se ale počítá s jejím začleněním do elektrické sítě.

Výhodou této technologie je nezávislost na povrchové typologii, tudíž se značně zvětšuje počet míst, kde mohou být tyto elektrárny postaveny, ovšem je nutné opět vybírat místo s vhodnou geologií stejně jako u pneumatické akumulace. Další výhodou je zavedení vertikálního spádu vody, čím se značně snižují ztráty způsobené vedením vody. Dopad na životní prostředí je také značně menší než u konvenčních přečerpávacích elektráren, protože je potřeba pouze jedna skladovací nádrž (horní). [1]



Obr 6.1 Schéma podzemní hydraulické akumulace [1]

6.2 Uspořádání a celková konstrukce

Základním požadavkem systému je najít a vyhloubit spodní nádrž na geologicky vhodném místě. Podle studií se jako nejlepší jeví tvrdá skála. Struktura spodní nádrže by měla být taková, aby byla tvořena menšími propojenými jeskyněmi. To zlepšuje strukturální integritu zásobníku a je tedy bezpečnější než v případě použití jednoho velkého prostoru.

Při návrhu je také důležité zvážit hloubku spodní nádrže. Se zvětšující se hloubkou musí turbíny a veškeré ústrojí pracovat pod vyššími tlaky.

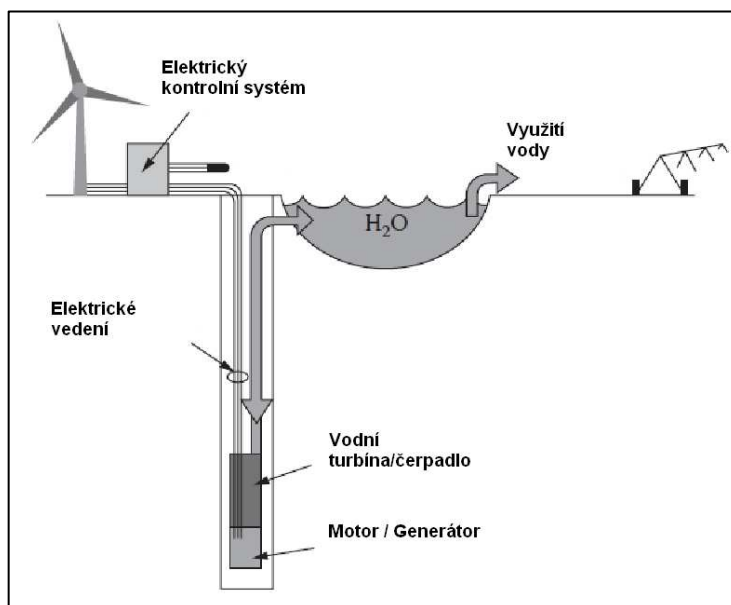
Dalším zajímavým konstrukčním prvkem těchto zařízení je umístění elektrárny s generátorem pod spodní nádrž do podzemí. Tím se omezují kavitační efekty a prodlužuje se životnost celého zřízení. Umístění elektrárny pod zemský povrch vyžaduje bezpečný přístup pro personál.

Je zřejmé, že hlavní bariérou pro rozšíření této technologie je náročnost vyhloubení velkého, podzemního a stabilního zásobníku, který se tlakovým působením vody nesmí bortit. Dalším problémem je přístup do podzemní elektrické stanice, která není vhodným pracovním prostředím pro lidský personál a musí být ovládána dálkově. [1]

6.3 Systémy využívající podzemní vodu

Systémy využívající podzemní vodu jsou vlastně vylepšením stávajících systému. Tento systém nemusí mít podzemní zásobník a jako zdroj používá místní zásoby spodní vody. Jinak je technologie totožná a základní technologické prvky se shodují. Energie se skladuje v horní nádrži a množství akumulované energie je dáno množstvím a vody a rozdílem hladin horní nádrže a spodní vody.

Při generátorickém chodu je voda vypouštěna zpět do podzemí a turbína umístěná v podzemí generuje elektrickou energii.



Obr 6.2 Schéma systému využívajícího spodní vodu [1]

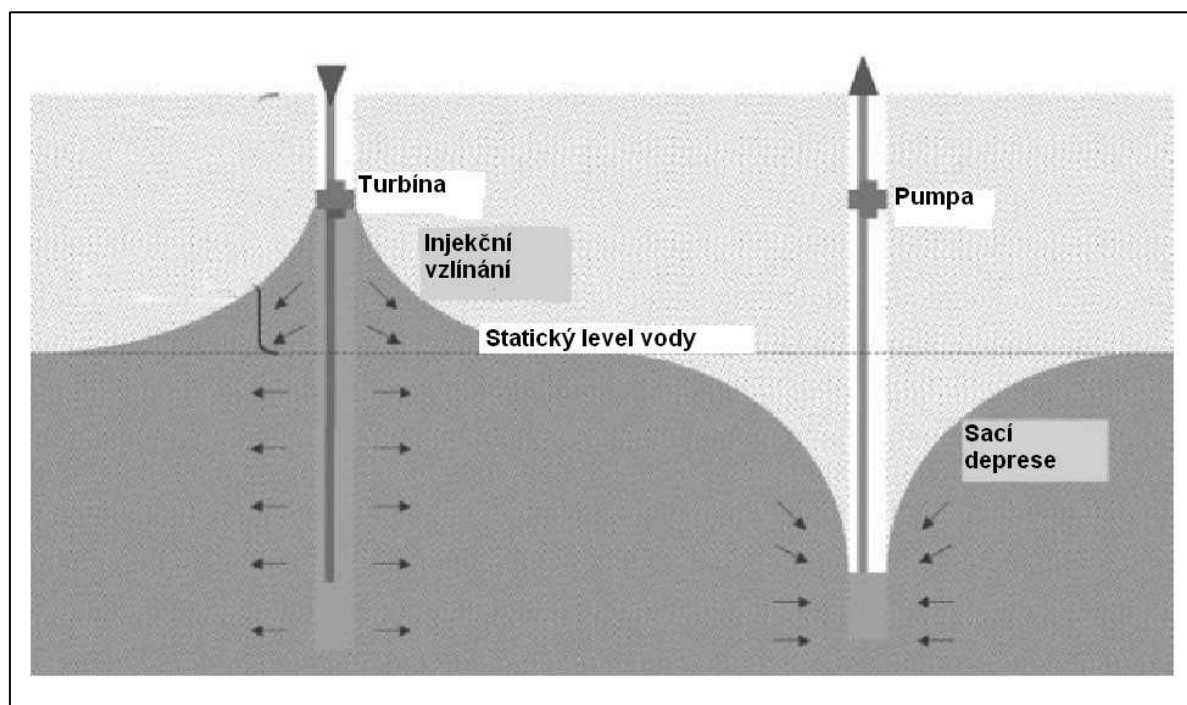
Tento systém je vhodné kombinovat přímo s různými zdroji obnovitelné energie, jako například s větrnými elektrárnami a fotovoltaikou. Základními prvky tohoto vylepšeného systému tedy jsou:

- zdroj energie (solární panely, větrná turbína, síť)
- horní nádrž
- hluboká studna s tlakovým přivaděčem
- integrovaná reverzní turbína
- elektrické centrum

Hlavní veličinou, která určuje výkon elektrárny, je zpětný průtok vody do podzemního zásobníku, který pohání turbínu. U klasického typu podzemního zásobníku tento průtok omezen není a je dán konstrukcí tlakového přivaděče. Ovšem u typů využívající spodní vodu může nastávat problém jak při nasávání vody, tak při její zpětné injekci zpět do podzemí.

Velmi důležitým činitelem je propustnost podloží pro vodu. Tento problém může nastat jak při čerpání vody do horní nádrže, kdy nestačí voda přitékat k čerpadlu, tak může nastat i při injekci vody při generaci energie, kdy voda nestačí odtékat a může se dokonce

začít vytékat z vrtu, čímž se přestává generovat energie. Tyto dva efekty jsou znázorněné na následujícím obrázku. Při konstrukci takového zařízení je tedy nutné provést důležitý hydrogeologický průzkum a posoudit vhodné vlastnosti a propustnost podloží.



Obr 6.3 Efekty vznikající při čerpání a injekci [1]

6.4 Podzemní turbína

Jádrem systému je integrovaná ponorná turbína a generátorová jednotka, která dokáže jak čerpat vodu do horní nádrže, tak ji vpouštět zpět pod zem. Použity jsou opět za sebou řazené Francoisovi turbíny. Schéma turbíny je uvedeno v příloze.

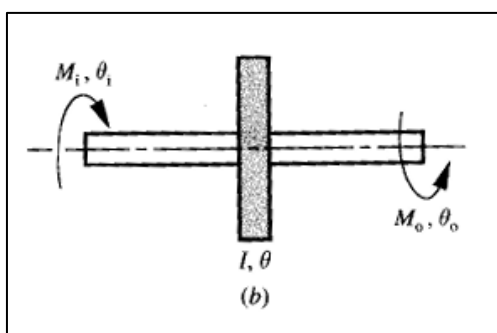
6.5 Budoucnost

Podzemní hydraulická akumulace je proveditelný způsob akumulace energie, která zatím ještě nebyla plně analyzována. Zatím tedy nebylo žádné takové zařízení postaveno. V posledních třech dekadách ovšem doznaly výrazného pokroku technologie, které usnadňují konstrukci těchto zařízení. Mezi ně patří rozvoj těžební technologie, zlepšení konstrukce turbín pro velké průtoky a rozvoj technik analyzující hydrogeologii podloží. Dnešní technologie pro extrakci ropy a uhlí z velkých hloubek jsou startovací body pro postavení některé z těchto elektráren. Konstrukce těchto zařízení je sice složitá a technologicky náročná, ale potenciál je obrovský.

7. Kinematická akumulace

7.1 Úvod

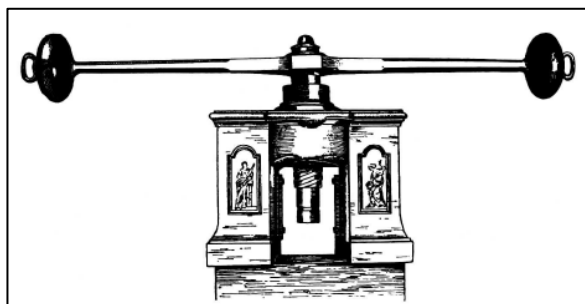
Kinetická akumulace elektrické energie je zajišťována pomocí setrvačníků. Setrvačník je takové zařízení, u kterého při zvyšování jeho úhlové rychlosti dochází k hromadění mechanické kinetické energie, kterou vydává při jejím snižování. Vstupní točivý moment M_i způsobuje zvýšení rychlosti setrvačnicku a tím i zvýšení mechanické energie. Výstupní točivý moment M_o způsobuje jeho zpomalování. Geometrie setrvačnicku je jedna z jeho nejdůležitějších a vlastností a má velký vliv na schopnost akumulace. [26]



Obr 7.1 Dynamický model setrvačnicku [26]

7.2 Historické pozadí

Technologie setrvačnicku je lidstvu známa už od dob starověku, kde bylo této konstrukce využito u hrnčířských kol, různých vřeten, jednoduchých vrtaček. Dalším krokem byla aplikace u vodních a větrných mlýnů. Ve středověku se konstrukce setrvačnicku používala například u ražení mincí. Většina těchto zařízení byla vyrobena ze dřeva. [25]



Obr 7.2 Razidlo mincí založené na principu setrvačnicku [25]

S objevem parního stroje a nástupem průmyslové revoluce došlo ke značnému zdokonalení této technologie. Významným krokem byl díky vzrůstající produkci velký pokles cen železa, ze kterého se později vyráběla litina a ocel. To dovolilo vyrábět setrvačnický z těchto nových materiálů. Díky vyšší hustotě materiálu a možnosti vyrábět součásti jako jeden kus pomocí odlévání se dosáhlo většího množství uskladněné mechanické energie. Díky materiálu se totiž výrazně zvětšil moment setrvačnosti, který přímo závisí na materiálových a geometrických parametrech setrvačnicku. Na rozdíl od starověkých a středověkých aplikací byl již setrvačnick použit čistě za účelem zachování energie. V době průmyslové revoluce byla například celá továrna poháněna jedním parním strojem a pomocí různých kladkových systémů a převodů byl výkon motoru převáděn na různá stanoviště. Tyto kladkové systémy sloužili přímo jako setrvačnický. [25]

Po objevu spalovacích motorů se jejich úloha nezměnila. Stále bylo úkolem dodanou mechanickou energii uchovávat. Setrvačnický byly dokonce využity u prvních automobilů (Benz, 1885). Je nutné podotknout, že osa byla umístěna ve vozidle vertikálně, aby se zabránilo gyroskopickým momentům působícím na řízení vozidla. S tímto problémem se při konstrukci automobilů setkávají také moderní inženýři. Do této doby byly používány pouze setrvačnický, které měly kruhový tvar a byly žebrováním spojené s geometrickým středem součásti. Ovšem v roce 1889 Benz patentoval nový vysokorychlostní spalovací motor, u kterého byl prvně použit setrvačnick diskového typu, který je dodnes rozšířený ve všech vysokorychlostních aplikacích. [25]

Ve druhé polovině 19. století přispěl ke zlepšení setrvačnicků také rozvoj parních turbín. Kvůli vysokým otáčkám bylo potřeba navrhnout a vyrobit nové vysokorychlostní komponenty, které dokážou snést takovéto podmínky. Tyto komponenty byly později využity u konstrukce setrvačnicků. [25]

V následujících osmdesáti letech došlo k mnoha pokusům o využití setrvačnicků jako akumulátorů energie. Ovšem rozvoj spolehlivých hydraulických akumulátorů limitoval jejich použití pouze pro několik příležitostných aplikací. Jednou ze známých aplikací je Gyrobus od švýcarské firmy Oerlikon. Poslední verze tohoto autobusu byla poháněna 1500 kg setrvačnickem, který měl průměr 1526 mm. To dávalo vozidlu operační rádius přibližně 2,7 km. Další několik takových aplikací bylo navrženo a v praxi použito, ale celkově měly velmi malý dopad na průmyslovou scénu. [25]

Pokroky ve výrobě vysokopevnostních a kompozitních materiálů na konci 60. let dovolily konstruovat setrvačnický, které byly schopné uchovávat více energie než ty konvenční. Také zvětšující se zájem o ekologické problémy uspěchal rozvoj všech druhů akumulátorů energie. Na začátku 70. let začala cena energie vzrůstat a v důsledku toho většina světových vlád začala vynakládat značné prostředky pro výzkum nových technologií, včetně setrvačnicků. Začalo se také uvažovat o supersetrvačnických, které skladují velké množství energie i přes malý rozměr setrvačnicku. I přes veškeré výzkumy se však zatím nedaří setrvačnický více začlenit do větších průmyslových aplikací. [25]

7.3 Základní parametry a definice

Všechny moderní akumulační setrvačnický obsahují několik součástí, jako například samotné tělo setrvačnicku, odolné skříně, ložiska, těsnicí systém, převodový systém a systém kontroly vakua. [25]

Celkovou velikost uložené mechanické energie můžeme vyjádřit pomocí vztahu:

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad [7.1]$$

kde E představuje energii vyjádřenou v Joulech, I je moment setrvačnosti v jednotkách $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ a ω značí úhlovou rychlost vyjádřenou v radiánech za sekundu.

Dalším parametrem, kterým můžeme vyjádřit kvalitu akumulace energie, je hustota energie. Je to podíl mezi energií uloženou v akumulátoru a hmotou akumulátoru. Podle hustoty energie můžeme setrvačníky dělit do 3 kategorií. [25]

Dělení setrvačnicků z hlediska hustoty energie:

Nízká hustota energie	méně než 36 kJ/kg
Střední hustota energie	mezi 10 – 25 kJ/kg
Vysoká hustota energie	více než 90 kJ/kg

7.4 Výhody a nevýhody

Asi největším rozdílem oproti jiným akumulátorům energie je, že všechny systémy obsahující setrvačníky mají velmi velkou hustotu energie. Mohou být nabity na velice velké hodnoty energie a také mohou velké množství vydat. Jediným omezením jsou otáčky, které dokáže setrvačnick vydržet bez vzniku závady. Setrvačníky jsou často přezdívány „mechanické kondenzátory“ díky jejich vlastnosti rychle akumulovat a rychle vydávat energii. [26]

Další výhodou je absolutní absence znečištění ve všech formách, jak chemické, tepelné a akustické, když je systém správně instalován. Z tohoto pohledu je při srovnání s ostatními akumulátory setrvačnick ve značně výhodě. [26]

Setrvačníky samotné mají velmi velkou účinnost, i když jsou ztráty závislé na čase, po který je energie akumulována. Pro krátké časové úseky je účinnost téměř 100%, pro střední nebo delší časové úseky účinnost s rostoucím časem klesá. Ovšem nejnovější setrvačníky mají velmi vospělou konstrukci, která dovoluje skladovat energii po delší časové úseky. Těleso setrvačnicku je uloženo ve vakuu, aby se zabránilo ztrátám, které vznikají třením vzduchu. Setrvačníky konstruované pro práci v atmosférickém tlaku mohou skladovat energii pouze pro krátké časové úseky. Také systém uložení pomocí ložisek musí být navržen pro velkou účinnost. Vospělé setrvačníky používají jako ložiska magnetický polštář. Tím se ztráty způsobené třením minimalizují. [26]



Obr 7.3 Schéma moderního setrvačnicku [27]

Hlavním zdrojem ztrát je samotný přenos energie, například pomocí převodů na hřídel generátoru. Záleží také na formě výstupní energie. Výhodou skladování formou mechanické energie je absence ztrát převáděním forem energie, jako například u hydraulické akumulace, kdy je potenciální energie vody nejprve přeměněna turbínou na kinematickou. [26]

Některé nevýhody souvisejí spíše s psychologickým hlediskem, nežli s technickým. Typickým příkladem představuje bezpečnostní problém, který by nastal při havárii setrvačnicku. Při velké úhlové rychlosti a velké hmotnosti celého zařízení by taková havárie mohla mít katastrofické následky. Je totiž technicky náročné postavit ochrannou obalovou strukturu, která by zastavila letící úlomky způsobené havárií. Takováto struktura by musela mít několikrát větší hmotnost, než samotné zařízení setrvačnicku. Z tohoto důvodu musí setrvačnický pracovat s velkou bezpečnostní rezervou, což snižuje jejich schopnost efektivně akumulovat energii. Kvůli menší úhlové rychlosti se musí zvětšovat velikost rotoru a tím se zvětšuje velikost celého zařízení. [26]

Dalším problémem, který je ovšem snadné překonat, je hluk, kdy nejvíce hluku je způsobeno převodem. Jestliže jsou však návrh a konstrukce správné, mohou být setrvačnický velmi tiché, zvláště pak, pracují-li ve vakuu. Asi největší nevýhodou je nutnost alespoň jednoho rychle se otáčejícího se komponentu. S tím souvisejí problémy spojené s únavou, opotřebením a vibracemi. [26]

7.5 Využití

Využití setrvačnicku v praxi je velmi široké. Nalézají své uplatnění v automobilovém průmyslu, železniční dopravě, vyrovnávání energetických výkyvů v síti.

Systému pro akumulaci elektrické jsou funkční od roku 2001 a mají akumulační kapacitu srovnatelnou s bateriemi, mají ovšem rychlejší možnost vybití. Jsou hlavně

používány pro vyrovnávání výkonu sítě, dále jako nouzový zdroj energie pro datová centra. Příkladem využití setrvačnicků pro vyrovnávání rozdílů v elektrické síti je soustava setrvačnicků od firmy Beacon Power, umístěná ve městě Stephentown, New York, která je funkční od roku 2011. Může do sítě dodávat výkon až 20 MW. [28]

Provozní cena setrvačnicku je asi poloviční ve srovnání s tradiční baterií. Jediná údržba, která se musí provádět, je výměna ložisek po několika letech, u moderních levitujících setrvačnicků dokonce tato výměna odpadá. [28]

Dalším příkladem je využití u americké letadlové lodi Gerald R.Ford. Energie akumulovaná v setrvačnicích je přeměněna na elektrickou energii, která napájí elektromagnetický systém pro palubní katapult. [29]

Dalším praktickým využitím setrvačnicku je známý KERS (Kinetic Energy Recovery System) používaný u monopostů formule 1. Je to soustava, která uchovává kinetickou energii ztracenou (ve formě tepla) při brzdění automobilu ve formě mechanické energie v setrvačnicku. Takto uchovaná energie je poté v případě potřeby využita pro zrychlení vozidla. Při využití systému KERS u monopostu lze dosáhnout krátkodobého zvýšení výkonu až o 60 kW na 6,7 sekundy v každém kole. [30]



Obr 7.4 Setrvačnick systému KERS [30]

8. Akumulace pomocí supravodičů

8.1 Úvod a základní údaje

Supravodič je materiál, slitina kovu nebo sloučenina, která vede elektrický proud téměř bez odporu, jestliže teplota klesne pod určitý bod. Odpor je nežádoucí, protože způsobuje ztrátu energie proudící v materiálu (tepelné ztráty). [31]

Supravodivost je známá téměř sto let a za tuto dobu se povedlo fyzikům objevit jak supravodiče I. typu, tak také supravodiče II. typu, které jsou výrazněji ekonomičtější a ve většině směrů mají lepší vlastnosti. Supravodiče I. typu, které nazýváme měkké supravodiče a které byly objeveny jako první, jsou prvky a jejich přímé slitiny. Musíme je chladit kapalným heliem. Jelikož supravodivost u tohoto typu je možná většinou jen pod 4 K (-269 °C), je zkvalňování helia je poměrně nákladné. Supravodiče II. typu je možné chladit kapalným dusíkem, který je výrazně levnější. Nejvyšší teplota, jaká je u supravodičů II. typu dosažena je 138 K (-135 °C). [31]

8.2 Princip a vlastnosti akumulace

Elektrická energie je uložena jako energie elektromagnetického pole supravodivé cívky, kterou protéká stejnosměrný proud. Výhody této technologie jsou rychlé najetí do plného provozu (téměř okamžitě), nekonečný počet vybíjecích a nabíjecích cyklů, žádné pohybující se části (z toho plyne nenáročná obsluha), rychlá možnost dobítí a vysoká účinnost, která se pohybuje okolo 95 %. Jedná se také o jeden z mála přímých akumulátorů energie, které akumulují přímo samotnou elektrickou energii (stejnou vlastnost mají také kondenzátory). [32]

Tato zařízení se skládají ze 4 základních částí. Tou první je supravodivý magnet, další je kryogenický chladicí systém, dále napájecí systém, který spojuje supravodič se sítí. Posledním článkem je kontrolní a řídicí systém. [32]

Nevýhodou a velkým nebezpečím je do budoucna působení silného magnetického pole na okolní přírodu a živočichy. U nynějších zařízení jsou magnetická pole, která akumulují menší množství energie, velmi malá. Do budoucna se počítá s mnohem většími supravodivými akumulátory a některé studie dokazují, že takto velká magnetická pole mohou narušit magnetické pole planety Země. Je proto nutné výrazně studovat dopady těchto zařízení na životní prostředí, ač se zdají být na první pohled jako ekologicky „čistě“. [32]

Závěr

Celkem je v této práci rozebráno 5 základních typů akumulátorů elektrické energie, mezi které patří akumulátory elektrochemické, elektrické, pneumatické, hydraulické a kinematické. Každý typ akumulátoru pracuje na jiném principu a má své výhody a nevýhody, některé souvisí se zásahem do životního prostředí, některé souvisí se složitou konstrukcí. Obecně se dá ale říci, že přínos těchto zařízení je pro společnost spíše kladný než záporný.

Cílem Evropské unie je do roku 2020 vyrábět až 20% celkové energie z obnovitelných zdrojů. S rostoucím podílem elektrické energie generované z obnovitelných zdrojů se tedy bude zvyšovat nerovnoměrné zatížení elektrické sítě. Regulace těchto zdrojů je nesnadná, a proto bude zájem o výzkum a výstavbu nových typů akumulátorů značně narůstat. Je možné, že se v nadcházejících letech setkáme v praxi s některými experimentálními typy akumulátorů, které byly zmíněny v této práci.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BARNES, Frank S a Jonah G LEVINE. *Large energy storage systems handbook*. Boca Raton, Florida.: CRC Press, 2011, 244 s. ISBN 978-142-0086-003.
- [2] HUŠEK, Josef. *Přečerpávací vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1963, 320 s.
- [3] CENEK, Miroslav. *Akumulátory a baterie*. Vyd. 1. Praha: STRO.M, 1996, 149 s. Elektro.
- [4] TYRBACH, Jaromír. *Základní elektrárenské pojmy* [online]. [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: http://web.telecom.cz/tyrbach/Zakladni_elektr_pojmy.pdf
- [5] ZAJAC, Jaromír. Jak uložit energii. Magazín 3Pól[online]. [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://3pol.cz/470-jak-ulozit-energii>
- [6] *Dejvice.cz: Energetické mýty* [online]. [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: http://www.dejvice.cz/edison/energeticke_myty.html
- [7] *Fuel Cells 2000: Fuel Cells & Hydrogen* [online]. [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <http://www.fuelcells.org/fuel-cells-and-hydrogen/>
- [8] Galvanický článek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Galvanick%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek.svg
- [9] *ClimateTechWiki: Battery comparsion* [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://climatetechwiki.org/sites/default/files/images/extra/Comparison%20between%20several%20batteries.jpg>
- [10] *Přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.dlouhe-strane.cz/cs/fotogalerie>
- [11] *Electropaedia: Flow Batteries* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/flow.htm>
- [12] Solarenavi: Cellcube Fb 10-100 [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/produkty/vanadium-redox/cellcube-fb-10-100/>
- [13] Solarenavi: Cellcube Fb 10-100 [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: http://www.solarenavi.cz/assets/img-products/img_fv_Cellstrom-Cellcube_02.jpg
- [14] *Maturitanazamku.kvalitne.cz: Elektrická trakce* [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.maturitanazamku.kvalitne.cz/pdf/ELN25A.pdf>
-

- [15] KREJČÍ, František. *Elektrická trakce*. *maturitanazamku.kvalitne.cz* [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.maturitanazamku.kvalitne.cz/pdf/ELN25A.pdf>
- [16] VOJÁČEK, Antonín. *Superkondenzátor - princip, vlastnosti, použití. automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006122601>
- [17] ALLEN, Greg. *About Ultracapacitors*. *ultracapacitors.org* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.ultracapacitors.org/index.php?option=com_content&Itemid=77&id=106&task=view
- [18] ŠKORPÍK, Jiří. *Tepelná turbína a turbokompresor*. *transformacni-technologie.cz* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/tepelna-turbina-a-turbokompresor.html>
- [19] *bellona.org: saline aquifer* [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://bellona.org/ccs/technology/storage.html>
- [20] Compressed air energy storage. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_air_energy_storage
- [21] Přečerpávací vodní elektrárna. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Přečerpávací_vodní_elektrárna
- [22] R. FOSNACHT, Donald. *Pumped hydro energy storage using abandoned mine pits on the Mesabi iron range Minnesota*. <http://www.nrri.umn.edu> [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.nrri.umn.edu/egg/REPORTS/Presentations/phes_presentation.pdf
- [23] *web.archive.org: Seawater pumped-storage power plant* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://web.archive.org/web/20020708041342/http://www.jcold.or.jp/Eng/Seawater/Seawater.htm>
- [24] *engineeringnews.co.za: Pumped-storage schemes – natural batteries for electricity storage* [online]. aktualizace 18.4. 2008 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.engineeringnews.co.za/article/pumpedstorage-schemes-natural-batteries-for-electricity-storage-2008-04-18>
- [25] GENTA, G. *Kinetic energy storage: theory and practice of advanced flywheel systems*. Boston: Butterworths, 1985, 362 s. ISBN 04-080-1396-6.
-

- [26] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0..
- [27] BALÁČ, Jan. Akumulace elektrické energie. *All for Power*. Ostrava: Konstrukce Media, s.r.o, roč. 2011, č. 02, s. 2. ISSN 1802-8535.
- [28] Flywheel energy storage. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Flywheel_energy_storage#Wind_turbines
- [29] Grid energy storage. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Grid_energy_storage
- [30] Kinetic Energy Recovery System. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/KERS>
- [31] Supravodič. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Supravodič>
- [32] SHRADHA, Lama a TRISHA. *SMES- Superconducting magnetic energy storage*: <http://www.slideshare.net> [online]. aktualizováno 5.4. 2010 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/trishasingh/dsmes>

Seznam příloh

- Příloha 1 Příklad uskladnění stlačeného vzduchu
- Příloha 2 Denní diagramy spotřeby
- Příloha 3 Experimentální ponorná turbína

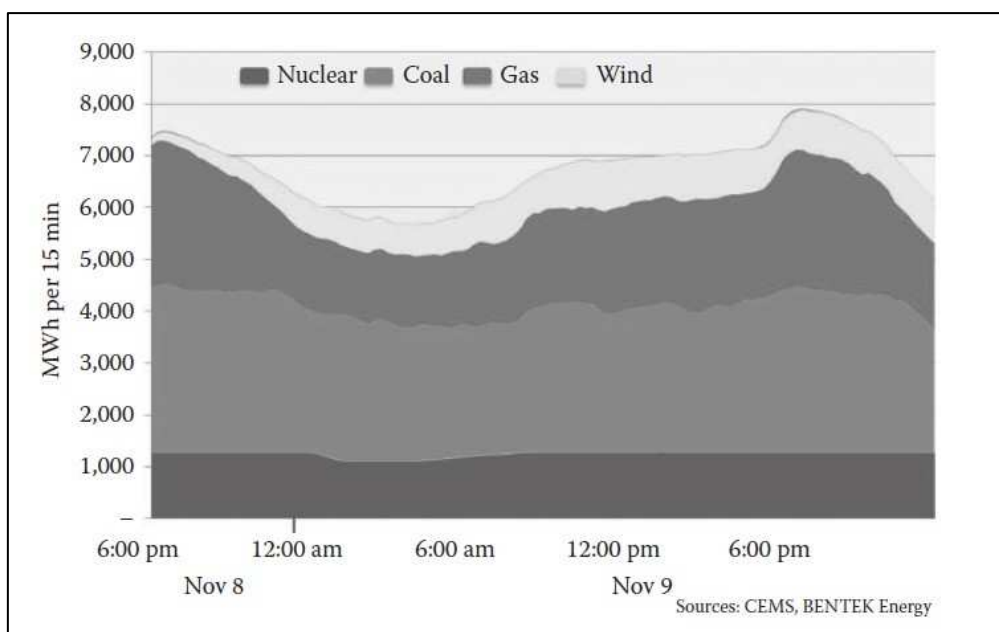
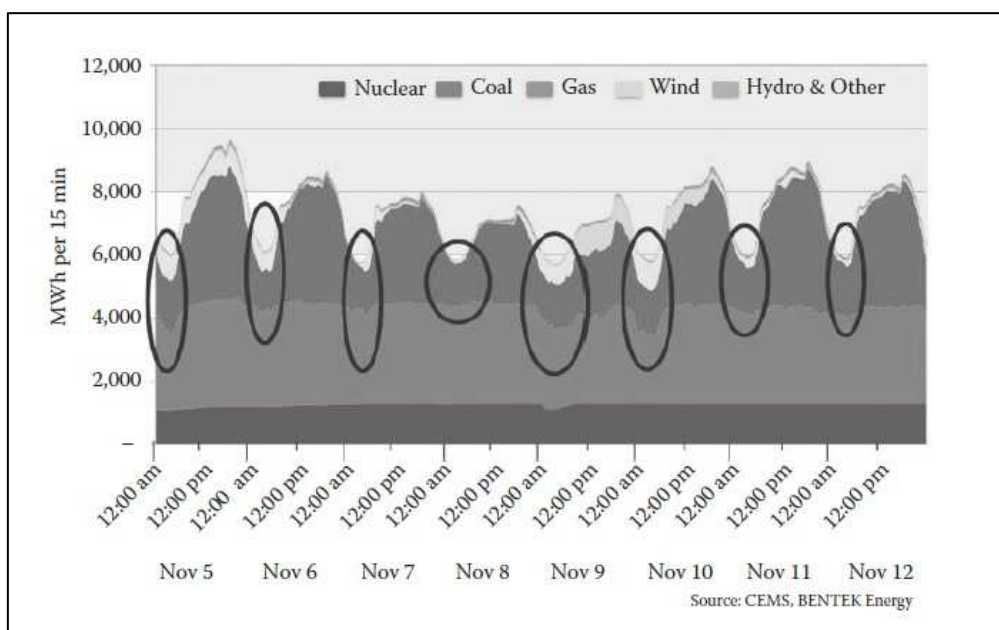
Příloha 1



Řez geologií při akumulaci stlačeným vzduchem

Zdroj [19]

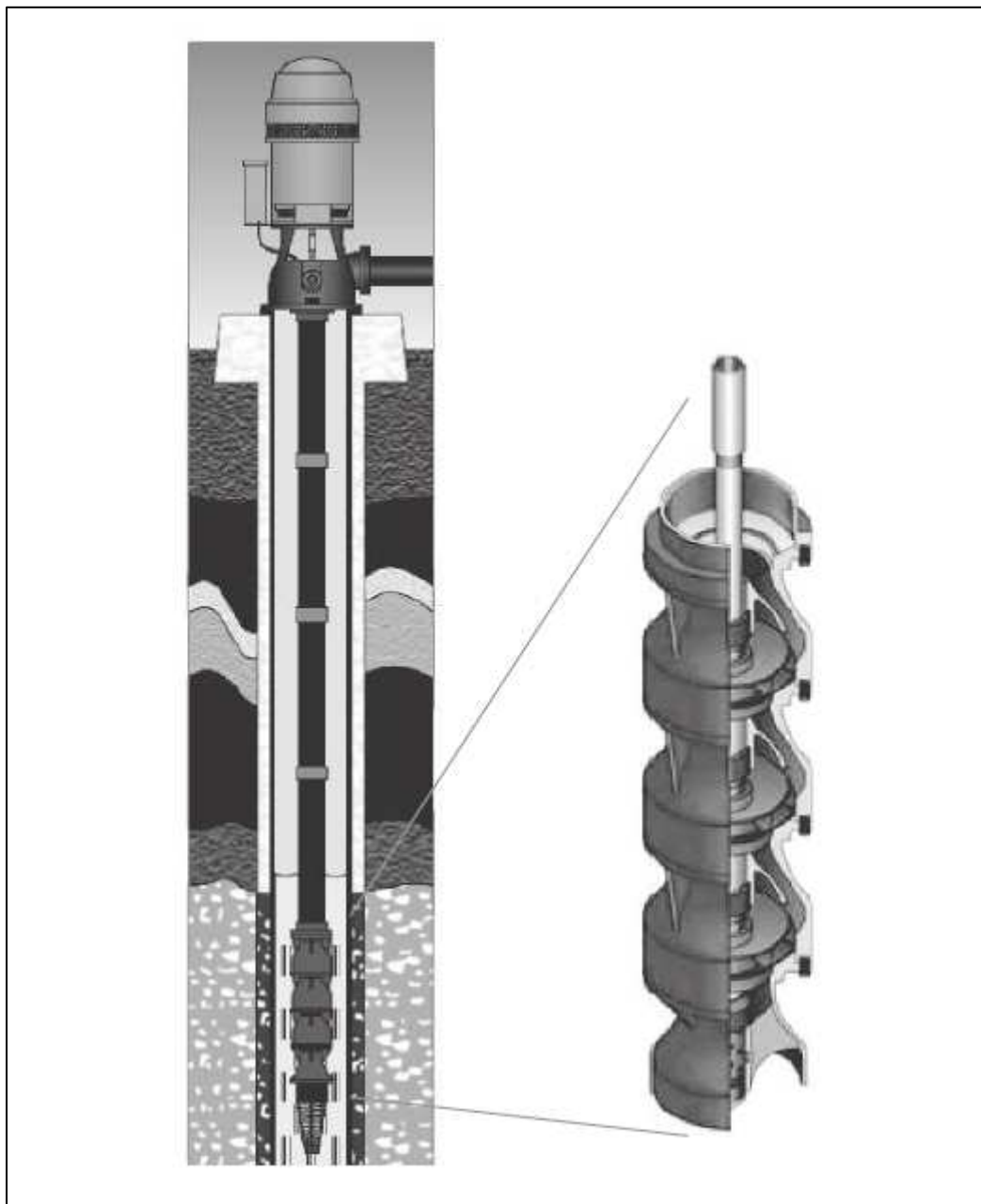
Příloha 2



Příklady denních diagramů spotřeby

Zdroj [1]

Příloha 3



Experimentální ponorná turbína

Zdroj [1]