

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Technická
fakulta**

Možnosti akumulace elektrické energie

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Autor práce: Tatiana Gurianova

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tatiana Gurianova

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Možnosti akumulace elektrické energie

Název anglicky

The possibility of accumulation of electrical energy

Cíle práce

Z dostupné literatury popsat fyzikální podstatu akumulace elektrické energie. Charakterizovat možnosti a způsoby akumulace elektrické energie, porovnat jejich výhody a nevýhody a ekonomicky zhodnotit.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

Doporučený rozsah práce

25 – 30 stran

Klíčová slova

Akumulace elektrické energie, fyzikální podstata, možnosti využití, náklady, přínosy.

Doporučené zdroje informací

- HALLIDAY, D. – RESNICK, R. – WALKER, J. – VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, – OBDRŽÁLEK, J. *Fyzika : vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: Vutium, 2000. ISBN 80-214-1869-9.
- HALPERN, A.: *3000 Solved Problems in Physics*. McGraw-Hill, New York, 1988, 751 pp. ISBN 0-07-025734-5
- JARDINE, J.: *Physics through Applications*. Oxford University Press, Oxford, 1991, 247 pp. ISBN 0-19-914280-7
- MECHLOVÁ, E. – KOŠTÁL, K. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. Praha: Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 20. 12. 2017

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: "Možnosti akumulace elektrické energie" vypracovala samostatně a s použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědoma že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 17.04.2020 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala RNDr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za věcné připomínky, praktické rady a čas, který mi věnoval při zpracovávání bakalářské práce.

Možnosti akumulace elektrické energie

Abstrakt

Tato bakalářská práce seznamuje čtenáře s jednotlivými metodami akumulace elektrické energie a vysvětluje jejich principy. Jedná se především o metody, které jsou v současné době nejrozšířenější, případně jsou ve fázi vývoje a vzhledem k jejich vysokému potenciálu jsou v práci obsaženy. Podstatná část práce se zabývá právě metodou akumulace elektrické energie pomocí elektrochemických článků, která se neustále vyvíjí a zdokonaluje. Jednotlivé metody jsou následně mezi sebou porovnány.

Klíčová slova: akumulace elektrické energie, fyzikální podstata, možnosti využití, náklady, přínosy.

The possibility of accumulation of electrical energy

Abstract

This bachelor thesis acquaints the reader with individual methods of accumulating electrical energy and explains their principles. These are mainly methods that are currently widely used or are in the development phase and due to their high potential are included in the work. A substantial part of the work deals with the method of accumulation of electrical energy by means of electrochemical cells, which is constantly developing and improving. Individual methods are then compared with each other.

Keywords: accumulation of electrical energy, physical nature, possibilities of use, costs, benefits.

Obsah

1 Úvod	10
2 Cíl	10
3 Metodika práce	11
4 Elektrická energie	11
4.1 Proč akumulovat elektrickou energii	11
5 Možnosti akumulace elektrické energie	11
5.1 Rozdělení elektrických akumulátorů	12
6 Přehled systémů pro akumulaci elektrické energie	14
6.1 Elektrochemické akumulátory	14
6.1.1 Olověné akumulátory	15
6.1.2 Alkalické akumulátory	18
6.1.3 Nikl-kadmiové (NiCd) akumulátory	20
6.1.4 Nikl-metal (NiMH) hydridové akumulátory	23
6.1.5 Lithium-iontové (Li-Ion) akumulátory	25
6.1.6 Lithium-polymerové (Li-Pol) akumulátory	27
6.1.7 Další druhy elektrochemických akumulátorů	29
6.2 Elektromagnetické akumulátory	31
6.2.1 Supravodivé akumulátory	31
6.2.2 Superkapacitory	32
6.3 Mechanická akumulace	34
6.3.1 Přečerpávací vodní elektrárny	34
6.3.2 Stlačený vzduch	35
6.3.3 Setrvačníky	36
6.4 Další možnosti	38
6.4.1 Akumulace ve vodíku	38
7 Porovnání (náklady, ekonomické zhodnocení)	39
7.1 Porovnání z hlediska účinnosti	40
7.2 Výhody a nevýhody jednotlivých možností akumulace	41
8 Závěr	42
9 Seznam použitých zdrojů	43

Seznam obrázků

Obrázek 1 Možnosti akumulace elektrické energie	13
Obrázek 2 Přímé možnosti akumulace.....	13
Obrázek 3 Nepřímé možnosti akumulace	14
Obrázek 4 Schéma olověného akumulátoru.....	15
Obrázek 5 Schéma primárního alkalického článku	19
Obrázek 6 Schéma Nikl-kadmiového akumulátoru.....	21
Obrázek 7 Schéma lithiium-iontového akumulátoru	26
Obrázek 8 Lithium-polymerový akumulátor.....	27
Obrázek 9 Schéma dvouvrstvého kondenzátoru	32
Obrázek 10 Schéma přečerpávací vodní elektrárny	34
Obrázek 11 Schéma akumulace elektrické energie pomoci stlačeného vzduchu.....	36
Obrázek 12 Schéma setrvačníku.....	37
Obrázek 13 Princip fungování vodíkového palivového článku	38

1 Úvod

V současném světě se elektrická energie aktivně využívá jak různými odvětvími hospodářství, tak i jednotlivými spotřebiteli. Je třeba zmínit, že v moderním světě, kde má spotřebitel k dispozici velké množství různých elektrospotřebičů, význam efektivní akumulace a spotřeby elektrické energie stále roste. V dané bakalářské práci jsou charakterizovány a porovnány různé způsoby akumulace elektrické energie a jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody.

Vzhledem k nárůstu spotřeby elektrické energie a k posílení ekologického povědomí řadových spotřebitelů a k silnější ochraně životního prostředí na vládní a na mezinárodní úrovni, rostou nároky na kvalitu a ekologičnost akumulace elektrické energie. Na druhou stranu, vyčerpání některých přírodních zdrojů ve světě klade nároky na šetrnější využití vzácných zdrojů.

Lze říct, že v současném světě existuje několik tendencí v oblasti akumulace elektrické energie, které ve značné míře ovlivňují kvalitu a rozsah ukládání daného druhu energie. Jedná se např. o již zmíněný důraz na ekologičtější a šetrnější spotřebu elektrické energie, možnost mít po delší dobu k dispozici autonomní zdroje energie a zvýšení spotřeby elektrické energie jako takové, vyvolané aktivním využitím různých technických zařízení spotřebiteli (mobilů, gadgetů apod.). Při vývoji nových způsobů akumulace elektrické energie a zdokonalování těch stávajících je nutné zohlednit nejen finanční, časovou a prostorovou náročnost různých způsobů využití elektrické energie, ale rovněž požadavky řadových obyvatel a podniků, které mohou upřednostňovat některé typy ukládání akumulace elektrické energie před jinými.

2 Cíl

Hlavním cílem této bakalářské práce je charakteristika způsobů akumulace elektrické energie a porovnání jejich výhod a nevýhod. Za druhořadý cíl práce lze považovat vytvoření přehledu o tom, jaké existují způsoby ukládání elektrické energie a určení toho, jak se od sebe tyto způsoby odlišují.

3 Metodika práce

Metodami, využitými v této práci jsou metoda deskripce, literární rešerše a metoda komparace. Metoda deskripce slouží k popisu různých způsobů ukládání elektrické energie, zatímco metoda literární rešerše umožňuje využití informací z vědeckých zdrojů, jakými jsou například odborné monografie a časopisy. Metoda komparace se využívá k porovnání charakteristik jednotlivých typů ukládání elektrické energie z hlediska vybraných kritérií.

4 Elektrická energie

Elektrická energie představuje energii ve formě elektrického proudu a elektrického napětí. Vzhledem k ekologičnosti, univerzálnosti, přenositelnosti na dálku a jednoduššímu rozvodu se tento druh sekundární energie pokládá za nejužívanější. Podstatou elektrické energie je tok volných elektronů při vodivém spojení míst, kde existuje rozdílný elektrický potenciál. (CEZ.CZ, 1999)

Výroba elektrické energie je proces generování elektrické energie ze zdrojů primární energie. Většina elektřiny se vyrábí v uhelných a jaderných elektrárnách, a dále v elektrárnách využívajících obnovitelné zdroje energie.

4.1 Proč akumulovat elektrickou energii

Hlavním problémem elektřiny je to, že její výroba musí odpovídat spotřebě, která se může rychle a výrazně měnit. Technologie skladování energie uschovává energii, když je spotřeba nižší než její výroba, a dodávají energii, když je spotřeba vyšší než její výroba. Tím je zajištěna energetická bezpečnost a připravenost, například v případě havárie v elektrárně; umožňuje vyrovnávat zatížení sítě, kde je elektřina vyráběna pomocí obnovitelné energie. Systémy skladování energie jsou také užitečné pro spotřebitele - díky nim je možné udržovat stabilní ceny elektřiny v rámci celé sítě nebo zajistit individuální flexibilitu a nezávislost spotřeby během místního skladování v domácnostech. (BELLONA.RU, 2019)

5 Možnosti akumulace elektrické energie

Pod akumulací energie se rozumí vstup jakéhokoli druhu energie do zařízení nebo struktury (do baterie) – aby se tato energie dostala odtud, pak v čase vhodném pro opětovnou spotřebu ve stejné nebo v převedené formě.

Existuje větší množství způsobů akumulace elektrické energie, ve kterých vždy dochází k přeměně elektrické energie na jinou formu energie a pokud je to nutné, je zajištěna její opětovná přeměna na elektrickou energii. V praxi jsou využívány různé technologie, umožňující akumulaci elektrické energie. Těmito technologiemi jsou např.: přečerpávací vodní elektrárny, akumulace elektrické energie stlačeným vzduchem, technologie elektrochemických článků a setrvačníky. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ, 2017, s. 60)

5.1 Rozdělení elektrických akumulátorů

Podle počtu mezistupňů v přeměně energie můžeme technologie akumulace elektřiny rozdělit do tří kategorií:

1. Technologie, v nichž vratné reakce probíhají samočinně bez potřeby dalšího zařízení. Sem patří elektrochemické akumulátory a dále kondenzátory – kapacitory a indukčnosti – supravodivé indukční akumulátory, kde se energie ukládá v elektromagnetickém poli.
2. V širším pohledu může akumulace zahrnovat i přečerpávací vodní elektrárny, stlačený vzduch nebo setrvačníky, u nichž je kromě samotného akumulčního prvku nutné ještě další zařízení na přeměnu elektřiny na akumulovanou energii a zpět na elektřinu - nejčastěji turbína a generátor.
3. Nejširší pohled pak zahrnuje i technologie, u nichž přeměna zpět na elektřinu buď není možná, nebo sice možná je, ale primárně se počítá s využitím meziproduktu. Kromě výroby tepla se jedná o technologie transformující elektřinu na jiný nosič energie, nejčastěji vodík. (OZE.TZB-INFO.CZ, 2020)

Podle typu elektrolytu:

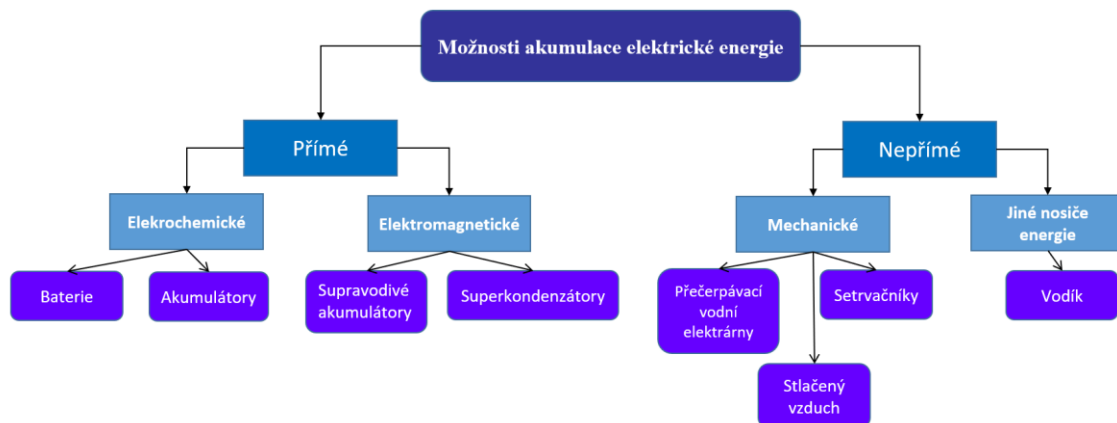
- s kyselým elektrolytem,
- se zásaditým elektrolytem,
- s bezvodým elektrolytem.

Podle provedení:

- otevřené,
- uzavřené (hermetické nebo plynotěsné). (BATTEX.INFO, 2020)

Vzhledem k tomu, že neexistuje přesná a jedinečná klasifikace metod akumulace elektrické energie, strukturovala jsem je vlastním způsobem:

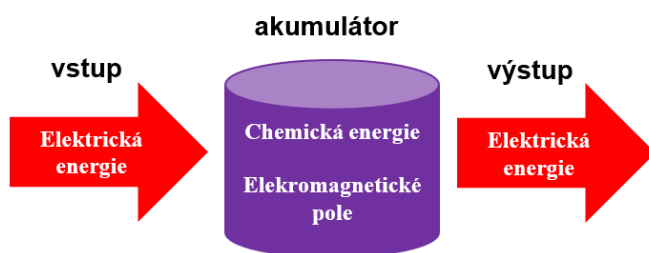
Obrázek 1 Možnosti akumulace elektrické energie



Zdroj: vlastní zpracování

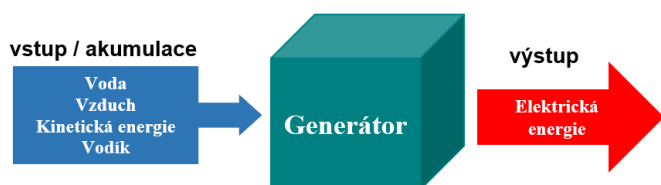
Přímé možnosti akumulace znamenají, že se na nosič ukládá přímo elektrická energie, která se mění na jinou formu a již v jiné formě se nachází v akumulátoru (například ve formě chemických vazeb v bateriích). Při nepřímých metodách se energie skladuje hned v jiné formě (například ve formě mechanické energie v setrvačnicích nebo ve formě vody v přečerpávacích vodních elektrárnách), a lze ji kdykoli použít k výrobě elektrické energie.

Obrázek 2 Přímé možnosti akumulace



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 3 Nepřímé možnosti akumulace



Zdroj: vlastní zpracování

6 Přehled systémů pro akumulaci elektrické energie

6.1 Elektrochemické akumulátory

„Elektrochemické akumulátory či akumulátorové baterie akumulují energii ve formě chemické energie. Jejich výhodou je dobře zvládnutá technologie výroby, operativní použití kdekoliv, možnost mnohonásobného opětovného nabíjení a relativně nízká cena. Nevýhodou je samovybíjení – úbytek kapacity elektrochemického článku za jeho nevyužití kvůli neustále probíhající se elektrochemické reakce – pozn. aut.) a citlivost na hluboké vybíjení, při kterém nastávají nevratné změny na elektrodách s následkem snižování kapacity akumulátoru.“ (MAREŠ, LIBRA, POULEK. 2011, s. 6)

Elektrochemické články fungují na chemickém principu akumulace energie, u něhož se energie uchovává v chemických vazbách elektrodového materiálu, kde probíhají vratné reakce elektrodové látky s ionty z elektrolytu. Průměrná účinnost elektrochemických článků se nachází v rozmezí 75–95 %. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ. 2017, s. 61–64)

Elektrochemické články lze členit na 2 druhy – primární a sekundární. Primární články mají omezené množství reaktantů, které jsou prostřednictvím vybíjení spotřebovány na produkty, a nemohou být na základě nabíjení (tj. přívodu vnějšího proudu) opětovně převedeny v původní reaktanty. Jsou to články, využívané na jedno vybití. Na druhou stranu, sekundární články také mají omezené množství reaktantů, ale mohou být vnějším proudem převedeny na původní aktivní reaktanty, tj. článek může být opět nabíjen, díky čemuž dochází k akumulaci elektrické energie.

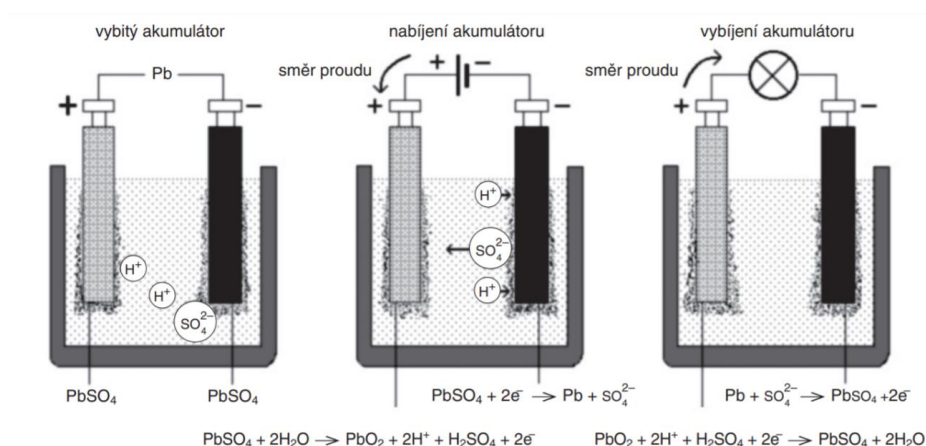
Většina elektrochemických článků má schopnost snést až stovky nebo tisíce nabití a vybití. Počet cyklů (nabití-vybití) se považuje za jeden z hlavních parametrů elektrochemických akumulátorů. Daný typ akumulátorů starších provedení vyžadoval

specifickou údržbu a určitý proces nabíjení. Oproti tomu velké množství moderních typů elektrochemických akumulátorů už údržbu nevyžadují, díky čemuž jsou považovány za bezúdržbové. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2006)

6.1.1 Olověné akumulátory

Olověná baterie byla objevena francouzským fyzikem G. Planté v roce 1859, který vytvořil první nabíjecí článek s cílem komerčního využití. I v dnešní době jsou využívány chemické sloučeniny na bázi olova. Hlavními vlastnostmi olověných akumulátorů je to, že jsou relativně spolehlivé a levné v takovém ukazateli, jako je poměr ceny vůči wattu. Lze zmínit jenom omezený počet dalších typů článků, které jsou schopny dodat stejně velké množství levné energie jako olověné akumulátory. Jde o články, využívané u automobilů, golfových vozítek, vysokozdvihných vozíků, lodí a záložních zdrojů. (OZE.TZB-INFO.CZ, 2018)

Obrázek 4 Schéma olověného akumulátoru



Zdroj: ODBORNECASOPISY.CZ, 2006

Daný druh akumulátorů se pokládá za nejstarší a nejrozšířenější. Olověné akumulátory se vyznačují vyšší odolností ve vztahu k nízkým teplotám, poměrně vysokou bezpečností a nižší cenou. Za značnou nevýhodu zmíněného typu akumulátorů se považuje jejich ekologická zátěž. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ. 2017, s. 61–64)

Olověný akumulátor se skládá z kladné a ze záporné elektrody, z elektrolytu, kde se využívá vodný roztok kyseliny sírové (H₂SO₄). Elektrody se separátorem a elektrolytem tvoří akumulátorový článek olověného akumulátoru.

Nabíjení se uskutečňuje ve 3 etapách. První etapa nabíjení je po připojení napájecího zdroje doprovázená strmým zvýšením napětí (v rozmezí od 1,75-2,2 V). Dané zvýšení napětí je spojováno s rychlou tvorbou molekul kyseliny sírové na obou olověných deskách. Druhá etapa se vyznačuje umírněným nárůstem napětí v rozmezí od 2,2 do 2,4 V. Pokud nebude odpojen napájecí zdroj, dojde v druhé etapě k rozložení síranu olovnatého (PbSO_4) a vody, zatímco poté dojde k plynování článku, což je etapou třetí. Pokud se nabitá olověná baterie vybíjí, skrze baterii začne protékat elektrický proud. Na obou elektrodách přitom se uskutečňují opačné reakce v porovnání s procesy nabíjení.

Olověný akumulátor je zpravidla tvořen z několika vzájemně propojených článků. Elektroda je tvořena kolektorem (tedy mřížkou) a aktivní hmotou. Kolektor obou elektrod musí být dostatečně mechanicky odolný, zatímco kolektor kladné elektrody musí vedle toho vykazovat odolnost ve vztahu k oxidaci (tj. korozi), která vede ke konverzi slitiny olova na oxidy olova s nižší mechanickou pevností a elektrickou vodivostí. Kolektor záporné elektrody neoxiduje, musí jenom zajistit požadované množství aktivní látky. (KŘIVÍK, 2015, s. 7–8)

Konstrukce olověného akumulátoru je mimo jiné dána jeho konkrétním využitím. Podle účelu využití se články člení na staniční, trakční, startovací, a baterie pro elektrická vozidla na hybridní pohon. Staniční baterie mají za cíl zajistit nepřerušené napájení elektrické energie, pokud dojde k výpadku napětí rozvodné sítě. Přitom dochází k trvalému dobíjení a za dobu své životnosti (cca 20 let) prodělá poměrně malý počet cyklů.

Trakční baterie jsou používány např. k pohonu plošinových, zvedacích nebo invalidních vozíků a elektromobilů. Trakční články jsou provozovány cyklicky dle fází hlubokého vybíjení a nabíjení. Životnost trakčních baterií dosahuje přibližně 5 let, což je cca 1000 cyklů. Startovací baterie jsou využívány jako zdroj elektrické energie za účelem spouštění spalovacích motorů motorových vozidel. Takové baterie se krátce (pouze na několik vteřin) vybíjí vysokými proudy, kdy se vybije pouze část jejich kapacity. Poté se po dobu provozu motoru startovací články nabíjí tak, aby byly udržovány téměř v plném nabitém stavu. Hluboké vybití baterie probíhá jenom výjimečně.

Baterie v hybridních elektrických vozidlech, do kterých také patří článek v systémech vzdálené dodávky energie, fungují větší část provozní doby ve stavu částečného nabití (zhruba 50 % celkového nabití) a to k tomu, aby umožnily dodání a přijetí elektrické energie ve stejném čase s maximální efektivitou. V systémech vzdálené dodávky energie uvedený typ akumulátorů funguje spolu s přídatným zdrojem energie z obnovitelných zdrojů. Zpravidla

jde o využití větrné energie z větrných elektráren, popř. sluneční energie z fotovoltaických panelů. (KŘIVÍK, 2015, s. 10)

V průmyslové oblasti nelze jednoznačně vymezit typy akumulátorů, které dominují a které jsou využívány v menší míře. Olověné akumulátory se stále aktivně využívají např. v záložních systémech UPS (zdroj nepřerušovaného napájení), především díky nižší ceně, dostupnosti a poměrně jednoduchému provozu. Ve zmíněných systémech se také aplikují lithium-iontové baterie v pouzdře pro olověné akumulátory, ale oproti olověným bateriím jsou méně populární především kvůli vyšší ceně. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2019)

Akumulační články na bázi olova se vyznačují vyšší hmotností a zkrácenou životností při opakovaném hlubokém vybíjení a nabíjení v porovnání s bateriemi na bázi niklu a lithia. Úplné vybití olověných baterií je přetěžuje a vybíjecí nebo nabíjecí cyklus pokaždé snižuje množství její kapacity. Nicméně snížení kapacity je v různé míře sledováno u všech druhů akumulátorů.

Olověné akumulátory se nemohou rychle nabíjet a jejich převážná většina se úplně nabije během 14–16 hodin. Olověná baterie by měla být vždy skladována zcela nabitá. Nízké nabití článku vede k sulfataci (vzniku krystalů síranu olovnatého (PbSO_4) na elektrodách), která způsobuje snížení její výkonnosti. Určité zachování původní výkonnosti může být zajištěno přidáním uhlíku na zápornou elektrodu, přitom ale klesá měrná hustota energie. Olověné akumulátory disponují průměrnou životností, u nich ale není sledován paměťový efekt jako např. u článků na bázi niklu. (OZE.TZB-INFO.CZ, 2018)

„Jejich výhodou je pomalé samovybíjení oproti jiným nabíjecím bateriím. Zatímco NiCd baterie ztratí přibližně 40 % uložené energie během tří měsíců, olověný akumulátor samovolně ztratí stejné množství energie během jednoho roku. Olověné akumulátory dobře pracují při chladných teplotách a pod bodem mrazu fungují lépe než lithium-iontové baterie.“ (OZE.TZB-INFO.CZ, 2018)

Některé typy olověných článků mají řadu silných stránek oproti jiným typům baterií. Např. ventilem řízené olověné baterie (zkráceně VRLA) se ve srovnání s klasickými články s tekutým elektrolytem vyznačují následujícími výhodami:

- nízká hodnota samovybíjení (zhruba 3 % kapacity za jeden měsíc),
- vyšší rekombinace plynů při provozu baterií,

- libovolná pracovní poloha (a to díky elektrolytu, který se absorbuje přímo v separátorech desek akumulátoru – tzv. technologie AGM),
- mřížka akumulčních článků je tvořena slitinou Pb-Sn-Ca a má odolnost proti korozi, čímž je podmíněna její vyšší efektivita a spolehlivost po delší dobu provozu,
- téměř absence jakýchkoliv požadavků na provoz a údržbu (oproti klasickým typům baterií, u nichž je nutná častá kontroly hladiny elektrolytu za účelem jeho doplňování).

Jako další příklad lze zmínit akumulátory série EN o kapacitě do 480 Ah (ampérhodin), které se využívají pro velké průmyslové aplikace. Jde o aplikace, kde jsou vytvořeny bateriové sady s většími vybíjecími výkony a s vyšším napětím. Zmíněné vlastnosti akumulčního článku zajišťují ekonomičnost baterií VRLA oproti klasickým typům (kde se vyskytuje volně tekutý elektrolyt), protože nehledě na vyšší počáteční pořizovací náklady jsou akumulátory VRLA účinnější. Tato skutečnost vyplývá hlavně z menších požadavků na provozování akumulčních článků VRLA, protože k zajištění stejné kapacity vyžadují méně prostoru, který je přitom méně náročný na odvětrání.

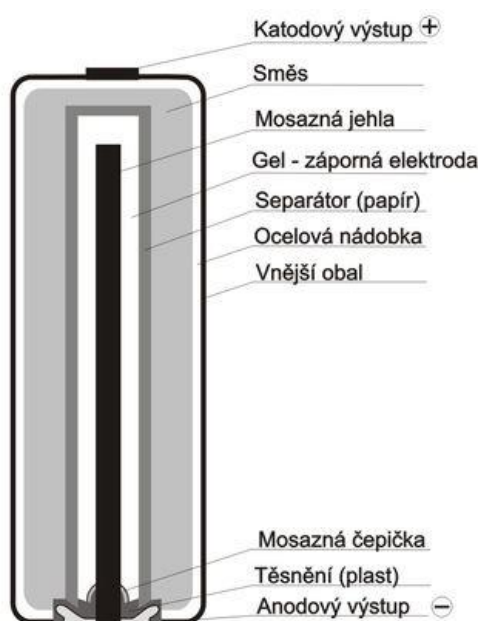
Typ olověných akumulátorů série NP má při optimálních provozních podmínkách dobu životnosti cca 5 let. Akumulátory série NP jsou vyráběny v rozsahu kapacit od 0,8 do 65 Ah a využívají se pro běžné záložní účely. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2004)

6.1.2 Alkalické akumulátory

„Alkalické akumulátory představují poměrně širokou skupinu akumulátorů. Jejich společným znakem je druh použitého elektrolytu, jehož základní složkou je hydroxid draselný.“ (CENEK, 1996, s. 75)

Výhodou alkalických akumulátorů je skutečnost, že výpary elektrolytu nemají intenzivní negativní působení na zařízení, ve kterých se používají. Uvedený typ akumulátorů má menší citlivost na nepečlivé zacházení v porovnání s olověnými akumulátory. Jsou přitom odolnější proti mechanickým nárazům. U alkalických akumulátorů menší kapacity mohou být vyráběny i v uzavřeném plynotěsném provedení. (CENEK, 1996, s. 75)

Obrázek 5 Schéma primárního alkalického článku



Zdroj: Bateria.cz, 2020

Cenové rozpětí alkalických článků na trhu nesouvisí s jejich užitnou hodnotou. Proto lze říct, že alkalické články výrobců, kteří aktivně propagují svou produkci, disponují podobnými užitnými vlastnostmi jako výrobky s analogickými charakteristikami, i když prodejní cena propagovaných článků je v průměru o 100–150 % vyšší než analogické alkalické články s menší propagací. Kromě toho existují případy klamavé reklamy, kdy se neoprávněně porovnávají nesrovnatelné výrobky, např. alkalické články s články zinkochloridovými. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2006)

Z praktického hlediska, u alkalického článku jsou takové podstatné charakteristiky jako výkon, tj. proud dodávaný akumulátorem. Výkon článku přímo závisí na rychlosti chemických reakcí, ke kterým dochází v elektrodách článků. V alkalickém elektrolytu je redukce kyslíku rychlejší v porovnání s kyselým elektrolytem, a proto jsou pro tento typ článků i při nízkých teplotách dosažitelné nadprůměrné výkonové a energetické hustoty. Z uvedeného důvodu musí sloužit čistý kyslík jako okysličovadlo (místo vzduchu), což způsobuje komplikaci provozu článku a vede ke zvýšení jeho ceny. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2017)

„Oproti bateriím s chloridovým elektrolytem jsou alkalické baterie schopné poskytovat mnohem větší proudy při malém poklesu napětí, proto jsou vhodné pro aplikace, kde je vyžadována velká proudová zátěž. Samozřejmě jsou používány i v zařízeních s malými

proudovými odběry, a to hlavně tam, kde je kladen důraz na ochranu zařízení před únikem elektrolytu.“ (BATTEX.INFO, 2019)

Konstrukce alkalických článků je u všech výrobků podobná, nicméně ne všechny alkalické články jsou stejné. Dokonce i stejný výrobce může vyrábět různé výrobní řady alkalických článků, stejně jako tomu je u NiCd nebo NiMH akumulátorů. Takovým způsobem nelze při volbě alkalických článků brát v potaz pouze cenu, popř. výrobce, ale na základě piktogramů (obr.), zobrazených na blistrech s bateriemi určit, jestli se článek např. hodí do hodin, nebo může být použit do blesků, popř. do fotoaparátů. (BATTEX.INFO, 2019)

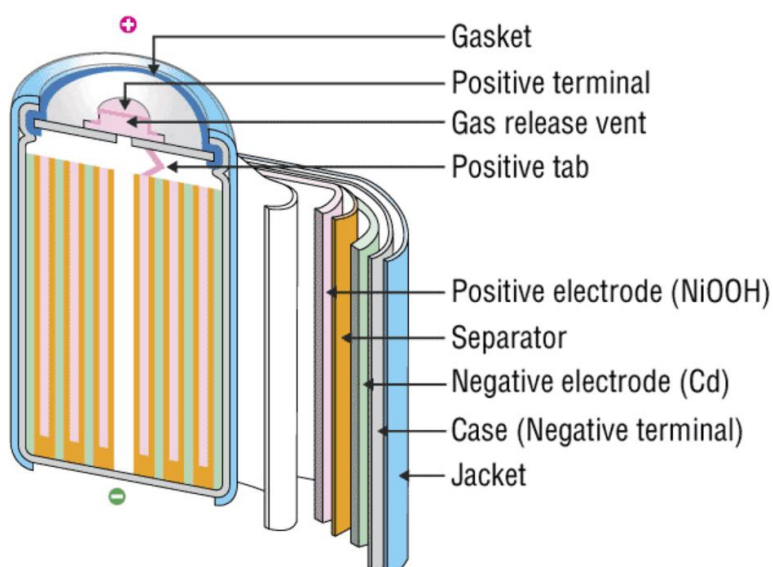
Z praxe vyplývá, že alkalické baterie jsou nejvíce vhodné pro méně často používaná zařízení, nebo pro přístroje s nižším odběrem elektrické energie, ale také pro přístroje, u nichž se očekává, že musí spolehlivě fungovat po delší dobu. Například v hodinách, kalkulačkách nebo dálkových ovladačích se jako vhodnější jeví klasické nenabíjecí články. Taková zařízení spotřebují menší množství energie a nabíjecí baterie se v takových člancích samovolně vybíjí. (DTEST.CZ, 2018)

V některých případech je vhodnější využití lithiového článku, ale s přihlédnutím k nižší ceně je ve většině případů dostačující alkalická baterie. Na druhou stranu, za podstatně nižších teplot, nebo naopak velice vysokých teplot, se jako nejvhodnější jeví lithiový článek. (SVET-SVITIDEL.CZ, 2019)

6.1.3 Nikl-kadmiové (NiCd) akumulátory

Prvním prakticky využívaným alkalickým akumulátorem se stal ve 20. století tzv. Edisonův železníkový akumulátor, kde elektrolytem byl roztok hydroxidu sodného (NaOH). Nahrazení sloučenin železa jakožto aktivní složky záporné elektrody kadmíem bylo uskutečněno W. Jungrem, díky čemu vznikl nikl-kadmiový akumulátor. Elektrolytem v nikl-kadmiových akumulátorech je nejčastěji roztok hydroxidu draselného (KOH).

Obrázek 6 Schéma Nikl-kadmiového akumulátoru



Zdroj: Battery Association of Japan, 2004

V Československu se vyráběly NiCd akumulátory s lisovanými elektrodami, kde aktivní hmoty byly baleny do niklové tkaniny, sloužící jako proudový kolektor, zpevňující celou elektrodu. Prvními zmíněnými akumulátory byly knoflíkové akumulátory o kapacitě 225 mAh, zatímco poté došlo k zahájení výroby válcových akumulátorů o kapacitě 450, 900 a 2 000 mAh. V 70. letech 20. století byly vyvinuty a vyráběny hermetické akumulátory se sintrovanými elektrodami. Prvním ze zmíněných akumulátorů byl akumulátor o kapacitě 4 000 mAh a velikosti D. Původně dané akumulátory byly využívány pro vojenské účely, ale později byly některé druhy výrobků prodávány na civilním trhu.

V současné době se větší část výroby hermetických akumulátorů nachází v zemích východní Asie. Elektrochemicky aktivní složkou kladné elektrody NiCd akumulátorů je ve vybitém stavu hydroxid nikelnatý, ale aktivní složkou záporné elektrody je hydroxid kademnatý. Elektrody obsahují elektrochemicky aktivní složky, tvořící vodivou složku, nosný skelet, popř. proudový kolektor. Mezi elektrody NiCd akumulátoru jsou vloženy separátory, oddělující kladný a záporný elektrodový systém, a přitom hrají roli nosiče elektrolytu. (MAREK, STEHLÍK, 2004, s. 33)

Nejdůležitějšími přednostmi hermetických NiCd akumulátorů jsou:

- vyšší spolehlivost a životnost – tento druh akumulátorů se využívá v různých odvětvích – kosmické, letecké, vojenské a zdravotnické,

- možnost odběru velmi vysokých proudů – jedná se o nejvhodnější zdroj pro napájení profesionálního akumulátorového nářadí a příslušné aplikace,
- možnost zajištění rychlého, popř. velmi rychlého nabíjení,
- rozsáhlé pracovní teploty pro vybíjení (-40 až +70 °C),
- vysoké mechanické vlastnosti – vyšší odolnost vůči rázům a vibracím,
- univerzální povaha – vhodnost pro větší množství různých aplikací,
- poměrně malá změna napětí během procesu vybíjení, díky čemu se zajišťuje konstantní výkon spotřebičů, které jsou napájeny NiCd akumulátory. Poté, co dochází k mírnému poklesu napětí na počátku vybíjení (především menšími proudy), vykazuje napětí vysokou stabilitu, a to téměř až do plného vyčerpání kapacity.

Naopak, hlavními nevýhodami NiCd akumulátorů jsou:

- menší měrná energie v poměru k hmotnosti, popř. objemu,
- náhlý pokles napětí na konci procesu vybíjení – napětí neumožňuje určení zbytkové kapacity,
- obsah kadmia, které se považuje za ekologicky nebezpečnou látku. (MAREK, STEHLÍK, 2004, s. 34)

Na území ČR se nikl-kadmiové akumulátory vyráběly v následujících provedeních:

- dopravní niklokadmiové akumulátory, a to jak články, tak i baterie (označení NIK);
- napájecí niklokadmiové akumulátory, určené pro sdělovací zařízení - v kovových nádobách jsou označovány jako NTK, zatímco v nádobách z plastických hmot NKNU;
- osvětlovací niklokadmiové akumulátory, určené pro kolejová vozidla (NKO);
- niklokadmiové akumulátory, využívané pro velké proudy, tedy za účelem spouštění motorů diesel-elektrických lokomotiv a dalších zařízení, která vyžadují velké proudy. Uvedené akumulátory mají snížený vnitřní odpor (NKS);
- důlní niklokadmiové akumulátory, aplikovány pro napájení přenosných svítilen v dolech (NKDU).

Niklokadmiové akumulátory mohou být nabíjeny konstantním proudem a konstantním napětím. Při konstantním napětí musí být uvedené napětí 1.6 – 1.7 V na jeden článek. Za účelem zajištění stálého nabíjení baterie se využívá kompenzační dobíjení prostřednictvím proudu. U otevřených akumulátorů musí být periodicky kontrolován elektrolyt a přidávána destilovaná voda v případě poklesu elektrolytu, aby došlo ke kompenzaci ztráty, která vzniká v důsledku elektrolytického rozkladu destilované vody během procesu nabíjení. Tento druh akumulátorů může být skladován po delší dobu jak v nabitém, tak vybitém, nebo i polonabitým stavu. Ztráta kapacity, způsobená skladováním může být obnovena kontrolně cvičnými cykly. Platí, že z hustoty elektrolytu nelze určit stupeň nabití. (CENEK, 1996, s. 32–33)

Často se uvádí, že nejdůležitější slabou stránkou nikel-kadmiových akumulátorů je tzv. „paměťový efekt“. Daný efekt označuje reverzibilní ztrátu kapacity, ke které dochází u některých typů elektrických baterií při nesprávném režimu nabíjení, zejména při dobíjení neúplně vybité baterie. Název je spojen s vnějším projevem účinku: baterie „si pamatuje“, že v předchozích cyklech provozu nebyla její kapacita plně využita, a při vybití vydává proud na „zapamatovaný limit“. Při běžném používání NiCd akumulátorů se s klasickým paměťovým efektem nesetkáme. (BATTEX.INFO, 2020)

NiCd akumulátory mají odolnost proti přebíjení a podvybití, z čehož vyplývá, že se nedoporučuje je skladovat, když jsou vybité. Dané akumulátory jsou vhodné pro uživatele, kteří je nevyužívají příliš často. Kromě toho, NiCd akumulátory mají být před dalším nabíjením nutně vybity. Jednou z důležitých nevýhod těchto akumulátorů je jejich vyšší hmotnost. (IDNES.CZ, 2013)

6.1.4 Nikl-metal (NiMH) hydridové akumulátory

„Podobná nikel-kadmiové je baterie nikel-metalhydridová, která je převážně používána v moderních elektrovozidlech. Její anod je na bázi sloučenin niklu, záporná elektroda ze slitiny pohlcující vodík. Elektrolytem je zředěný roztok hydroxidu. Mezitím je separátor naplněný bazickým elektrolytem, většinou ředěným roztokem hydroxidu.“ (HROMÁDKO, 2012, s. 55)

K intenzivnímu výzkumu a vývoji nikel-metalových akumulátorů došlo v 80. letech 20. století. Jedním ze zásadních důvodů hledání nového typu akumulátoru byly ekologické požadavky na odstranění nebezpečného kadmia a jeho náhrady. Komerční využití těchto akumulátorů započalo v 90. letech minulého století, kdy nejdůležitějšími problémy těchto

akumulátorů bylo velmi vysoké samovybíjení, snížená funkceschopnost při skladování a vyšší pořizovací cena.

Později, díky zlepšování užitečných vlastností nikel-metalových akumulátorů, se jejich využití značně rozšířilo (především v mobilní technice). Kladná elektroda daných akumulátorů disponuje stejnou konstrukcí a stejným složením aktivní hmoty jako kladná elektroda nikelkadmiových akumulátorů. Za nejdůležitější přednosti NiMH akumulátorů se považuje jejich větší kapacita u článků podobných rozměrů a vyšší ekologičnost. Z tohoto důvodu se NiMH akumulátory začaly používat v těch oblastech, kde předtím byly využívány NiCd akumulátory, mající velkou měrnou energii.

Oproti tomu jsou hlavními nevýhodami NiMH akumulátorů:

- omezenější klimatická a mechanická odolnost,
- intenzivnější samovybíjení,
- značná vnitřní impedance – NiMH akumulátory nejsou vhodné k frekventovanějšímu rychlému nabíjení a extrémně vysokým vybíjecím proudům,
- vyšší pořizovací cena ve srovnání s nikel-kadmiovými akumulátory.

Z praxe vyplývá, že se NiMH akumulátory neustále vyvíjí, a to co platilo o vlastnostech těchto akumulátorů před rokem, již v současné době nemusí být pravda. Samovybíjení NiMH akumulátorů v dnešní době již přibližně odpovídá hodnotám nikel-kadmiových akumulátorů. Existují NiMH akumulátory, které mohou poskytnout vybíjecí proud, který odpovídá několikanásobné jmenovité kapacitě konkrétního NiMH akumulátoru. Došlo také k významnému poklesu ceny NiMH akumulátorů. Ve srovnání s NiCd akumulátory jsou u NiMH akumulátorů každoročně zveřejněny novinky (nejčastěji se na trh uvádějí odlišné rozměrové typy akumulátorů). Neustále také roste kapacita daného druhu akumulátorů a zlepšují se jejich další užitečné vlastnosti. (MAREK, STEHLÍK. 2004, s. 49-50)

Akumulátory NiMH mohou být oproti NiCd akumulátorům nabíjeny v libovolném stavu. Nicméně vykazují vyšší citlivost na podvybití, a proto je jejich dlouhodobé skladování poměrně problémovou záležitostí (dané akumulátory mají vysokou úroveň samovybíjení – zhruba 30 % za měsíc). Akumulátory NiMH se vyznačují relativně nižší měrnou kapacitou v poměru ke své hmotnosti, a proto se se svými vlastnostmi nacházejí mezi NiCd a Li-ion akumulátory. (IDNES.CZ, 2013)

Nominální napětí u NiMH akumulátorů má hodnotu 1,2 V a při zatížení klesá pouze v minimální míře. Primární články mají hodnoty napětí 1,5 V, ale za odběru vyššího proudu dojde k výraznějšímu poklesu napětí. Niklmetalhydridové články v provedení AA popř. AAA se vyrábějí s různou kapacitou a počtem nabíjecích cyklů.

Nejčastěji platí pravidlo, že čím vyšší kapacitu mají články, tím nižší je počet nabití, která vydrží. Např. články AA s kapacitou 2450 mAh vydrží 500 cyklů, zatímco akumulátory s kapacitou 1900 mAh až 2100 cyklů. Existují např. speciální články, u nichž je malé samovybití; akumulátory, disponující vysokým proudovým zatížením, popř. snášející trvalé dobíjení prostřednictvím nízkého proudu pro solární systémy.

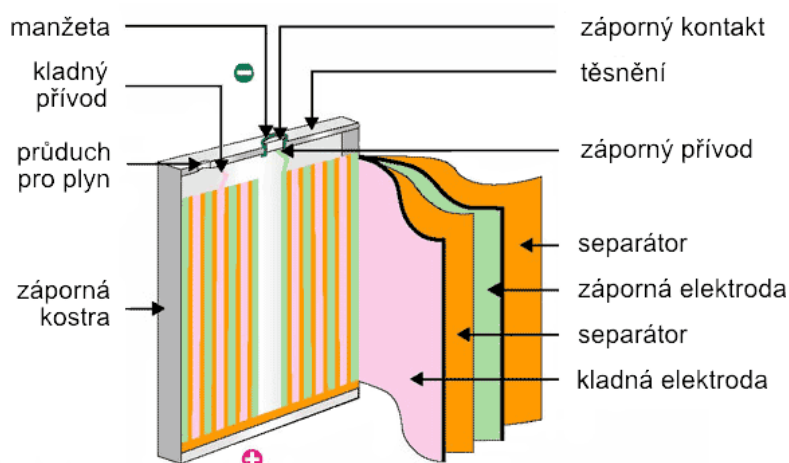
V případě skladování akumulátorů NiMH s minimálním samovybitím si plně nabitý akumulátor po jednom roce skladování uchová maximálně 85 % své kapacity. Existují ale NiMH akumulátory, které dokáží vydržet deset let s poklesem své maximální kapacity pouze o 30 %. (NOVINKY.CZ, 2020) Je třeba ale zmínit i hlavní nedostatek NiMH akumulátorů – špatně snáší nízké teploty, jelikož při teplotě nižší než 5 °C dochází k podstatnému poklesu napětí, kvůli čemuž akumulátor vykazuje vlastnosti vybitého článku. (TESLAFAN.CZ, 2016)

6.1.5 Lithium-iontové (Li-Ion) akumulátory

„Baterie s obsahem niklu pozvolna z mobilních zařízení vymizela a nahradily je baterie s lithiem. Ty se dělí na dva druhy – lithium-iontové (Li-Ion) a modernější lithium-polymerové (Li-Pol). Tyto akumulátory už netrpí efektem samovybití a značně se prodloužila také jejich životnost. U Li-Ion baterií je to asi 40 % nárůst, u Li-Pol pak ještě více.“ (EKOLIST.CZ, 2016)

Lithium-iontové akumulátory se z hlediska nabíjení a skladování pokládají za opak Ni-Cd akumulátorů. Delší životnost těchto akumulátorů je dána tím, že se dobijí už při 30 % – 50 % zbytkové kapacity. Na druhou stranu, úplné vybití těchto akumulátorů způsobuje jejich trvalé poškození, a proto je nelze dlouhodobě skladovat. Mají nižší úroveň samovybití (od 5 do 10 % za měsíc). Úroveň samovybití se výrazně zvyšuje s tím, jak rostou teploty, přitom ale platí, že Li-ion akumulátory mohou být skladovány jeden až dva roky. (IDNES.CZ, 2013)

Obrázek 7 Schéma lithium-iontového akumulátoru



Zdroj: SCHOLTZOVÁ, 2014

Akumulátory, fungující na základě lithium-iontových článků jsou nejrozšířenějšími články na ukládání energie. V současné době se vědecká obec věnuje nalezení možnosti, jakým způsobem nahradit drahé kovy v člancích levnějšími materiály. (EURO.CZ, 2020)

„Lithiové akumulátory velkých ampérhodinových kapacit jsou perspektivním typem zásobníků elektrické energie pro výkonové aplikace, zejména pro elektrické pohony v mobilních zařízeních. Vzhledem k vysokému poměru energie a hmotnosti umožňuje použití lithiových akumulátorů zmenšit hmotnost a zastavěný objem zdroje.“ (EURO.CZ, 2020)

Nejčastější oblastí použití lithiových akumulátorů jsou pohony elektromobilů, přepravních vozíků, napájení mobilních přístrojů a různá zařízení telekomunikační a zabezpečovací techniky. Lze říct, že jmenovité napětí běžných lithiových akumulátorových článků má hodnotu 3,6 V, zatímco NiMH a NiCd akumulátory se vyznačují jmenovitým napětím o hodnotě 1,2 V, což znamená nemožnost vzájemné záměny obou druhů článků.

Nabíjení lithium-iontových akumulátorů má typickou vlastnost, která spočívá v nutnosti přesného dodržení hodnoty maximálního nabíjecího napětí, což znamená existenci speciálního typu nabíječe a neumožňuje použití nabíjecích systémů, vytvořených pro jiné druhy článků. Z hlediska uživatelských vlastností lze moderní variace lithiových článků s katodami s fosforečnanem (PO₄) považovat za podstatný pokrok. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2005)

Hromadné uplatnění zmíněných článků vyvolává určité bezpečnostní otázky, a to s ohledem na možné vznícení lithium-iontových článků. Toto vznícení souvisí s tím, že materiály kladných elektrod mají vysoký obsah chemicky vázaného kyslíku, který podporuje hořlavost. Na druhou stranu, materiály záporných elektrod jsou hořlavé a jsou na vzduchu

samozápalné. Elektrolyt rovněž může být nebezpečný, protože je v článkách tvořen roztokem lithné soli v hořlavé kapalině. (COMPUTERWORLD.CZ, 2010)

Zmíněný druh akumulátorů se vyznačuje větší hustotou energie a podstatnou účinností. Slabinou lithium-iontových akumulátorů je vysoká pořizovací cena a možnost ztráty akumulační kapacity v případě hlubokého vybíjení, které vede ke snižování životnosti baterie. Menší velikost a hmotnost daných akumulátorů umožňuje jejich využití v přenosných zařízeních a při krátkodobém zálohování energie. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ, 2017, s. 61–64)

Za další nedostatek lithiových akumulátorů lze označit to, že například při nabíjení malým proudem docházelo k tomu, že z lithia byly vytvořeny jehličky, které vedly k vnitřním zkratům akumulátoru. Li-Ion akumulátory jsou relativně mladým typem akumulátorů a v posledních letech jsou neustále zdokonalovány jejich vlastnosti – mění se měrná energie, velikost vybíjecích a nabíjecích proudů, roste životnost akumulátorů a snižuje se jejich výrobní a prodejní cena. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ, 2017, s. 50–52)

6.1.6 Lithium-polymerové (Li-Pol) akumulátory

Lithium polymerové akumulátory (Li-Pol) se využívají v mobilní technice, kde funguje s ohledem na to, že čím více celých cyklů baterie absolvuje, tím více se přiblíží k tomu, že nebude vhodná k využívání. Pro uživatele se doporučuje, aby mobil během dne dobýjeli až několikrát a drželi kapacitu článku v rozmezí 20 % až 90 % maximální baterie. Proto každé plné nabití vede ke zkrácení životnosti akumulátoru právě o jeden cyklus.

Obrázek 8 Lithium-polymerový akumulátor



Zdroj: Cnews.cz, 2011

Oproti NiMH akumulátorům jsou lithiové akumulátory schopny uložit 2 krát až 4 krát více energie do stejného objemu článku. U lithium-polymerových článků je elektrolyt obsažen

v gelové nebo tuhé formě. Ploché články tohoto typu mohou mít jakýkoliv tvar v souladu s potřebami konkrétní aplikace. Typickým příkladem využití zmíněných článků jsou mobilní telefony, u kterých mají články kapacitu 800 až 2 000 mAh. Výjimečné je použití článků, jejichž kapacita činí 2 až 8 Ah, např. u přenosného ručního náradí, ve kterém jsou nahrazovány nikl-kadmiové články, díky čemuž jsou zmenšeny rozměry a hmotnost tohoto náradí. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2005)

Za podstatnou výhodou Li-Pol článků se pokládá vyšší počet možných nabíjecích cyklů (a s tím související delší životnost) a především vyšší hustota uchované energie. Jedná se o značnou výhodu pro výrobce mobilních přístrojů, a to díky možnosti využití baterie s nižší hmotností a kompaktními rozměry. Nevýhodou těchto akumulátorů je ale jejich vyšší cena – např. při stejné kapacitě, Li-Pol články jsou přibližně o 20 % dražší, než lithium-iontové články.

Aktivní využití Li-Pol baterií svědčí o tom, že na trhu v nejbližší době pravděpodobně nedojde k prosazování nového typu článku. Také je zde důležitá skutečnost, že se vědci stále snaží najít alternativy k lithiovým akumulátorům, uvedení na trh jiných řešení je příliš komplikované a to souvisí s vysokými finančními náklady. Očekává se, že zhruba během 5 dalších let budou na trhu dominovat hlavně lithiové články (jak lithium-iontové, tak i lithium-polymerové. (MOBILMANIA.CZ, 2019)

Z lithium-polymerových článků lze vyrobit různé akumulátorové baterie, u nichž se liší napětí a kapacita, a přitom se zajišťuje vhodný poměr kapacity a hmotnosti. Díky tomu, že jsou články lithium-polymerových akumulátorů obaleny měkkou vrstvou, výrobci mají možnost navrhování různých typů tvarů, které mohou být maximálně vhodným způsobem umístěny do různých druhů přenosných zařízení.

Nehledě na vyšší rychlost nabíjení a delší dobu vybíjení lithium-polymerových akumulátorů, tento druh akumulátorů se oproti lithium-iontovým bateriím rychleji opotřebovává. Výrobci lithium-polymerových článků ale dokázali snížit jmenovitou kapacitu těchto baterií na 80 % teprve po 500 nabíjecích cyklech.

Jedním z druhů lithium-polymerových článků je tzv. dobíjitelná lithiová tenkovrstvá baterie, jejíž počet nabíjecích cyklů je více než 10 000. Lithium-polymerové články mají být nabíjeny aspoň jednu hodinu, ale novější optimalizace konstrukce daných článků vedly k urychlení dobíjení (dobíjení až 90 % kapacity za 5 min). Rychlejší dobíjení je důležité např.

při využití u elektrického nářadí, vozidel s elektrickým pohonem, popř. drobné zábavní techniky.

Je nutné poukázat na to, že pro mnohé účely jsou doposud nejvhodnější tradiční typy akumulátorů (např. olověné). Za nevýhodu použití lithium-iontových a lithium-polymerových článků lze považovat omezení proudu vzhledem k zatížení, způsobenému nutností ochranného vypínání. (AUTOMA.CZ, 2012)

6.1.7 Další druhy elektrochemických akumulátorů

Z dalších druhů elektrochemických článků jsou nejvýznamnější NaS (sodium-sulfur), Na-ion a NaNiCl akumulátory a také průtokové a VRB akumulátory (vanadové redukčně-oxidační akumulátory).

NaS akumulátor

Sodíkovo-sírové (NaS) akumulátory mají nadprůměrné vlastnosti pro energetiku, protože se vyznačují velkou měrnou energií a jejich účinnost může dosahovat až 90 %. Průměrná životnost sodíkovo-sírových akumulátorů je odhadována přibližně na 15 let a to nehledě na vyšší počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. Za hlavní nevýhodu akumulátorů tohoto druhu se považuje pracovní teplota, která se odhaduje přibližně na 300 °C, při které se sodík a síra nacházejí v kapalném stavu. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ. 2017, s. 61–64) NaS baterie mohou být instalovány na energetických zařízeních trafostanic a na výrobní elektrárny z obnovitelných zdrojů energie.

Na-Ion akumulátor

Na-Ion akumulátor je určitým alternativním řešením oproti lithiovým bateriím. Je zpravidla levnější a bezpečnější ve srovnání s lithiovými články. V praxi se potvrdilo, že akumulátory, vytvořené na konverzi sodíkových iontů, mají vyšší kapacitu v porovnání s lithiovými články. Existují ale problémy s katodami Na-Ion baterií, a proto se stále zlepšují. Jmenovité napětí článku daného typu činí 3,6 V.

NaNiCl akumulátor

NaNiCl akumulátor je skutečně chemicky složen ze sodík-nikl-chloridu. Silnou stránkou tohoto akumulátoru je vyšší energetická hustota v porovnání s NiCd články. Konstrukce NaNiCl akumulátoru se podobá NaS článku, protože je stejně provozován za vyšších teplot. Modul článku zvládá až 4 500 cyklů při 80 % DOD (tzv. hloubka vybití akumulátoru). (RADIL, 2017, s. 8–9)

Průtokové baterie

Průtokové baterie (Zn-Br akumulátory) jsou tvořeny dvěma rezervoáry, které jsou naplněny elektrolytem, proudícím elektrochemickým článkem. Hustota akumulátoru je podmíněna množstvím elektrolytu v rezervoárech, ale hustota výkonu závisí na chemických reakcích, které probíhají na elektrodách. Vysoká kapacita průtokových akumulátorů umožňuje dlouhodobé zálohování energie. Platí, že průtokové baterie se vyznačují vyšší kapacitou a nízkými náklady, ovšem disponují nižší hustotou energie. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ, 2017, s. 61–64)

V současné době se aktivně využívají dané druhy průtokových redoxových akumulátorů: polysulfidová bromová baterie, železo-chromité baterie, železo-chlorité baterie, zinko-ceriové baterie, halogenové baterie Br-ZnBr a vanadové akumulární články, které jsou nejrozšířenějším druhem. (RADIL, 2017, s. 8–9)

Vanadiový redoxový akumulátor (VRB)

Princip fungování tohoto článku se podobá palivovým akumulátorům, u nichž k elektrochemické oxidaci dochází přidáváním paliva do jedné z komor baterie, zatímco do druhé komory se kontinuálně přivádí oxidant. Nejsilnější stránkou VRB článku je reverzibilita, což znamená, že ve stejném elektrochemickém měniči se uskutečňují procesy nabíjení a vybíjení, stejně jako v klasických typech článků.

Přechod z režimu nabíjení na vybíjení probíhá téměř okamžitě (v řádech ms) v závislosti na tom, jaká je polarita rozdílu okamžitého rovnovážného napětí a napětí, které je připojené k vnějšímu elektrickému obvodu. Kapacita baterie je podmíněna množstvím elektrolytu v zásobnících akumulátoru. Oproti klasickým akumulárním článkům disponuje elektrolyt v nabitém stavu při cirkulaci ve VRB akumulátoru zanedbatelným samovybíjením. V případě, že nabitý elektrolyt se uskládá mimo baterii, je schopen být nabitým prakticky po neomezenou dobu.

Prostorová náročnost instalace VRB akumulárního článku je spojována hlavně s akumulární kapacitou. Oddělené skladování elektrolytu od VRB baterie je hodnoceno jako způsob jednoduššího přizpůsobení její instalace prostorovým podmínkám. VRB akumulátor nezaznamenává pokles efektivity stejně jako kapacity po více než 12 tisících nabíjecích cyklů. Odhadovaná doba životnosti membrán činí přibližně 15 let. Po výměně membrán může být VRB akumulátor provozován i nadále. Přitom elektrolyt zachovává původní parametry, a může být opakovaně využíván. (RADIL, 2017, s. 8–9)

„Průtokové akumulátory s elektrodami na bázi oxidu vanadu (vanadový redukčně-oxidační článek) jsou složeny ze dvou zásobníků elektrolytu, který je přečerpáván elektrochemickým článkem. Mají vysokou kapacitu závislou na objemu elektrolytu. Parametry průtokových akumulátorů se nemění po více než 12 000 cyklech, jsou proto vhodné pro dlouhodobou akumulaci.“ (TYWONIAK, 2012, s. 81)

6.2 Elektromagnetické akumulátory

V této kapitole jsou charakterizovány takové elektromagnetické akumulátory jako supravodivé akumulární články a superkapacitory.

6.2.1 Supravodivé akumulátory

Supravodivý indukční akumulátor představuje zařízení, v němž se uchová elektrická energie na základě bezztrátového přenosu elektrického proudu prostřednictvím supravodivých kabelů. První malé supravodivé akumulátory UPS z USA jsou funkční se supravodivou cívkou, která je ponořena do kapalného helia. Proud v cívkě cirkuluje s minimální ztrátou 0,3 kWh za 24 hodin.

Akumulátor během 0,2 mikrosekund reaguje na intenzivní pokles napětí sítě a může na překlenovací dobu zajistit dodávku výkonu cca 1 MW. Větší supravodivý akumulátor SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage), který má kapacitu 800 Wh stabilizuje spojovací vedení americké společnosti Bonneville Power. Tento akumulátor již vydržel několik milionů cyklů nabití-vybití. Doba nabíjení a vybití je extrémně krátká, zatímco účinnost článku je vyšší než 95 %. Energetické supravodivé články o kapacitě až 4000 MW mají ztráty energie se započtením příkonu kryogenní stanice, alespoň ve výši 1 %. V tomto případě u kryogenní stanice je helium udržováno na teplotě nižší než minus 269 °C. (CEZ.CZ, 1999) Na druhou stranu, výstavba větších supravodivých článků souvisí se značně vysokými náklady. (ARCHIV.IHNED.CZ, 2013)

Akumulace elektrické energie v supravodivých akumulátorech SMES umožňuje uložení energie v podzemním kruhovém tunelu a stabilizaci velkých energetických sítí pro průmyslové a vojenské účely. SMES je schopen dodat plný výkon jenom během dvou period střídavého napětí s frekvencí 60 Hz. (ODBORNECASOPISY.CZ, 2006)

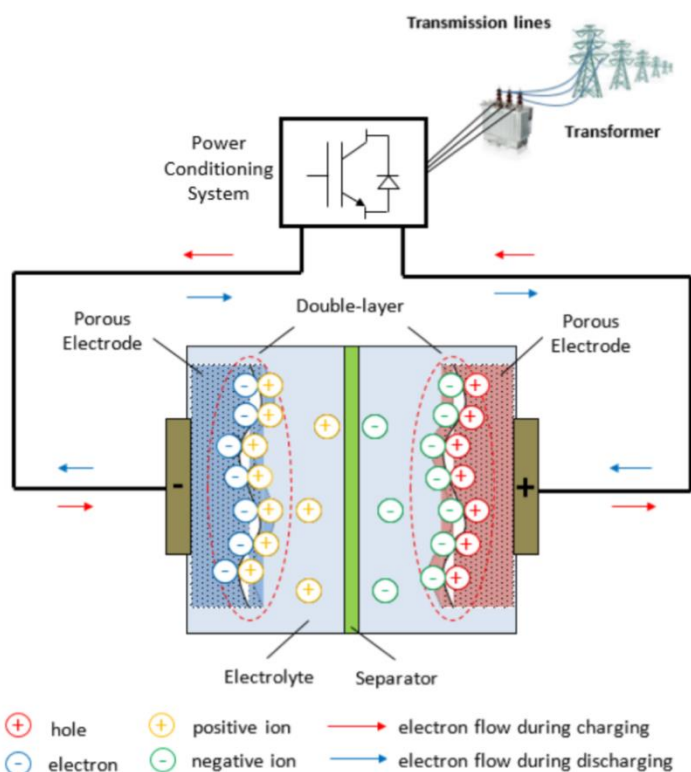
6.2.2 Superkapacitory

Superkapacitory (superkondenzátory) jsou schopny přijmout větší množství náboje a to za kratší časové období. Elektrický náboj v superkondenzátoru se neukládá chemicky, ale fyzikálně, tj. prostřednictvím elektrostatické síly na povrchu elektrod. Slabou stránkou tohoto typu akumulace energie je rychlejší samovybitení, ale za vyšší cyklovatelnosti. Superkondenzátory jsou vhodné pro krátkodobé pokrytí špičkových proudů. (ŠNAJDROVÁ, HLINČÍK, CIAHOTNÝ, 2017, s. 61–64)

Elektrická kapacita kondenzátoru se uvádí ve faradech. Jeden farad uloží jeden coulomb elektrického náboje při použití napětí ve výši jednoho voltu.

Existují tři typy kondenzátorů. Nejzákladnějším je elektrostatický kondenzátor se suchým separátorem. Tento klasický kondenzátor má velmi nízkou elektrickou kapacitu a používá se hlavně pro ladění radiových frekvencí a filtraci. Jeho kapacita se pohybuje od několika pikofaradů (pF) až po hodnoty několika mikrofaraďů (μF).

Obrázek 9 Schéma dvouvrstvého kondenzátoru



Zdroj: Nikolaidis, Poullikkas, 2017, s. 220-245

Elektrolytický kondenzátor má vyšší elektrickou kapacitou ve srovnání s elektrostatickým kondenzátorem, zatímco jeho velikost má hodnotu v mikrofaraďech. Daný typ kondenzátorů je využíván pro filtraci, vyrovnávání elektrického napětí a přenos signálu.

Elektrostatická kapacita takového kondenzátoru, stejně jako baterie, má kladný a záporný pól, který musí být zachovávan. Třetím typem kondenzátorů je superkapacitor (také ultrakapacitor nebo dvouvrstvý kondenzátor), jehož kapacita se vypočítává ve faradech, která je mnohonásobně vyšší, než v případě elektrolytického kondenzátoru. Superkapacitor je používán za účelem ukládání energie tam, kde dochází k pravidelnému cyklickému nabití a vybití pod působením vysokého proudu, který vždy trvá jenom krátkou dobu.

Superkapacitor není jenom náhražkou akumulárního článku, určeného pro dlouhodobé uložení elektrické energie. Za předpokladu, že časy nabití a vybití překračují 60 vteřin, je výhodnější variantou použití baterie. Pokud jsou dané časy kratší, považuje se použití superkapacitoru za ekonomicky výhodnější. Superkapacitory jsou ideální variantou, a to v těch případech, kdy se vyžaduje rychlé nabití za účelem pokrytí krátkodobé potřeby elektriny.

Superkapacitory se vyznačují relativně nízkou měrnou hustotou energie a jsou finančně náročné z hlediska ceny za 1 watt. K výhodám superkapacitorů patří:

- téměř neomezená životnost z hlediska počtu nabíjecích cyklů,
- vysoký měrný výkon, díky nízkému odporu jsou umožněny vysoké zátěžové proudy,
- nabití se zajišťuje během několika vteřin, není nutnost sledovat ukončení nabíjení,
- jednoduché nabíjení, přitom se odebírá energie, která je potřebná,
- neexistuje ohrožení akumulárního článku přebitím,
- bezpečnost a dobrá snesitelnost nesprávného používání,
- nadprůměrné vlastnosti při nabíjení a vybíjení článku za nízkých teplot.

Za nevýhody superkapacitorů jsou označovány:

- nízká měrná hustota energie,
- rovnoměrný pokles elektrického napětí při vybíjení neumožňuje využití celého spektra energie akumulárního článku,
- rychlé samovybíjení, které převyšuje většinu akumulárních článků,
- nízké napětí akumulárního článků,
- vysoká cena za watt. (OZE.TZB-INFO.CZ, 2018)

6.3 Mechanická akumulace

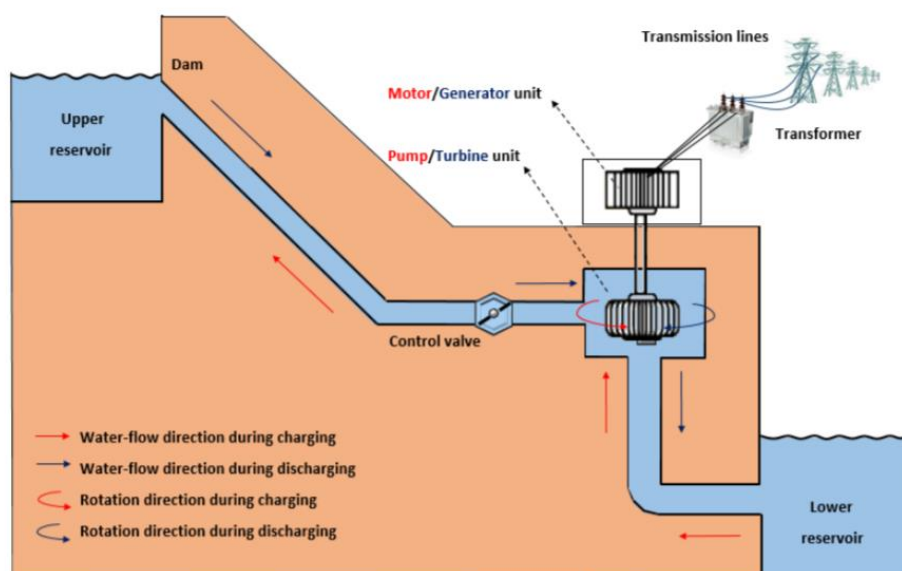
V této kapitole jsou popsány mechanické způsoby akumulace elektrické energie prostřednictvím přečerpávacích vodních elektráren, stlačeného vzduchu a setrvačníků.

6.3.1 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) využívají přebytku elektrické energie při její nízké spotřebě (zpravidla v noci) za účelem načerpání vody do umělé nádrže. Naopak ve špičce spotřeby je voda využívána k produkci elektřiny. Reverzní soustrojí jednak pracuje jako turbogenerátor, produkující elektřinu, jednak jako motor - čerpadlo. (CEZ.CZ, 1999)

Princip PVE není v zásadě složitý. Využívají se dvě vodní nádrže (horní a dolní). V době, kdy v elektrizační soustavě dochází ke snížení spotřeby, pracuje PVE jako čerpadlo a elektřina se spotřebovává k čerpání vody z dolní do horní nádrže. Zajišťuje se využití méně hodnotné elektrické energie, která se ukládá v horní akumulární nádrži ve formě potenciální energie vody. Při špičkovém zatížení PVE se spouští turbínový režim, díky čemuž se turbína pohání zadržanou vodou v důsledku rozdílu v hladinách horní a dolní vodní nádrže. To znamená, že potenciální energie vody je přeměněna na mechanickou a elektrickou energii. Proto jsou vodní elektrárny obvykle stavěny na řekách s dostatečným výškovým rozdílem. V současné době se PVE vyznačují celkovou efektivitou ve výši zhruba 75 %. (OENERGETICE.CZ, 2015)

Obrázek 10 Schéma přečerpávací vodní elektrárny



Zdroj: Nikolaidis, Poullikkas, 2017

V poslední době se široce využívají kombinované systémy - PVE postavené na řekách a schopné provozu v režimu konvenční vodní elektrárny. To umožní snížit kapitálové náklady a zvýšit funkčnost systému. Je třeba poznamenat, že hlavními faktory, které určují možnost PVE, její maximální kapacitu a investiční náklady, jsou vlastnosti terénu a potřeba zaplavení území. Proto v Evropě a Japonsku není kladen hlavní důraz na výstavbu nových elektráren, ale na modernizaci starých systémů tohoto typu a nástavby akumulčních systémů nad již existujícími vodními elektrárnami.

Hlavním problémem této možnosti akumulace elektřiny jsou škody způsobené PVE na životním prostředí a poškození hospodářství – při jejich výstavbě i při výstavbě velkých vodních elektráren je nutné zaplavit určité území, což vede ke změnám ve složení vodní flóry a fauny, stažení různých pozemků z oběhu a přesídlení sídel. (DEANE a kol., 2010, s. 1293–1302)

První velká přečerpávací vodní elektrárna (PVE) v ČR Štěchovice II byla spuštěna do provozu v roce 1947. V této elektrárně byla použita třístrojová soustrojí s výkonem po 21 MW. K roku 1991, kdy byla z důvodu své zastaralosti odstavena, zajistila výrobu 1 650 000 MWh (především špičkové elektrické energie). Po roce 1991 došlo k rekonstrukci PVE Štěchovice. Obě starší soustrojí byla nahrazena jedinou moderní turbínou. Motorgenerátor této PVE disponuje příkonem 50 MW. Z původních 50 % celková účinnost nového soustrojí se zvýšila na 75 %, zatímco ročně se vyrábí 62 GWh.

Výstavba víceúčelové PVE Dalešice začala v roce 1971. 4 turbosoustrojí této PVE mají užitečný výkon 450 MW. Daná elektrárna je schopna 1 minutu poté, co byl vyslán impulz, zajistit dodávku 450 MW špičkové energie.

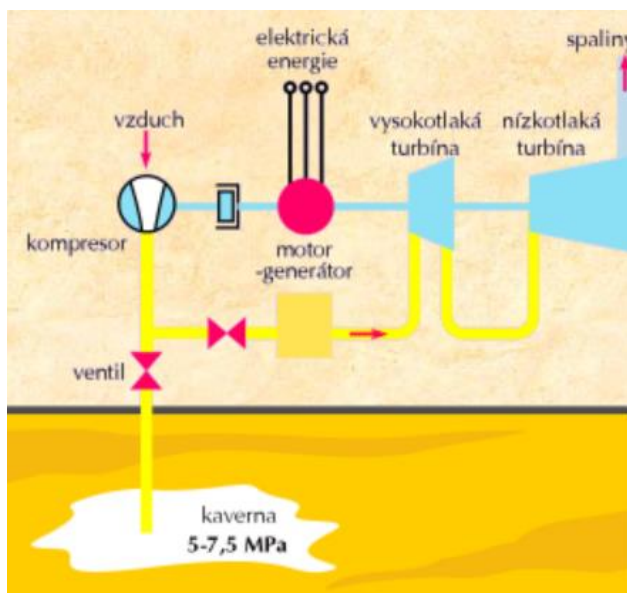
V současné době nejvýkonnější PVE ČR Dlouhé Stráně se začala stavět v roce 1978. Dle původního projektu měly být využívány 4 třístrojové jednotky s celkovým výkonem 600 MW, ale díky pozdější modernizaci začaly být využívány jenom 2, ale nejmodernější a nejefektivnější dvoustrojové jednotky, díky čemu se kapacita PVE zvýšila na 650 MW. (CEZ.CZ, 1999).

6.3.2 Stlačený vzduch

Pro velké energetické systémy se také používají zásobníky stlačeného vzduchu. Nadměrná elektřina vyráběná obnovitelnými zdroje se používá k napájení výkonných kompresorů, které pumpují vzduch pod tlakem do nádrže. Tradiční stanice tohoto typu používají jako rezervoár přírodní podzemní dutiny, protože se jedná o obrovský objem

stlačeného vzduchu. Taková dutina by neměla mít praskliny, skrz které by vzduch mohl opustit prostor - takové úniky jsou ekvivalentní samovybíjení akumulátoru. Musí také vydržet pracovní tlak vzduchu bez zničení. Čím vyšší je tlak vzduchu, tím více energie může být uloženo ve stejném objemu. Energetická extrakce z takového zásobníku se však neobejde bez přívodu tepla z vnějšku. Vzduch dodávaný do plynové turbíny je zahříván spalováním zemního plynu. Takové CAES (Compressed-air energy storage) se nazývají diabetické, protože proces využívá externí tepelný vstup.

Obrázek 11 Schéma akumulace elektrické energie pomocí stlačeného vzduchu



Zdroj: CEZ.CZ, 2020

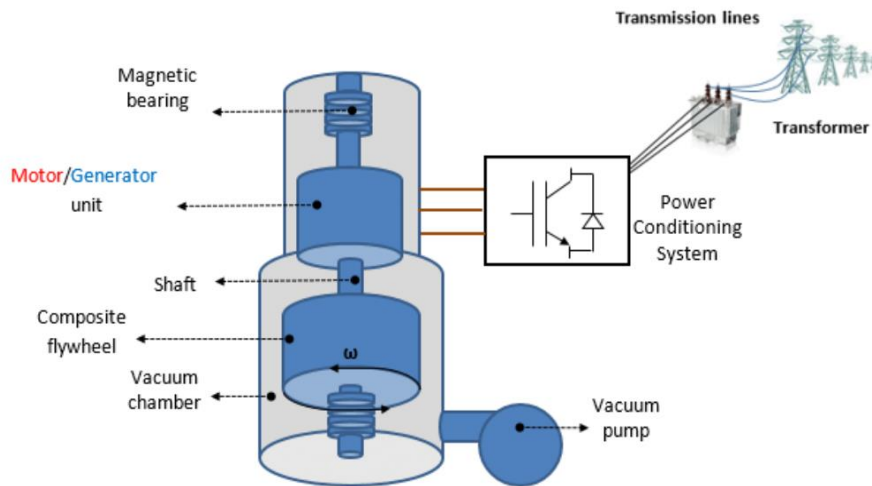
Mezi výhody takových stanic patří nižší kapitálové náklady díky použití dostupných a používaných v jiných průmyslových odvětvích zařízení – kompresory a plynové turbíny přizpůsobené různým výkonovým rozsahům. Nespornou výhodou je velikost energetických toků vyvážených takovou baterií - mluvíme o stovkách MW, což odpovídá velkým větrným farmám, městům a dokonce celému regionu. Zřejmé jsou také minusy - pro ohřátí je nutné použít zemní plyn, což nemůže být součástí „čisté“ energetiky, je třeba hledat vhodné jeskyně, které nejsou všude k dispozici. Proto, jako v případě PVE, lze CAES stavět zdaleka ne všude. Stejně jako systém PSP se při nízkém příkonu systém neměří dobře. (LUND, SALGI, 2009)

6.3.3 Setrvačníky

Setrvačník je historicky prvním druhem akumulátoru, protože byl znám již před tisíci lety. Je schopen odevzdat energii za zlomek sekundy. Princip setrvačníku je založen na

přeměně kinetické energie na elektrickou energii a naopak. K akumulaci elektrické energie může být setrvačnický systém využit tak, že se setrvačnický systém upevní na hřídel elektromotoru, který je poháněný elektrickým proudem, a tak se akumuluje. Při odběru energie hraje elektromotor roli dynamu a zajišťuje návrat akumulované elektrické energie.

Obrázek 12 Schéma setrvačnického systému



Zdroj: NIKOLAIDIS, POULLIKAS, 2017

Setrvačnické zásobníky energie jsou využívány průmyslem, aby bylo zajištěno překonání krátkodobého výpadku sítě, způsobeného pohromou řídicího nebo počítačového systému ve výrobě. Např. setrvačnický akumulátor DYBAT je schopen po dobu 30 sekund dodávat výkon 70 kW, přičemž má hmotnost jen 70 kg. Životnost nepřetržitého otáčení setrvačnického kolečka je odhadována zhruba na 10 let. Vysoká energetická účinnost (vyšší než 80 %) umožňuje setrvačnickým kolečkům se paralelně zapojit do baterií a krátkodobě vydat elektrický výkon maximálně ve výši několika MW. (CEZ.CZ, 2020)

Takové systémy mohou reagovat na změny výkonu v systému dostatečně rychle a vyvinout vysoký výkon, ale dlouhodobá akumulace velkého objemu energie vyžaduje velké kapitálové náklady (konstrukce a zajištění nezbytných bezpečnostních opatření, obvykle spojených s konstrukcí ochranné kupole nad setrvačnickým kolečkem v případě jejího zničení odstředivými silami nebo odtržení od osy). Z hlediska aplikace je tento systém blízký superkondenzátorům, ale umožňuje práci v rozsahu vyšších kapacit při nižší úrovni kapitálových nákladů. Hlavní studie, které se v současné době provádějí, souvisejí s hledáním nových materiálů schopných snížit cenu setrvačnického kolečka při zachování pevnostních charakteristik a při snížení úrovně ztrát způsobených třením, odvíjením masivního těla a odporem vzduchu. Například pro vyřešení posledního problému bývají setrvačnické kolečky umístěny ve vakuu.

Akumulační systémy se setrvačníky mohou nahradit starší typy článků (zpravidla jde o Ni-Cd články). Výhodou setrvačnicků je to, že množství jejich cyklů se neomezuje chemickými reakcemi. Životnost setrvačnicků může činit v průměru několik let, nicméně je nutné dbát na předepsanou údržbu (např. úniky chladiva nebo ztráta vakua). Setrvačníky mohou disponovat účinností, přesahující 90 %. (RADIL, 2017, s. 7–8)

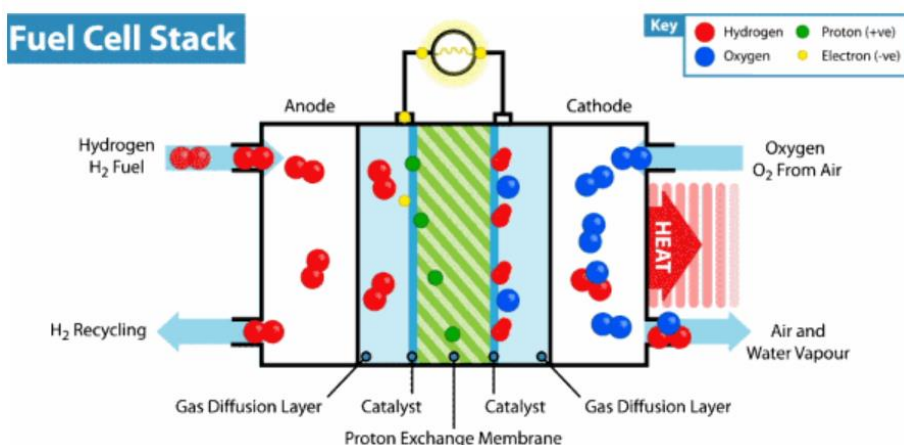
6.4 Další možnosti

Nejslibnější z alternativních způsobů skladování elektrické energie je vodík. Vodíkové palivové články jsou šetrné k životnímu prostředí a v důsledku své činnosti neprodukují skleníkové plyny. Kromě toho je vodík v zásadě obnovitelný, protože může být získán hydrolyzou vody. Vodíkové palivové články tak v budoucnu slibují, že se stanou úplnou součástí procesu výroby energie, ve kterém se energie slunce a větru používá k výrobě vodíkového paliva, které se pak v palivovém článku používá k výrobě vody. Cyklus se tak uzavře a nezůstanou žádné stopy. (POSTNAUKA.RU, 2020)

6.4.1 Akumulace ve vodíku

Vodíkový palivový článek připomíná tradiční galvanický článek s jediným rozdílem: látka pro reakci není uložena v prvku, ale je dodávána z vnějšku. Při průchodu anodou vodík ztrácí elektrony, které jdou do elektrického obvodu, a kationty vodíku procházejí membránou. Dále, na katodě kyslík zachytí proton a vnější elektron, v důsledku čehož se vytvoří voda.

Obrázek 13 Princip fungování vodíkového palivového článku



Zdroj: HABR.COM, 2018

Z hlediska ekologické energetiky mají vodíkové palivové články extrémně vysokou účinnost – 60 %. Vodíková energetika je šetrná k životnímu prostředí, ale není autonomní.

Pro provoz potřebuje palivový článek vodíku, který se na Zemi nenachází v čisté formě. Vodík musí být získán, ale všechny stávající metody jsou buď velmi drahé, nebo neúčinné.

Nejpohodlnější a nejjednodušší metoda je elektrolýza vody. Když elektrický proud protéká vodou, dochází k řadě elektrochemických reakcí, v důsledku čehož se vytváří vodík. Významnou nevýhodou tohoto způsobu je velká spotřeba energie potřebná pro reakci. To znamená, že se získá poněkud zvláštní situace: k výrobě vodíkové energie je zapotřebí energie. Aby se předešlo zbytečným nákladům během elektrolýzy a ušetřily se cenné zdroje, snaží se některé společnosti vyvíjet systémy s úplným cyklem „elektřina - vodík - elektřina“, v nichž lze energii získat bez externího dobití. (HABR.COM, 2020)

V okamžiku, kdy dochází k úspěšnému extrahování vodíku, může být využit v palivových článcích za účelem zpětného získání energie, tj. jako baterie. V porovnání s dobíjením článků z elektrické sítě je vodík mnohem výhodnější; protože ho lze dočerpat téměř stejně rychlým způsobem jako tekuté palivo. Hlavní nevýhodou vodíku je velmi nízká hustota energie na jednotku objemu, a proto musí být skladován pod velmi vysokým tlakem, aby mohl být použit ve vozidlech, přenosných energetických baňkách, dronu. To zvyšuje náklady spojené se skladováním a přepravou vodíku.

Vodík je považován za vhodný konzervátor energie ze zdrojů, u nichž je sledován nárazový přísun a není zabezpečen stabilní výkon během denního využití. Jedna z prvních vodíkových úložen má být spuštěna v roce 2023 v Německu. Jedná se o elektrárnu s výkonem 100 MW, která bude využívat vodíkových rezerv za účelem akumulace elektrické energie a má za cíl efektivně regulovat výkyvy v rozvodné síti. (ECOFUTURE.CZ, 2020)

7 Porovnání (náklady, ekonomické zhodnocení)

Je poměrně obtížné porovnat jednotlivé způsoby ukládání energie mezi sebou, především proto, že každá metoda je používána v různých oblastech života a průmyslu. Jako příklad lze uvést PVE a lithiové baterie. Hlavním cílem lithiové baterie je vysoká hustota energie při malých rozměrech pro využití například v mobilních telefonech. Naopak PVE slouží pro velkokapacitní akumulaci. Přestože obě technologie slouží pro akumulaci, těžko je lze srovnávat ve všech možných parametrech.

Tabulka ukazuje přehled nejpoužívanějších metod akumulace s určitými parametry pro srovnání. Je třeba brát v úvahu, že některé hodnoty jsou ve zdrojích rozdílné. Kromě toho

mohou některé rozdíly vznikat i určitým pokrokem některých technologií, které jsou stále ve vývoji.

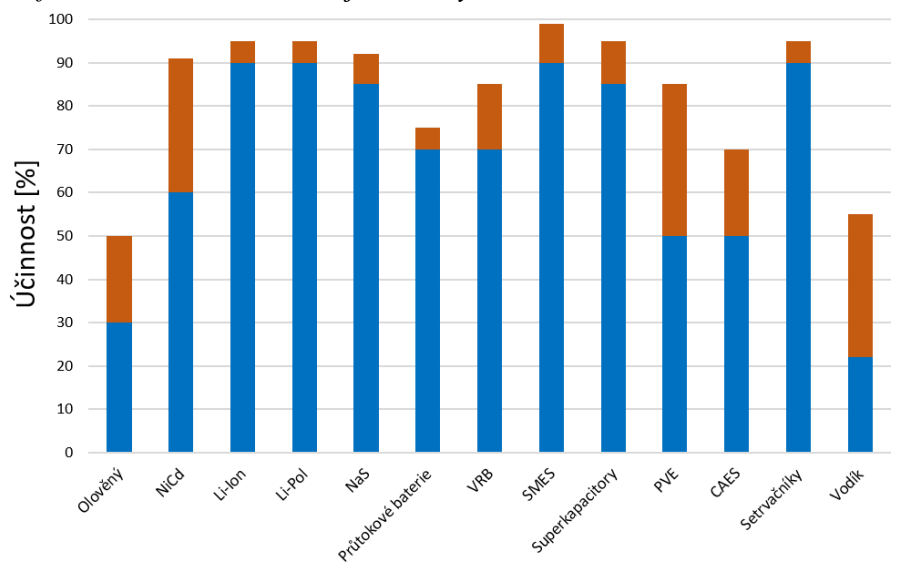
Tabulka 1 Porovnání jednotlivých parametrů metod akumulace energie

Typ akumulátoru	Cena na jednotku výkonu [dolary/kW]	Náklady na jednotku energie [dolary/kWh]	Životnost [roky]	Účinnost [%]	Výkon [MW]	Samovíbijení za den
Olověný	300-600	200-400	5-15	30-50	0-20	0,1-0,3%
NiCd	500-1500	800-1500	10-20	60-91	01-40	0,2-0,6%
Li-Ion	1200-4000	600-2500	5-15	90-95	0-0,1	0,1-0,3%
Li-Pol	1500-4500	600-2500	5-15	90-95	0-0,1	0,1-0,3%
NaS	1000-3000	300-500	10-15	85-92	0,05-8	20%
Průtokové baterie	700-2500	150-1000	5-10	70-75	0,05-2	malé
VRB	600-1500	150-1000	5-10	70-85	0,03-3	malé
SMES	200-300	1000-10000	20+	90-99	0,1-10	10-15%
Superkapacitory	100-300	300-2000	10-30	85-95	0-0,3	20-40%
PVE	600-2000	5-100	40-60	50-85	100-5000	velmi malé
CAES	400-800	2-50	20-40	50-70	5-300	malé
Setrvačnický	250-350	1000-5000	15	90-95	0-0,25	100%
Vodík	10000	-----	5-15	22-55	0-50	prakticky nulové

Zdroj: Vlastní zpracování

7.1 Porovnání z hlediska účinnosti

Graf 1 Porovnání Účinnost jednotlivých metod



Zdroj: Vlastní zpracování

Účinnost jednotlivých systémů je dána především technologickým pokrokem. Rozsah hodnot účinnosti je dán rokem výroby zařízení a dostupnou technologií v té době. Jak je vidět tak prostor pro výrazné zlepšení je v možnostech akumulace energie pomocí vodíku, olověných akumulátorů a částečně také u tlakovzdušných elektráren.

7.2 Výhody a nevýhody jednotlivých možností akumulace

V následující tabulce, na rozdíl od předchozí, nejsou technické parametry akumulátorů uvedeny v číslech, ale výhody a nevýhody z pohledu běžného uživatele.

Tabulka 2 Výhody a nevýhody jednotlivých systémů akumulace

Typ akumulátoru	Výhody	Nevýhody
Olovený	spolehlivost, nižší cena provozu a údržby	ekologická náročnost
Alkalický	menší citlivost na nepečlivé zacházení	nejvíce vhodné pro méně často používaná zařízení
NiCd	vyšší spolehlivost a životnost, univerzální povaha	ekologická náročnost
NiMH	vyšší ekologičnost	omezenější klimatická a mechanická odolnost
Li-Ion	vyšší hustota energie, účinnost	bezpečnostní otázky, vysoká pořizovací cena
Li-Pol	vyšší hustota energie, kompaktní rozměry	vyšší cena
NaS	účinnost	vysoká pracovní teplota
Na-Ion	nižší cena, vyšší kapacita	vyžaduje zlepšení konstrukce
NaNiCl	vyšší hustota energie	vysoká pracovní teplota
Průtokové baterie	vyšší kapacita a nízké náklady	nižší hustota energie
VRB	vysoká kapacita	nižší hustota energie, náklady
SMES	vysoká účinnost, výkon	výrobní náklady
Superkapacity	životnost, výkon, bezpečnost, dobrá snesitelnost nesprávného používání	nízká hustota energie, rychlé samovybití
PVE	vysoká kapacita, nízké náklady	geografické podmínky
CAES	nižší kapitálové náklady, velikost energetických toků	geografické podmínky
Setrvačníky	vysoká účinnost, nezávislost na teplotě okolí	velké kapitálové náklady
Vodík	ekologičnost	nízká hustota energie, náklady

Zdroj: Vlastní zpracování

Největší kapacitu jistě mají PVE, protože mají velký hospodářský význam pro celé státy a regiony. Nadprůměrnou ekologickou náročnost mají olovené a NiCd články, a to vzhledem k obsahu látek, které nejsou ekologické.

8 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo charakterizovat a porovnat různé způsoby akumulace elektrické energie a porovnat, jaké mají výhody a nevýhody z hlediska vybraných kritérií. Význam efektivní akumulace elektrické energie pro současné spotřebitele a hospodářství lze jenom stěží přecenit. Akumulace elektrické energie v různých podobách a různými způsoby slouží k uspokojení široké škály potřeb jak řadových uživatelů, tak velkých podniků a celých hospodářství. Ke zvolení vhodnějšího způsobu akumulace elektrické energie je zapotřebí zohlednit různé faktory.

Jde o faktory, které jsou podstatné pro spotřebitele akumulované elektrické energie s ohledem na jeho potřeby, časové, prostorové a finanční možnosti, stejně jako i ekologické požadavky na konkrétní druh akumulačního článku nebo způsob ukládání elektrické energie. Velký hospodářský význam akumulace elektrické energie je důvodem pro stálé zlepšování a zdokonalování jednotlivých typů akumulace elektrické energie s ohledem na moderní technický a vědecký pokrok a potřeby uživatelů elektrické energie.

9 Seznam použitých zdrojů

- A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability. *ResearchGate.net* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-electrochemical-double-layer-capacitor_fig13_320755664
- Akumulace elektřiny. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://oze.tzbinfo.cz/akumulace-elekriny>
- Alkalická baterie. *Bateria.cz* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/alkalicka-baterie.htm>
- Alkalické baterie. *Battex* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkove-primarni-clanky/alkalicke-baterie>
- BANNIGAN, Vincent. Strategie pro prodloužení životnosti akumulátorů v přenositelných zařízeních. *Automa* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/strategie-pro-prodlouzeni-zivotnosti-akumulatoru-v-prenositelnych-zarizenich-2012_11_0_10019/
- BŘEZINA, Pavel. Co je lepší: zaplatit za drahou lionku, anebo levnější nikl-kadmiovou? *Idnes.cz*[online]. 2013 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/hobby/dilna/domaci-naradi-akumulatory.A130403_110711_hobby-dilna_bma
- BUDÍN, Jan. Přečerpávací vodní elektrárna - princip a uspořádání. *Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2>
- Budoucnost energetiky - akumulace a malé jaderné reaktory. *Archiv.ihned.cz* [online]. 2013 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-61424210-budoucnost-energetiky-akumulace-a-male-jaderne-reaktory>
- CENEK, Miroslav. *Akumulátory a baterie*. 1. Praha: STRO.M, 1996. Knihnice Elektro.

- Cesty K Akumulaci Elektrické Energie. *Cez.cz* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html
- CESTY K AKUMULACI ELEKTRICKÉ ENERGIE. *Cez.cz* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html
- CETL, Tomáš. Lithiové akumulátory velkých výkonů a jejich použití. *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2005 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/lithiove-akumulatory-velkych-vykonu-a-jejich-pouziti--13384>
- Co je to elektrochemický zdroj. *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2006 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/co-je-to-elektrochemicky-zdroj--12911>
- ČERNÝ, Václav. Supravodivost (4). *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2006 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/supravodivost-4--13200>
- DEANE et al. 2010. Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14. pp. 1293–1302.
- Elektrická Energie. *Cez.cz* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/energie_2.html
- ERICKSON, Christian. Hranenie energii: chto, kak i pochemu. *Bellona.ru* [online]. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://bellona.ru/2019/07/18/hranenie-energii-chto-kak-i-pochemu/>
- HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. 1. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- Jak funguje superkapacitor? A jak může vylepšit baterie? *Oze.tzb-info.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16916-jak-funguje-superkapacitor>

- Jak vybrat baterie a nabíječku. *Dtest.cz* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-1831/jak-vybrat-baterie-a-nabijecku>
- KABEŠ, Karel. Keramické palivové články v sériové výrobě. *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2005 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/keramicke-palivove-clanky-v-seriove-vyrobe--11659>
- KRÁSENSKÝ, Tomáš. Podle čeho vybírat akumulátory do domácnosti a pro kutily. *Novinky.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/bydleni/jak-na-to/clanek/podle-ceho-vybirat-akumulatory-do-domacnosti-a-pro-kutily-40029118>
- KŘIVÍK, Petr. Nové poznatky ve vývoji, výzkumu a optimalizaci olověných akumulátorů: New findings in research, development and optimization of lead-acid batteries : zkrácená verze habilitační práce. 1. Brno: VUTIUM, 2015. ISBN 978-80-214-5130-8.
- KŮŽEL, Filip. Li-Ion baterie dominují a do 5 let se to nezmění. Modernější Li-Pol posiluje jen pomalu. *Mobilmania.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/li-ion-baterie-dominuji-a-do-5-let-se-to-nezmeni-modernejsi-li-pol-posiluje-jen-pomalu/sc-3-a-1345887>
- Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1.část). *Cnews.cz* [online]. 2011 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>
- Li-ion baterie: principy, provoz, rady. *Cnews.cz* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>
- Li-ion baterie: principy, provoz, rady. *ResearchGate.net* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-electrochemical-double-layer-capacitor_fig13_320755664
- Lithiové a alkalické baterie. *Svet-svitidel.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.svet-svitidel.cz/clanky-lithiove-a-alkalicke-baterie/>
- LOUCKÝ, Milan. Proč explodují baterie smartphonů a dá se tomu zabránit? *Chip.cz* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/novinky/proc-exploduji-baterie-smartphonu-a-da-se-tomu-zabranit/>
- LUND, Henrik a Georges SALGI. The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems. *Energy Conversion and Management* [online]. 2009

- [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/223382871_The_role_of_compressed_air_energy_storage_CAES_in_future_sustainable_energy_systems. ISSN 0196-8904.
- LUND, Henrik a SALGI, Georges. (2009). The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems. *Energy Conversion and Management*. 50. 1172-1179. 10.1016/j.enconman.2009.01.032.
- MAREK, Jiří – STEHLÍK, Luděk. *Hermetické akumulátory v praxi*. 1. Praha: IN-EL, 2004. Elektro (IN-EL). ISBN 80-862-3034-1.
- MAREŠ, Jan et al. Akumulace elektrické energie. *Odbornecasopisy.cz* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>
- Nabijíte telefon přes noc do 100 %? Chyba. *Ekolist.cz* [online]. 2016 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/nabijite-telefon-pres-noc-do-100-chyba>
- NIKOLAIDIS, Pavlos a POULLIKKAS, Andreas. (2017). *Journal of Power Technologies* 97 (3) 220-245 A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-flywheel-energy-storage-system_fig15_320755664
- NIKOLAIDIS, Pavlos a POULLIKKAS, Andreas. (2017). *Journal of Power Technologies* 97 (3) (2017) 220-245 A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/320755664_Journal_of_Power_Technologies_97_3_2017_220-245_A_comparative_review_of_electrical_energy_storage_systems_for_better_sustainability/citation/download
- NiMH akumulátory – v čem byly a jsou lepší a naopak horší než Li-Ion baterie? *Teslafan.cz*[online]. 2016 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/nimh-akumulatory-v-cem-byly-a-jsou-lepsi-a-naopak-horsi-nez-li-ion-baterie>
- NOSKA, Martin. Jak je to s bezpečností li-ion baterií? *Computerworld.cz* [online]. 2010 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://computerworld.cz/technologie/jak-je-to-s-bezpecnosti-li-ion-baterii-7597>

- NOVÁK, FRANTIŠEK. Místo Kobaltu A Niklu Síra. Vědci Věří Levnější Variantě Baterií. *Euro.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/misto-kobaltu-a-niklu-sira-vedci-veri-levnejsi-variante-baterii-1479686>
- Paměťový efekt. *Battex.info* [online]. 2005 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/povery-a-myty-o-hermetickych-akumulatorech/pametovy-efekt-memory-effect>
- Primární galvanické články a jejich porovnání. *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2006 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/primarni-galvanicke-clanky-a-jejich-porovnani--13134>
- Přečerpávací vodní elektrárna. *Cez.cz* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/precerp_vod_el.html
- Přečerpávací vodní elektrárny u nás. *Cez.cz* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/precerpel_1.html
- RADIL, Lukáš. *SKLADOVÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE V ENERGETICE* [online]. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, 2017 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://aktualne.cvut.cz/zpravy-z-medii/20171004-skladovani-elektricke-energie-v-energetice>
- Rozdělení elektrických akumulátorů. *BATTEX* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/rozdeleni-elektrickych-akumulatoru>
- Schematic diagram of pumped hydro storage plant. *ResearchGate.net* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-pumped-hydro-storage-plant_fig3_320755664
- SCHOLTZOVÁ, Jiřina. *Nové baterie bez těžkých kovů* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2014_26_jyr.php
- SIGMUND, Jiří. Fulgur Battman – specialista na baterie a akumulátory. *Elektro* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/fulgur-battman-specialista-na-baterie-a-akumulatory--3548>

- Structure and reaction formula of batteries. *Battery Association of Japan* [online]. 2004 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://www.baj.or.jp/e/knowledge/structure.html>
- Supravodivý indukční akumulátor. *Cez.cz* [online]. Simopt, s.r.o, 1999 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/supravod_ind_ak.html
- ŠNAJDROVÁ, Veronika, Tomáš HLINČÍK a Karel CIAHOTNÝ. ÚČINNOST RŮZNÝCH SYSTÉMŮ UKLÁDÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ. In: *VŠCHT Praha, Ústav plynných a pevných paliv a ochrany ovzduší* [online]. 19.06.2017, 60 - 66 [cit. 2020-04-08].
- TYWONIAK, J. a kolektiv. *Nízkoenergetické domy 3. Nulové, pasivní a další*. Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3832-1.
- Ventilem řízené olověné akumulátory. *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2004 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/ventilem-rizene-olovene-akumulatory--13929>
- VLACHOS, Dionisios. Vodorodnye toplivnye jelementy: ot poletov «Apollona» do avtomobilej. *Postnauka.ru* [online]. 2016 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://postnauka.ru/faq/59642>
- Vodík jako budoucnost. *Ecofuture.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/vodik-jako-budoucnost>
- Vodorodnaja jenergetika: nachalo bolshogo puti. *Habr.com* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/428511/>
- Vodorodnaya energetika: nachalo bol'shogo puti. *Habr.com* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/428511/>