

Přehled perspektivních technologií akumulace energie

Martin Vinš

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

mvins@rice.zcu.cz

Assasment of Promising Energy Storage Technologies

Abstract – The most promising technologies of energy accumulation for energy storages are mentioned in this paper. There are pumped hydro storages, compressed air energy storages, thermal energy storages and battery energy storages. These technologies are described by their principles and operational characteristics. Their possible advantages and disadvantages are discussed in main part of the paper.

Keywords – *Battery Energy Storage; Compressed Air Energy Storage; Complex Energy Storage Systems; Pumped Hydro Storage; Thermal Energy Storage*

I. ÚVOD

Akumulační systémy slouží buď k přímému ukládání elektrické energie, nebo jiné formy energie tak, aby mohla být v případě potřeby přeměněna na elektrickou energii. Tento proces umožňuje vyrábět elektrickou energii v době nízké poptávky, při nízkých výrobních nákladech, nebo nestálé výrobě, přičemž tato energie může být následně využita v době vysoké poptávky. Tato práce se zabývá charakteristikami jednotlivých technologií pro akumulaci energie, jejich dynamikou a využitelností.

II. TECHNOLOGIE PRO UKLÁDÁNÍ ENERGIE

A. *Perspektivní technologie*

- přečerpávací vodní systémy
- systémy s akumulací stlačeného vzduchu
- tepelné akumulační systémy
- bateriové systémy pro akumulaci energie

B. *Přečerpávací vodní systémy*

Aktuálně nejrozšířenější způsob akumulace energie s nejdelsí provozní historií. Princip spočívá v realizaci potrubí se zabudovanými vodními turbínami mezi dvěma nádržemi s využitelným výškovým spádem. Akumulována je potenciální energie vody. [1]

Při vybíjení voda z výše položené nádrže teče do níže položené nádrže, čímž roztáčí vodní turbínu spojenou s generátorem, při nabíjení pracuje vodní turbína v reverzním režimu jako čerpadlo. Celý systém může najet na jmenovitý výkon do několika minut a

může být konstruován na velké výkony (nad 100 MW). Největší překážkou při realizaci je nutnost příznivé geografie prostředí a s tím spojený environmentální dopad. [1]

C. *Systémy s akumulací stlačeného vzduchu*

Také velmi perspektivní způsob akumulace energie s dlouhou provozní historií. Principiálně funguje jako klasický Braytonův cyklus s plynovou turbínou, kde vzduch po kompresi není vháněn přímo do spalovací komory, ale je uskladňován na vhodném místě pro pozdější použití. [3]

Takovým vhodným místem pro uskladnění stlačeného vzduchu může být buď vhodná podzemní dutina (vytěžený solný důl, apod.), nebo tlaková nádoba. Při použití podzemních dutin je opět důležitá příznivá geografie, při použití tlakových nádob dochází ke značnému omezení velikosti výkonu a kapacity. Kvůli spalování plynu dochází také k emisím oxidu uhličitého. [3]

D. *Tepelné akumuláční systémy*

Tyto systémy se dělí na vysokoteplotní (akumulace tepla) a nízkoteplotní (akumulace chladu), přičemž v energetice mají zásadní význam vysokoteplotní systémy. Princip funkce spočívá v realizaci tepelně izolovaného zásobníku akumuláčního média, které může být pevné, kapalné nebo plyné. Teplo je tak ukládáno buď zvyšováním teploty akumuláčního média, nebo jako latentní teplo při změně skupenství akumuláčního média při téměř konstantní teplotě s nejčastěji využívanou změnou skupenství pevné/kapalné. [2]

K realizaci není třeba místo s příznivou geografii a systém je možné konstruovat i pro velké výkony. Problémem je pomalejší doba odezvy a nutnost připojení dalšího zařízení, které z uloženého tepla bude vyrábět elektrickou energii. [1]

E. *Bateriové systémy pro akumulaci energie*

Aktuálně technologicky perspektivními pro použití v energetických úložištích jsou olověné, lithium-iontové, sodíkovo-sírové a vanadové redoxní průtočné baterie. Bateriové úložiště lze konstruovat modulárně, což umožňuje výkonovou variabilitu. [1]

Ačkoli jsou olověné baterie vůbec nejpoužívanějším typem baterií s dlouhou provozní historií, překážkami pro jejich použití jsou kratší životnost, nízký počet cyklů nabití/vybití a potřeba pravidelné údržby. [2]

Lithium-iontové baterie aktuálně zažívají značný rozvoj, avšak hluboké cyklické vybíjení zkracuje životnost a jsou značně citlivé na provozní teplotu. Hlavními výhodami jsou vysoké výkonové i energetické hustoty, klesající náklady díky stále rozšířenějšímu používání a vysoká účinnost. [3]

Sodíkovo-sírové baterie jsou v současnosti také velmi dobře technologicky zvládnuté, jsou schopny podávat pulzní výkon, mají vysoké výkonové i energetické hustoty, jsou až z 99 % recyklovatelné a vyrobené z netoxických materiálů. Značnou nevýhodou je však vysoká pracovní teplota a s ní spojené systémy na její udržování. [1]

Vanadové redoxní průtočné baterie jsou nejpokročilejším typem z průtočných baterií. Jsou prakticky bezúdržbové, zvyšování jejich kapacity se neprovádí skládáním jednotlivých článků, ale zvětšováním objemu nádrží elektrolytů, díky čemuž s rostoucí kapacitou značně klesá jejich cena. Hustota akumulované energie v elektrolytu je však relativně nízká a je třeba provádět údržbu na čerpadlech. [2]

TABULKA I. TECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY SYSTÉMŮ PRO AKUMULACI ENERGIE VČETNĚ DALŠÍCH DOSTUPNÝCH SYSTÉMŮ (1) [1]

Technologie	Jmenovitý výkon (MW)	Jmenovitá kapacita (MWh)	Denní samovybitení (%)
Přečerpávací vodní systémy	100-5000	500-8000	Zanedbatelné
Systémy s akumulací stlačeného vzduchu	110-1000	<2860	Zanedbatelné
Malé systémy s akumulací stlačeného vzduchu	0,003-10	0,01	Zanedbatelné
Setrvačníky	0,1-20	<5	Až 20% za hodinu
Olověné baterie	0-40	0,001-40	0,1-0,3
Lithium-iontové baterie	0-100	0,004-10	0,1-0,3
Sodíkovo-sírové baterie	<34	0,4-244,8	Zanedbatelné
Nikl-kadmiové baterie	0-40	6,75	0,2-0,6
Vanadové redoxní baterie	0,03-50	<60	Zanedbatelné
Zinko-bromové baterie	0,05-10	0,05-3	Zanedbatelné
Polysulfid-bromové baterie	20-30	<120	Zanedbatelné
Kondenzátor	0-0,05		Až 50% za 15 min
Superkondenzátor	0-0,3	0,0005	20-40
Supravodivé magnetické systémy	0,2-6	0,0008-0,015	10-15
Vodíkové palivové články	<59	<39	Zanedbatelné
Tepelné akumulační systémy	0,1-300		0,05-1

TABULKA II. TECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY SYSTÉMŮ PRO AKUMULACI ENERGIE VČETNĚ DALŠÍCH DOSTUPNÝCH SYSTÉMŮ (2) [1]

Technologie	Životnost (roky)	Počet cyklů (cykly · 10 ³)	Doba odezvy
Přečerpávací vodní systémy	40-60	10-30	(min)
Systémy s akumulací stlačeného vzduchu	20-40	8-12	(min)
Malé systémy s akumulací stlačeného vzduchu	23+	30	(s-min)
Setrvačníky	15-20	20+	(s)
Olověné baterie	5-15	0,5-1	(ms)
Lithium-iontové baterie	5-15	20	(ms)
Sodíkovo-sírové baterie	10-20	2,5-4,5	(ms)
Nikl-kadmiové baterie	10-20	35	(ms)
Vanadové redoxní baterie	5-20	12	(ms)
Zinko-bromové baterie	5-10	2	(ms)
Polysulfid-bromové baterie	10-15		(ms)
Kondenzátor	1-10	50	(ms)
Superkondenzátor	10-30	100+	(ms)
Supravodivé magnetické systémy	20-30	100+	(ms)
Vodíkové palivové články	5-20	20+	(s)
Tepelné akumulační systémy	10-30		(min-h)

III. ZÁVĚR

Tento článek popisuje aktuálně nejperspektivnější technologie pro akumulaci energie, které mohou být použity pro stále žádanější energetická úložiště. Základní přehled parametrů technologií a srovnání s dalšími typy technologií akumulace energie jsou uvedeny v Tabulce I. a Tabulce II.

Systemy, které jsou schopné podat vysoký výkon, mají značné geografické nároky, popř. environmentální dopad. Proto nejuniverzálnější je použití tepelného akumulárního systému, avšak tento systém má poměrně pomalou dynamiku. Naopak systémy s rychlou dynamikou o malém, nebo středním výkonu mohou být realizovány bateriovými akumulárními systémy. Z aktuálně technologicky perspektivních typů baterií nejsou pro energetická úložiště příliš vhodné olověné a lithium-iontové baterie, avšak použití lithium-iontových baterií je stále v některých ohledech výhodné. Vhodné je naopak použití sodíkovo-sírových a vanadových redoxních průtočných baterií, ačkoli i tyto systémy mají jisté nevýhody. [1], [2]

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-009: Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích III.

LITERATURA

- [1] Hadjipaschalis, Ioannis, et al. "Overview of Current and Future Energy Storage Technologies for Electric Power Applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 6-7, 2009, pp. 1513–1522., doi:10.1016/j.rser.2008.09.028.
- [2] "99/03718 Environmental Assessment of Vanadium Redox and Lead-Acid Batteries for Stationary Energy Storage." *Fuel and Energy Abstracts*, vol. 40, no. 6, 1999, p. 392., doi:10.1016/s0140-6701(99)98924-5.
- [3] "Storing Energy: with Special Reference to Renewable Energy Sources." *Chemistry International*, vol. 37, no. 5-6, Jan. 2015, doi:10.1515/ci-2015-0519.