



Agronomická
fakulta



Problematika akumulace energie

Mendelova
univerzita
v Brně



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Mendelova
univerzita
v Brně



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Cíle kapitoly

- Popsat způsoby akumulace elektrické energie
- Popsat způsoby akumulace tepelné energie

Klíčová slova

- Akumulace, teplo, energie

1. Úvod

Jak uchovat co nejefektivněji elektrickou nebo tepelnou energii je zásadní otázka pro další rozvoj obnovitelných zdrojů energie a v současné době je této problematice věnována značná pozornost. Vlivem nestálosti produkce elektrické či tepelné energie u některých obnovitelných zdrojů energie (jako například sluneční či větrné elektrárny, sluneční kolektory apod.) se výzkumné týmy snaží najít cestu, jak co nejlépe energii akumulovat a uchovat pro pozdější použití. Tato kapitola se bude zabývat obecně metodami, které lze pro tento účel využít.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

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

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

Vybitý akumulátor se nabíjí tak, že reakční produkty se převedou elektrickým proudem opět na původní reaktanty. Během nabíjení nabíjecím proudem z jiného zdroje se dodávaná elektrická energie mění na chemickou energii a během vybíjení se akumulovaná chemická energie opět mění na elektrickou energii dodávanou do elektrického obvodu, do kterého je akumulátor zapojen. Záporná elektroda je katodou během vybíjení a anodou během nabíjení.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

Při vybíjení zde reaktant oxiduje a volné elektrony předává záporné elektrodě. Kladná elektroda je anodou během vybíjení a katodou během nabíjení. Při vybíjení je zde redukován reaktant a volné elektrony reaktant přijímá z kladné elektrody.

Elektrické napětí elektrochemických článků se pohybuje podle typu akumulátorů v hodnotách 1,1 až 2 V. Pro technické účely se proto běžně využívají akumulátory sestavené sériově do baterií. Většina akumulátorů je schopna opětovného nabití ve stovkách až tisících cyklů.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

Na trhu existuje celá řada elektrických akumulátorů, jako příklad lze uvést:

- Olověné akumulátory
- NiCd akumulátory
- Li-ion akumulátory
- Průtokové baterie

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

- *Pb akumulátory*

Olověné akumulátory patří spolu s dále uvedenými niklkadmiovými mezi nejstarší, neznámější a nejvíce rozšířené akumulátory. Ačkoliv je z některých aplikací pomalu začínají vytlačovat Li-ion akumulátory, existují oblasti, ve kterých jsou olověné a alkalické akumulátory nenahraditelné. Oproti Li-ion akumulátorům vynikají zejména odolností vůči nízkým teplotám, bezpečností a cenou. Nevýhodou je pak ekologická zátěž v podobě Pb a Cd.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

Elektrody olověných baterií tvoří Pb a PbO, které při vybíjení reagují s elektrolytem (kys. sírová) za vzniku PbSO₄ na obou elektrodách. Svorkové napětí jednoho olověného článku jsou 2 V. Své pevné postavení mají tyto baterie v automobilech a při krátkodobém zálohování.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

NiCd akumulátory

Kladná elektroda alkalického akumulátoru v nabitém stavu je tvořena oxo-hydroxidem nikelnatým $\text{NiO}(\text{OH})$, který při vybíjení přechází na hydroxid nikelnatý. Záporná kadmiová elektroda při vybíjení reaguje s kyslíkem za vzniku CdO . Elektrolytem je rozpuštěný hydroxid draselný ve vodě. Napětí jednoho článku je 1,2 V. NiCd baterie lze použít pro krátkodobou zálohu a jejich příbuzný typ NiMH v přenosných zařízeních.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

Li-ion akumulátory

Katoda Li-ion akumulátorů tvoří oxid kovu (LiCoO_2), anoda je z uhlíku s vrstevnatou strukturou. Elektrolyt tvoří lithná sůl (LiPF_6) rozpuštěná v organickém karbonátu. Při nabíjení Li ionty interkalují do vrstevnaté struktury uhlíkové elektrody. Li-ion akumulátory mají velkou hustotu energie i účinnost se jmenovitým napětím 3,6 V, nedostatkem je vysoká cena a škodlivost hlubšího vybíjení projevující se snižováním životnosti baterie. Díky malé velikosti a hmotnosti jsou Li-ion akumulátory vhodné pro použití v přenosných zařízeních a pro krátkodobé zálohování.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Elektrochemické akumulátory

Průtokové baterie

Průtokové baterie se v podstatě skládají ze dvou rezervoárů naplněných elektrolytem proudícím elektrochemickým článkem. Hustota energie těchto baterií je dána množstvím elektrolytu v rezervoárech, zatím co hustota výkonu je ovlivněna chemickými reakcemi probíhajícími na elektrodách. Účinnost těchto baterií je od 75 % do 85 %, napětí na článku závisí na použitém elektrolytu a pohybuje se v rozmezí od 1,4 V do 1,8 V. Relativně nový typ CeZn (cer-zinek) dosahuje napětí 2 V. Svojí vysokou kapacitou jsou průtokové baterie vhodné na dlouhodobé zálohování.

Akumulátor	Výhody	Nevýhody
Pb	cena, hustota energie i výkonu	ekologie, (účinnost)
Ni-Cd	hustota energie i výkonu, účinnost	ekologie
Na-S	účinnost	vysoká provozní teplota
Li-ion	velká hustota energie i výkonu, účinnost	cena, bezpečnost
Průtoková baterie	velká kapacita, nízké náklady	nízká hustota energie

Výhody a nevýhody jednotlivých typů elektrických akumulátorů

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Akumulace energie v superkapacitorech

Akumulace energie v superkapacitorech zažívá rozvoj teprve v posledních několika letech. Energie je zde akumulována do elektrického pole nabitého kondenzátoru. Využití superkapacitorů je nyní běžné především v hybridních automobilech a elektromobilech, kde jsou určeny k rychlé akumulaci energie při rekuperaci během brzdění a k rychlému dodání energie pro akceleraci. Díky dobré perspektivě je vývoji superkapacitorů věnována značná pozornost i finanční prostředky pro výzkum a vývoj. Lze proto očekávat další rozvoj tohoto způsobu akumulace energie.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Akumulace energie v superkapacitorech

Základem superkapacitorů je speciální materiál elektrod s velkou plošnou hustotou (práškový uhlík nanesený na hliníkovou fólii o ploše v poměru k hmotnosti asi $2\,000\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$), čímž se zajistí kapacita v řádu tisíců faradů. Elektrody superkapacitoru jsou odděleny polypropylenovou fólií a prostor je vyplněn tekutým elektrolytem. Při použití současných elektrolytů je napětí jednoho článku zhruba 2,5 V. Pro akumulaci energie pod vyšším napětím lze články řadit sériově. Superkapacitory se vyznačují malým sériovým odporem, jsou tedy vhodné pro rychlé dodávky i odběr energie.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Akumulace energie v superkapacitorech

Špičkové výkony při uvolnění energie ze superkapacitoru v poměru k jeho hmotnosti jsou v řádech kilowattů na kilogram ($\text{kW}\cdot\text{kg}^{-1}$). V současné době je na trhu několik typů superkapacitorů s kapacitami od 2 do 3 000 F s napětím na článek 2,7 V.

Výhodou superkapacitorů je poměrně vysoká účinnost akumulace (až 95 %). Nevýhodou je závislost napětí na uloženém náboji, což lze minimalizovat použitím napěťových měničů. Rovněž cena je zatím poměrně vysoká, ale s objemem zavedení v průmyslu a s nárůstem sériovosti výroby lze předpokládat její pokles.

2. Akumulace elektrické energie

2.1 Akumulace energie v superkapacitorech

Superkapacitory se jeví vhodné pro použití v oblasti fotovoltaiky, především jako vyrovnávací akumulátory elektrické energie pro menší systémy spojené se sítí, kde mohou kompenzovat krátkodobé výkyvy výkonu. Jejich použití se rovněž předpokládá v ostrovních fotovoltaických systémech, kde by mohly časem konkurovat klasickým elektrochemickým akumulátorům.

2. Akumulace elektrické energie

2.2 Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách

Další možností akumulace energie je princip přečerpávacích elektráren. Je-li jedna nádrž umístěna výše než druhá a jsou-li oba rezervoáry propojeny potrubím s reverzní turbínou, je možné v době přebytku energie čerpat vodu do horní nádrže. Voda tak zvyšuje svou potenciální energii. V době nedostatku energie může voda naopak tuto energii předávat turbíně a s ní spojenému elektrickému generátoru.

2. Akumulace elektrické energie

2.2 Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách

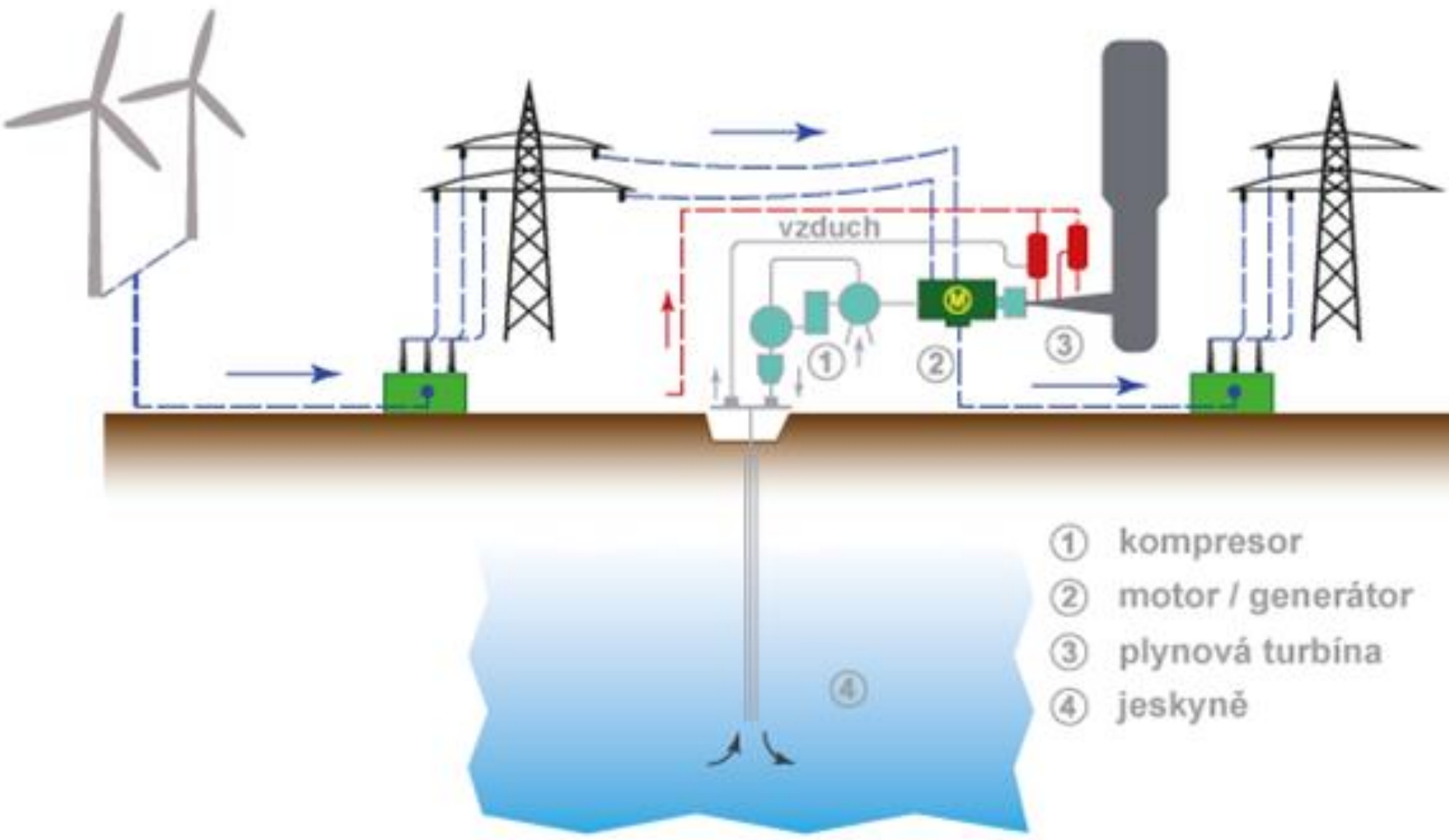
Lze tak vyrovnávat nerovnoměrný odběr energie z rozvodné sítě ve špičkách a mimo ně. Vodní elektrárna může najet na plný výkon během krátké doby – přibližně 100 s. Naše velké přečerpávací elektrárny byly konstruovány hlavně pro akumulaci přebytku elektrického výkonu z jaderných elektráren v mimošpičkové době, bylo by však možné je využít i k akumulaci energie z fotovoltaických a větrných elektráren. Rozměry nádrží, turbíny i generátoru je třeba dimenzovat podle plánovaného využívání. V ČR jsou tři velké přečerpávací elektrárny ČEZ a stavba dalších je plánována. Největší z nich je přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně, její důležité parametry jsou pro zajímavost uvedeny v následující tabulce.

Horní nádrž		
Objem	m ³	2,6 · 10 ⁶
Nadmořská výška	m	1350
Hloubka	hod ⁻¹	28 (plní se na 26)
Doba vyprázdnění při plném výkonu	hod ⁻¹	6,5
Doba naplnění při plném výkonu	hod ⁻¹	8,5
Dolní nádrž		
Nadmořská výška	m	800
Průměrný průtok říčky	m ³ · s ⁻¹	0,5
Minimální výtok z přehrady	m ³ · s ⁻¹	0,2
Elektrárna		
Spád	m	550
Účinnost	%	75
Turbíny	-	2x Francissova turbína
Výkon soustrojí	MW	2x 325
Hmotnost vody v náhonu	t	15000
Průměr rotoru	mm	4540
Hmotnost rotoru	t	400
Hmotnost kulového ventilu	t	100
Hltnost	m ³ · s ⁻¹	2x 68,5
Otáčky	min ⁻¹	428,6
Rok zahájení stavby	-	1978
Rok ukončení stavby	-	1996

2. Akumulace elektrické energie

2.3 CAES systémy

Jedná se o zkratku z anglického Compressed Air Energy Storage, tedy skladování energie stlačením vzduchu. Princip je podobný jako u přečerpávací elektrárny, která je uvedena výše. V době přebytku elektrické energie jsou spuštěny turbokompresory, které vtlačí vzduch do geologického podloží. Hodnota tlaku vtlačného vzduchu činí kolem 6 MPa. Naopak v době nedostatku energie je poté vzduch z geologického podloží uvolněn a pohání turbínu s alternátorem. Schématicky je proces zaznačen na následujícím obrázku. CAES systém může být řešení pro ukládání elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie, jejichž výroba v průběhu dne kolísá – jedná se tedy především o větrné nebo solární elektrárny.



- ① kompresor
- ② motor / generátor
- ③ plynová turbína
- ④ jeskyně

2. Akumulace elektrické energie

2.3 CAES systémy

Vhodnými geologickými podloží pro tento systém jsou:

- Solné kaverny
- Skalnaté podloží
- Porézní podloží

2. Akumulace elektrické energie

2.3 CAES systémy

Solné kaverny

Solné kaverny patří z hlediska nákladů k nejlevnějším variantám ukládání stlačeného vzduchu. Díky elasticko-plastickým vlastnostem solných hornin po vyhloubení kaverny je riziko úniku stlačeného vzduchu nízké. Pro vytvoření kaverny v solné hornině je však zapotřebí zdroj horké vody. Kaverny bývají vysoké a úzké s malou stropní klenbou. Na následujícím obrázku jsou uvedeny lokality v Evropě, kde se nachází solné horniny a kde je také velký potenciál pro rozvoj větrných elektráren. Červené kruhy značí oblasti, kde dochází k intenzivnímu výzkumu pro rozvoj CAES systému.



Potenciální oblasti pro rozvoj CAES systému v Evropě

2. Akumulace elektrické energie

2.3 CAES systémy

Skalnaté podloží

Stlačený vzduch je v tomto případě vtlačěn do kaverny vytvořené ve skalním masivu. Náklady na ražbu jsou však velmi vysoké, a proto nelze předpokládat masivní rozšíření tohoto typu zásobníku. V okrajovém měřítku se používá i jako zásobníky pro zemní plyn. Zástupcem tohoto typu zásobníku je v České republice například zásobník Háje u Příbrami, který je zbudován v krystalinických strukturách.

2. Akumulace elektrické energie

2.3 CAES systémy

Porézní podloží

Porézní struktura je také velmi vhodná pro uskladňování stlačeného plynu a hojně se také využívá pro uskladnění zemního plynu. Většinou se jedná o různá vytěžená ložiska ropy nebo zemního plynu. Podloží se skládá z propustných hornin, která mají vysokou pórovitost a nachází se zde množství trhlin. Stlačený vzduch, potažmo zemní plyn, se skladuje právě v těchto pórech a trhlinách. Dalším typem, i když méně častým, může být uskladnění ve zvodnělé vrstvě (aquiferu). Jedná se o horninu, jenž plní roli přirozených vodních rezervoárů, v případě, že se voda z tohoto prostředí uměle vytlačí do nižších vrstev horniny, může poté tato hornina sloužit jako zásobník stlačeného vzduchu nebo zemního plynu.

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Vodíkové hospodářství

Vodík se jako zdroj energie používá už asi 200 let a je hlavní složkou syntetických plynů vyráběných zplynováním fosilních paliv i biomasy. Nyní představuje využívání vodíku přibližně 1 % všech zdrojů energie, ale zatím většinou jde o vodík získaný z fosilních paliv. Myšlenka vodíkových energetických systémů (tzv. vodíkové hospodářství) se zkoumá od 60. let 20. století. Nejprve šlo o využití mimošpičkového výkonu zejména z jaderných elektráren, podobně jako je tomu u přečerpávacích elektráren.

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Vodíkové hospodářství

Teprve v poslední době přibyla i možnost využití přebytečného výkonu solárních fotovoltaických systémů a větrných elektráren. U obnovitelných zdrojů energie je akumulace energie do výroby vodíku zvláště perspektivní, neboť tak by nerovnoměrnost jimi dodávaného výkonu nečinila problémy v rozvodné síti.

Samotné vodíkové hospodářství se skládá z několika částí:

- Výroba vodíku
- Skladování vodíku
- Energetické využití vodíku

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Vodíkové hospodářství

Výroba vodíku

Mezi nejstarší způsoby výroby vodíku patří výroba vodíku pomocí elektrolýzy. Elektrolýza je proces, při kterém dochází k elektrochemickému rozkladu vody vložením stejnosměrného napětí na elektrody elektrolyzéro. Průchodem elektrického proudu elektrolytem dochází k pohybu kladných iontů k záporné elektrodě a záporných iontů ke kladné elektrodě. Na katodě poté dochází k vývoji vodíku, na anodě kyslíku. Proces elektrolýzy může probíhat za normálních teplot.

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Vodíkové hospodářství

Mezi další způsoby patří například parní reforming, parciální oxidace nebo zplyňování. Tyto zmíněné principy výroby vodíku se liší podle charakteru vstupní suroviny. Pokud technologie vychází ze zemního plynu a lehkých ropných frakcí hovoříme o tzv. parním reformování, pokud je surovinou těžký topný olej o parciální oxidaci. Termochemické zpracování uhlí je označováno jako zplyňování. .

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Vodíkové hospodářství

Skladování vodíku

Vodík je možné skladovat buď jako plyn nebo jako kapalinu. V současné době je nejběžnější formou skladování stlačeného vodíku v tlakových lahvích. Ty jsou široce dostupné v průmyslu technických plynů. Bohužel měrná hustota energie tohoto skladovacího média je nízká. Je zřejmé, že při použitém vyšším tlaku vzrůstají náklady a zvyšují se požadavky na bezpečnost..

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Vodíkové hospodářství

Další variantou je skladování vodíku v metalhydridových materiálech (a nejnověji v nanouhlíkatých materiálech), kdy se vodík interkalací zabudovává do struktury základního materiálu. Výhodou těchto variant je vyšší objemová hustota skladovaného vodíku při nižších provozních tlacích. Nevýhodou jsou vyšší celková váha slitin pro skladování, omezená kapacita materiálů, obtíže při zpětném uvolňování vodíku, tepelný proces a celkové vysoké náklady na tento systém.

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Vodíkové hospodářství

Energetické využití vodíku

Vodík je principiálně možno využít dvěma způsoby. Chemickou energii, která je v něm uchována, je možno uvolnit buď jeho spálením ve spalovacím motoru, případně turbíně, nebo využít jeho výjimečných vlastností a přeměnit jej přímo na elektrickou energii v palivových článcích. Ačkoli první z možností je v dnešní době poměrně dobře zvládnutá, druhá nabízí, i přes nutnost překonat některé vývojové překážky, zvýšení účinnosti využití energie až o desítky procent.

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Akumulace energie v mechanických akumulátorech

Setrvačníky ukládají energii do kinetické energie do otáčející se hmoty rotoru. Podle počtu otáček za minutu se rozlišují vysokootáčkové a nízkootáčkové setrvačníky. V případě válcového rotoru je moment setrvačnosti dán hmotností a poloměrem, zatímco úhlová rychlost je limitována jeho pevností. Materiály s nízkou hustotou umožňují vyšší rychlosti, a tudíž mohou uložit více energie na jednotku hmotnosti i jednotku objemu.

2. Akumulace elektrické energie

2.4 Akumulace energie v mechanických akumulátorech

Vysokootáčkové setrvačníky mají rotory vyrobeny z plastů vyztužených vlákny a vydrží rychlosti více než 100 000 otáček za minutu. Nízkooláčkové setrvačníky mají rotory z oceli s rychlostí 10 000 otáček za minutu. Setrvačníky se vyznačují vysokým výkonem, nízkou energií a velmi krátkou naběhovou prodlevou v řádech jednotek milisekund. Výkon setrvačníku je obecně spíše limitován výkonovou elektronikou. Největší komerčně používaný setrvačník poskytuje kolem 1,6 MW po dobu 10 sekund.

3. Akumulace tepelné energie

3.1 Akumulace citelného tepla

Ohřev pracovní látky je nejjednodušší způsob akumulace tepla. Využívá měrné teplo pracovní látky. Protože princip je snadno pochopitelný, byl tento způsob akumulace historicky první, který byl využíván. Vhodná pracovní látka má mít velkou tepelnou kapacitu a nízkou cenu. Těmto požadavkům nejlépe odpovídá voda. Známý je elektrický zásobníkový ohřívač teplé vody (bojler) nebo zásobník solárního kolektoru. Voda má ze všech látek největší měrnou tepelnou kapacitu $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}^{-1}$.

3. Akumulace tepelné energie

3.1 Akumulace citelného tepla

V menší míře se používá kamenivo nebo jiná pevná látka. Jejich výhodou je především vyšší rozsah provozních teplot a jednodušší konstrukce akumulátoru, mají však výrazně nižší tepelnou kapacitu, pouze 0,8 až 1,0 kJ·kg·K⁻¹. Na rozdíl od zásobníků s vodou systém nemůže být poškozen mrazem. Klasické pece na pečení chleba, akumulční kamna nebo kachlová kamna využívají akumulaci tepla v pevných látkách.

Výhody akumulace citelného tepla jsou obvykle - nízká cena pracovní látky a nízké nároky na know-how. Hlavní nevýhodou je značný objem akumulátoru a skutečnost, že využitelná teplota v průběhu vybíjení klesá.

3. Akumulace tepelné energie

3.2 Akumulace latentního tepla

Akumulace latentního tepla využívá entalpii fázové změny pracovní látky. V čistých chemických látkách jsou možné tři druhy fázových změn: tání/tuhnutí, výpar/kondenzace a sublimace/desublimace. Ke skladování velkého množství páry by bylo potřeba objemné zařízení odolávající velkým tlakům. Z toho důvodu je využitelný pouze fázový přechod mezi tuhou látkou a kapalinou.

3. Akumulace tepelné energie

3.2 Akumulace latentního tepla

Výhodou oproti akumulaci citelného tepla je konstantní teplota a často i menší objem. Pracovní teplotu akumulátoru lze určit vhodnou volbou pracovní látky. Jistou nevýhodou je vyšší cena pracovní látky ve srovnání s akumulací citelného tepla. V praxi se ukazuje, že chemicky čisté látky se snadno znečistí, což ovlivní teplotu fázové změny, obvykle dojde k rozšíření rozsahu teplot.

3. Akumulace tepelné energie

3.2 Akumulace latentního tepla

Používají se látky, které tají při požadované teplotě. Kromě chemicky čistých látek (např. síran sodný $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$, jehož entalpie tání je 243 kJ/kg při teplotě kolem 30°C) se používají i směsi (například parafin), u nichž lze v závislosti na složení dosáhnout požadované teploty fázové změny. Chemicky čisté látky tají při konstantní teplotě. Naproti tomu směsi tají v širším rozsahu teplot.

3. Akumulace tepelné energie

3.3 Absorpce vzdušné vlhkosti

Vzduch v obytných stavbách obsahuje při 20°C a 50% relativní vlhkosti asi 8,6 g·m⁻³ vodní páry. Výparná entalpie vody při pokojové teplotě je přibližně 2500 kJ·kg⁻¹. Absorpcí veškeré vlhkosti z odvětrávaného vzduchu lze získat energii 21,6 kJ·m⁻³ vzduchu, neboli ohřát stejné množství vzduchu o 18,5 K. Obvykle nelze vzduch zcela vysušit, získá energie je potom nižší.

3. Akumulace tepelné energie

3.4 Sorpce vodní páry v hygroskopických látkách

Rovnovážná vlhkost hygroskopických materiálů kolísá v závislosti na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Při vzrůstu vlhkosti vzduchu dochází k sorpci vlhkosti v materiálu, při poklesu vlhkosti vzduchu dochází k desorpci vlhkosti z materiálu. Voda přitom přechází z plynného skupenství do vázaného stavu i při vyšší teplotě než je teplota rosného bodu. Pojem sorpce se používá k souhrnnému označení absorpce, adsorpce a chemisorpce, z hlediska tepelné techniky nemá rozlišování význam.

3. Akumulace tepelné energie

3.4 Sorpce vodní páry v hygroskopických látkách

K akumulaci se využívá bilance tepla při sorpci/desorpci vlhkosti v pracovní látce. Rozdíl oproti jiným způsobům akumulace tepla je v tom, že sorpce nezávisí přímo na teplotě, ale na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Může tedy probíhat při konstantní teplotě, to se využívá při vybíjení akumulátoru. Při nabíjení se snižuje relativní vlhkost vzduchu na potřebnou hodnotu jeho ohřevem na vyšší teplotu.

3. Akumulace tepelné energie

3.4 Sorpce vodní páry v hygroskopických látkách

Výhodou sorpce vodní páry je, že teplota pracovní látky v průběhu skladování může být na rozdíl od předchozích dvou způsobů akumulace libovolná. S výjimkou vychladnutí náplně jsou ztráty tepla v této fázi nulové. Nevýhodou je vyšší nabíjecí teplota než u předchozího typu, v některých případech i velmi nízká teplota při vybíjení. Během fáze skladování je třeba zabránit přístupu vlhkosti k pracovní látce.

3. Akumulace tepelné energie

3.4 Sorpce vodní páry v hygroskopických látkách

Představy o hygroskopicky vázané vodě se různí, podle některých autorů je kapalná, podle jiných může mít charakter tuhé fáze, podle toho se potom mění odhad energie uvolněné při sorpci vlhkosti. Minimální odhad je roven výparné entalpii vody. Představitelem látek z této skupiny je kromě známého silikagelu i jíl, který je hlavní součástí jílovitých zemin a nepálených cihel. Hygroskopické jsou však všechny stavební materiály s výjimkou skla, polévané keramiky, hutných plastů a kovů.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



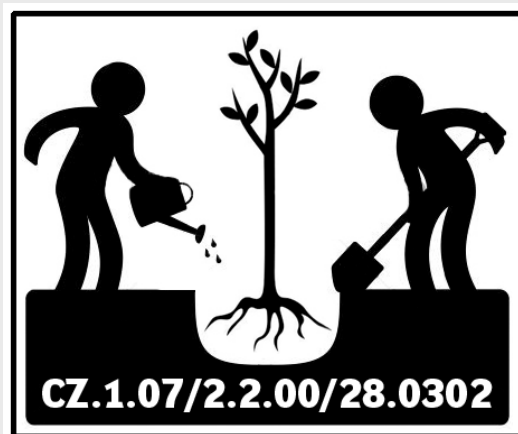
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Tato publikace je spolufinancována z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

Byla vydána za podpory projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302 Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU směřující k vytvoření mezioborové integrace.