

Akumulace elektrické energie

Ing. Jan Mareš, prof. Ing. Martin Libra, CSc., ČZU Praha,
Ing. Vladislav Poulek, CSc., Poulek Solar, s. r. o.

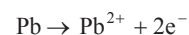
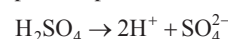
Úvod

Akumulace energie je důležitou součástí problematiky nejen obnovitelných zdrojů energie (OZE). Nevýhodou velkých elektráren je velmi omezená možnost regulace výkonu. Uhlíková elektrárna najíždí na plný výkon až půl dne, jaderná elektrárna několik týdnů. Nevýhodou využívání solární či větrné energie je nerovnoměrnost slunečního svitu a vě-

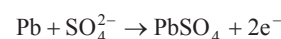
chemické energie. Jejich výhodou je dobře zvládnutá technologie výroby, operativní použití kdekoli, možnost mnohonásobného opětovného nabíjení a relativně nízká cena. Nevýhodou je samovybíjení a citlivost na hluboké vybíjení, při kterém nastávají nevratné změny na elektrodách s následkem snižování kapacity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

hem nabíjení. Při vybíjení je zde redukován reaktant a volné elektrony reaktant přijímá z kladné elektrody.

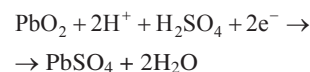
Elektrické napětí elektrochemických článků se pohybuje podle typu akumulátorů v hodnotách 1,1 až 2 V. Pro technické účely se proto běžně využívají akumulátory sestavené sériově do baterií. Většina akumulátorů je schopna opětovného nabití ve stovkách až tisících cyklů. Jako příklad lze uvést nejběžnější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



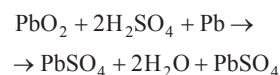
Během vybíjení nastává na záporné elektrodě reakce:



a dva volné elektrony se předají elektrodě. Na kladné elektrodě nastává reakce:

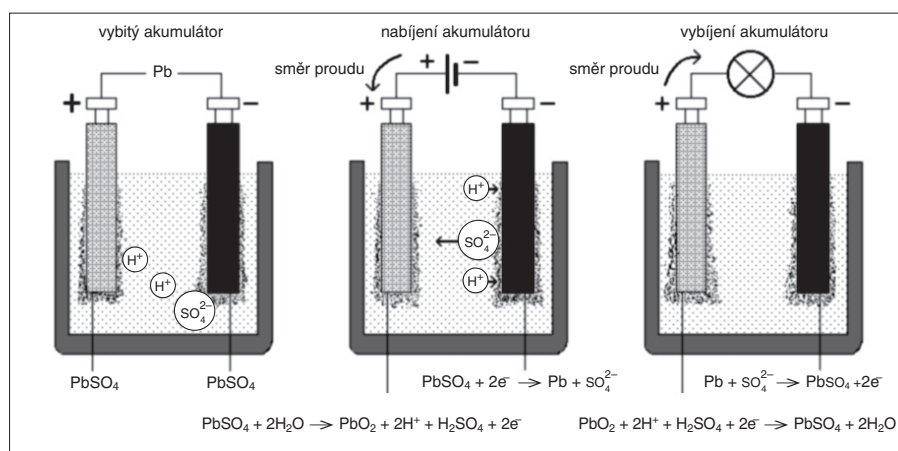


a dva volné elektrony se přijmou z elektrody. Celkovou reakci lze tedy vyjádřit rovnicí:



Na obou elektrodách vzniká síran olovnatý. Schéma olověného akumulátoru je na obr. 1, elektromotorické napětí jednoho nabitého článku olověného akumulátoru je přibližně $U_e = 2$ V. Například v automobilové baterii $U = 12$ V pro osobní vozy je sériově zapojeno šest takových článků.

Kromě olověných akumulátorů jsou známy např. akumulátory Ni-MH, Li-ion a Li-pol, Ni-Cd, Ni-Zn, Ag-Zn. Jejich princip je analogický. Nabíječky akumulátorů běžně existují a používají se od malých jednoduchých s výkony několik wattů až po velké, řízené počítačem i se senzory teploty s výkony několik kilowattů kontrolující stav nabití i mnoho dalších parametrů. Na trhu jsou dostupné akumulátory s kapacitou až 10 000 A·h s možností až 1 200 nabíjecích cyklů. Na obr. 2 jsou akumulátory určené pro ostrovní fotovoltaičké systémy na výstavě v Miláně roku 2007. Podrobnější popis elektrochemických akumulátorů je např. v [1].



Obr. 1. Schéma olověného akumulátoru

tru. Částečně tyto výkyvy mohou vyrovnávat vodní elektrárny či připravované „inteligentní rozvodné sítě“, ale to vždy nemusí stačit. Proto v době přebytku energie je třeba ji akumulovat pro pozdější využití v době jejího nedostatku, a tak vyrovnávat rozdíly mezi špičkovým a mimošpičkovým odběrem a vykrývat energetické špičky v distribuční síti. Ještě potřebnější je akumulace energie v oblasti ostrovních systémů (systémů nepřipojených k elektrorozvodné síti), neboť zde je rozhodujícím faktorem efektivita celého systému.

Existuje mnoho způsobů akumulace energie. Vždy se jedná o její přeměnu na jinou formu, ve které může být efektivněji uskladněna a v případě potřeby znovu přeměněna na energii elektrickou (či podle potřeby i jinou). Tyto způsoby akumulace se liší především oblastí výkonů, při kterých jednotlivé akumulací systémy pracují, účinností, dobou, po kterou jsou schopny udržet akumulovanou energii s přijatelnými ztrátami, životností apod. V tomto článku autoři přinášejí přehled několika nejdůležitějších způsobů akumulace energie.

Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátory či akumulátorové baterie akumulují energii ve formě

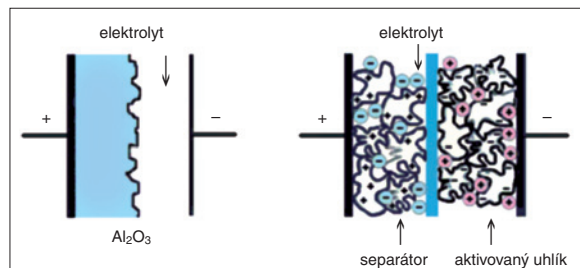


Obr. 2. Akumulátory určené pro ostrovní fotovoltaičké systémy

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. Při vybíjení zde reaktant oxiduje a volné elektrony předává záporné elektrodě. Kladná elektroda je anodou během vybíjení a katodou bě-

Akumulace energie v superkapacitorech

Akumulace energie v superkapacitorech začíná rozvoj teprve v posledních několika letech. Energie je zde akumulována do elektrického pole nabitého kondenzátoru. Například v elektronických zařízeních se k uchování paměti při výpadku napájení používají vel-



Obr. 3. Schéma vnitřního uspořádání superkapacitoru

kokapacitní kondenzátory na napětí $U = 24$ V s kapacitou $C = 1,2$ F s displejem udávajícím okamžitá napětí [2]. Podle známého vztahu pro energii nabitého kondenzátoru pojme tento kondenzátor energii:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 \approx 345 \text{ J}$$

Tento vztah platí i pro superkapacity. Využití superkapacitorů je nyní běžné především v hybridních automobilech a elektromobilech, kde jsou určeny k rychlé akumulaci energie při rekuperaci během brzdění



Obr. 4. Modul superkapacitoru

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.

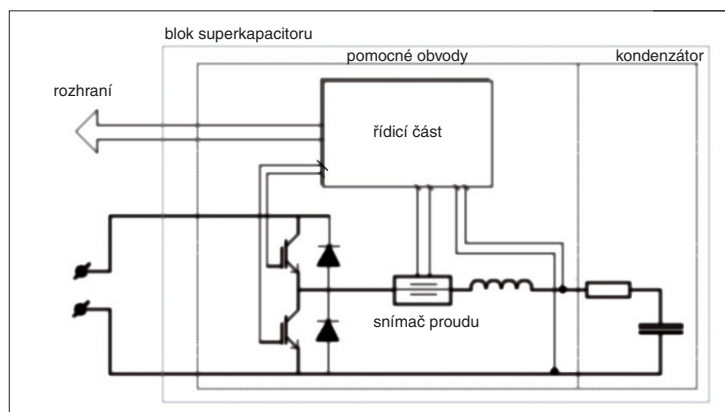
Základem superkapacitorů je speciální materiál elektrod s velkou plošnou hustotou (práškový uhlík nanesený na hliníkovou fólii o ploše v poměru k hmotnosti asi $2\,000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), čímž se zajistí kapacita v řádu tisíců faradů (viz obr. 3). Elektrody superkapacitoru jsou odděleny 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. Superkapacity se vyznačují malým sériovým odporem, jsou tedy vhodné pro

rychlé dodávky i odběr energie. Špičkové výkony při uvolnění energie ze superkapacitoru v poměru k jeho hmotnosti jsou v řádech kilowattů na kilogram ($\text{kW} \cdot \text{kg}^{-1}$). V tab. 1 je uvedeno porovnání parametrů kondenzátoru, superkapacitoru a elektrochemického akumulátoru elektrické energie. V současné době je na trhu několik typů superkapacitorů s kapacitami od 2 do 3 000 F s napětím na článek 2,7 V (viz obr. 4).

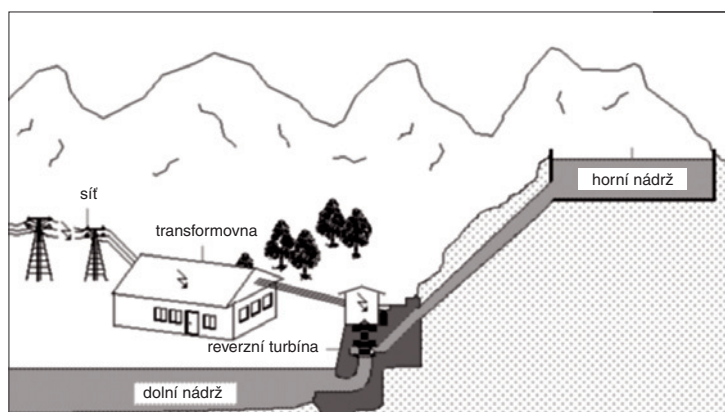
Vzhledem k malému vnitřnímu odporu tohoto zdroje, který je řádově v jednotkách miliohmů, je vhodné při jeho nabíjení používat napěťové měniče, které jsou schopny omezit velký nabíjecí proud. Tyto měniče mohou řídit rovněž vybíjení superkapacitoru a plnit dodatkové funkce, jako např. funkci elektronické pojistky proti přetížení či přepětí, nebo měřit nabíjecí a vybíjecí proud. Blokové schéma pomocného obvodu superkapacitoru pro řízení nabíjecího proudu a udržování napětí je na obr. 5.

Tab. 1. Porovnání parametrů elektrochemického akumulátoru elektrické energie, kondenzátoru a superkapacitoru (zdroj: firemní dokumentace ECOM, s. r. o.)

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



Obr. 5. Blokové schéma pomocného obvodu superkapacitoru pro řízení nabíjecího proudu a udržování napětí



Obr. 6. Schéma malé přečerpávací elektrárny

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.

Superkapacity 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.

Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách

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

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

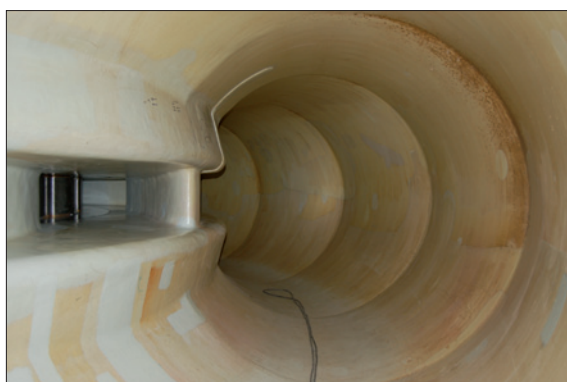
Naše velké přečerpávací elektrárny byly konstruovány hlavně pro akumulaci přebytku elektrického výkonu z jaderných elektráren v mimošpičkové době, bylo by však možné je využít i k akumulaci energie z fotovoltaických a větrných elektráren. Rozměry nádrží, turbíny i generátoru je třeba dimenzovat podle plánovaného využívání. Schéma malé přečerpávací elektrárny je na obr. 6. 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 tab. 2. Na obr. 7 je vidět víko turbíny a dno elektrického generátoru ve strojovně elektrárny a na obr. 8 je unikátní záběr vnitřku přivaděče, kde voda vstupuje do rotoru Francisovy turbíny.

Na analogickém principu jako přečerpávací elektrárny pracují vzduchové elektrár-

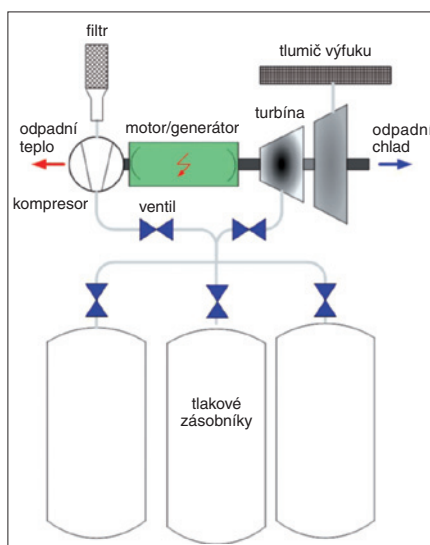
ny s tlakovými zásobníky. V tomto případě je přebytečnou elektrickou energií poháněn kompresor, který stlačuje vzduch do objemných a dobře utěsněných prostor. Mohou to být jak přírodní kaverny, např. po vytěžené ropě, tak i umělé zásobníky. V případě potřeby elektrické energie se stlačený vzduch přivádí na plynovou turbínu, která pohání soustrojí s generátorem elektrické energie. Schéma takové elektrárny je na obr. 9.



Obr. 7. Víko turbíny a dno elektrického generátoru (Dlouhé Stráně)



Obr. 8. Vnitřek přivaděče k Francisově turbíně (Dlouhé Stráně)



Obr. 9. Schéma elektrárny s tlakovými zásobníky

Během provozu při stlačování vzduchu se kompresor ohřívá, naopak při expanzi se ochlazuje. Odpadní teplo může být rovněž využito.

Vodíkové hospodářství pro akumulaci energie

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. 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.

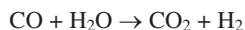
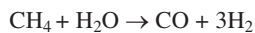
Podstatou je využití určitého druhu energie (většinou elektrické) k výrobě vodíku elektrolýzou vody a poté jeho jímání a skladování pro pozdější použití. Takto akumulovaná energie může být později přeměněna oxidací vodíku na jiný druh energie, např. elektrickou, mechanickou či tepelnou. K oxidaci může docházet buď přímým spalováním v plynovém kotli či ve spalovacím motoru, nebo řízeně elektrochemickou cestou v palivovém článku. Zkapalněný vodík se používá jako palivo pro raketové motory a počítá se s ním i pro proudová letadla.

K výrobě 1 kg vodíku elektrolýzou vody je třeba energie asi $W_1 = 38 \text{ kW} \cdot \text{h}$ při účinnosti elektrolýzérů $\eta = 90 \%$ a ke zkapalnění 1 kg vodíku ještě asi $W_2 = 10 \text{ kW} \cdot \text{h}$ [3]. Vodík jako palivo má určité výhody. Jeho výhřevnost je nejvyšší ze všech paliv – zhruba $100 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (závisí na čistotě). Spalováním vodíku vzniká pouze vodní pára a menší množství oxidů dusíku, nevznikají oxidy uhlíku a síry ani jiné škodliviny. Kapalný i plyný vodík lze použít i jako palivo do spalovacích motorů, ale takové motory musí být k tomu účelu zvláště konstruovány. Již existují automobily i autobusy na vodík i čerpací stanice pro ně určené.

Tab. 2. Důležité parametry největší přečerpávací vodní elektrárny v ČR – Dlouhé Stráně

Horní nádrž	
objem (m^3)	$2,7 \cdot 10^6$
nadmořská výška (m)	1 350
hloubka (m)	28
plní se na 26 m, 4 m stále zůstávají prázdné	
doba vyprázdnění při plném výkonu (h)	6,5
doba naplnění při plném výkonu (h)	8,5
tloušťka přírodního asfaltu z Albánie (m)	0,2
Dolní nádrž	
nadmořská výška (m)	800
průměrný průtok říčky ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,5
minimální výtok z přehradu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,2
Elektrárna	
spád (m)	550
účinnost (%)	75
turbíny	2 Francisovy
výkon soustrojí (MW)	2×325
hmotnost vody v náhonu (t)	15 000
průměr rotoru (mm)	4 540
hmotnost rotoru (t)	400
hmotnost kulového ventilu (t)	100
hltnost ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$2 \times 68,5$
otáčky (min^{-1})	428,6
napětí generátoru (kV)	22
transformátory 325 MW – největší v ČR (kV/kV)	$2 \times 22/440$
rok zahájení stavby	1978
rok uvedení do provozu	1996
cena (mld. Kč v tehdejších cenách)	6,5
návratnost investice (roky)	6

Vodík lze vyrobit i chemickou reakcí metanu za vysokých teplot (800 až 1 700 °C), přičemž nastávají reakce:



Reakce mohou probíhat v tzv. fotochemickém reaktoru, kde se vysokých teplot dosahuje koncentrací slunečního záření.

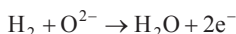
Ke skladování vodíku jsou určeny speciální tlakové zásobníky vyrobené z materiálů nereagujících s vodíkem. V mnoha materiálech

buční sítě a část energie je využita na výrobu vodíku z vody v elektrolyzáru. Tento vodík je využíván jako palivo pro palivové články pohánějící vozidla.

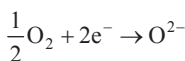
Energie akumulovaná do vodíku může být opět přeměněna na elektrickou energii ve zmíněných palivových článcích řízenou elektrochemickou reakcí – tzv. studenou oxidací vodíku neboli studeným spalováním. Palivové články jsou elektrochemická zařízení přeměňující chemickou energii v palivu během oxidačně-redukční reakce přímo na generaci elektrického proudu za vzniku

menšího množství tepla. Kontinuálně musí být přiváděno palivo i oksyločvadlo k elektrodám a odváděny spaliny.

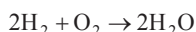
Nejjednodušší a nejpropracovanější jsou palivové články založené na slučování vodíku s kyslíkem. Jejich schéma je na obr. 11 [2]. Porézní elektrody jsou odděleny elektrolytem, v oblasti pórů vzniká třífazové rozhraní, kde dochází k elektrochemické oxidaci paliva a k redukci oksyločvadla. Pórovitá elektroda umožňuje elektrolytu vzlínat do pórů, ale tlak plynu za elektrodou nedovoluje kapalině póry pronikat. Elektrody bývají z ušlechtilých materiálů (např. platiny) a fungují i jako katalyzátory chemických reakcí. Na záporné elektrodě nastává reakce:



a dva volné elektrony se předají elektrodě. Na kladné elektrodě nastává reakce:



a dva volné elektrony se přijmou z elektrody. Celkovou reakci lze tedy vyjádřit rovnicí:

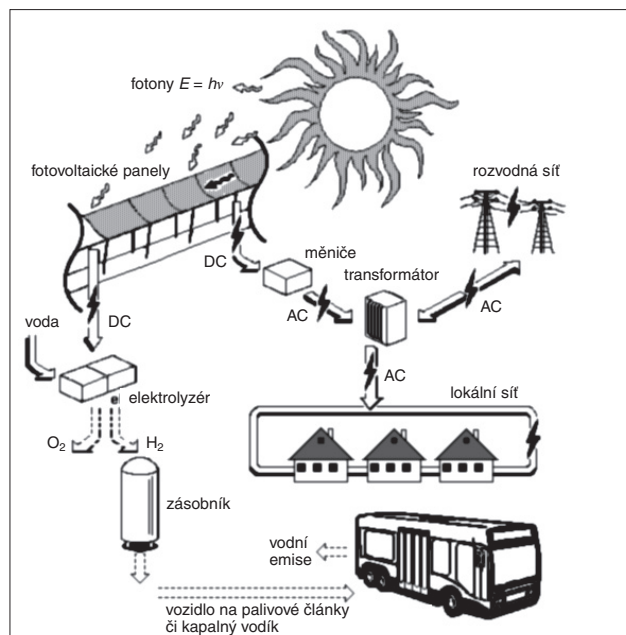


Existují palivové články různých konstrukcí, rozměrů a maximálních výkonů. Podle konstrukce a typu mohou pracovat při teplotách od 60 do 1 000 °C, jako palivo mohou používat kromě vodíku např. metan (CH_4), metanol (CH_3OH), hydrazin (N_2H_4) apod., elektrolytem může být např. roztok kyseliny fosforečné (H_3PO_4), hydroxidu draselné-

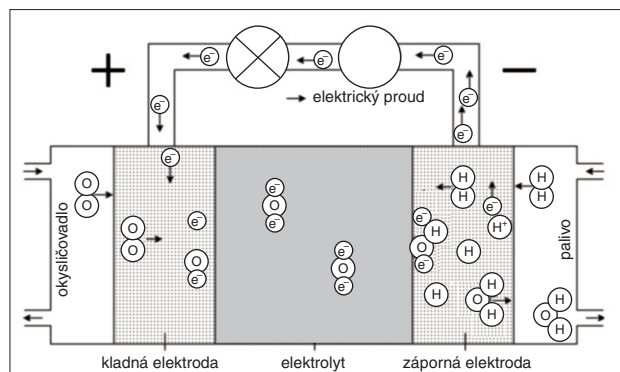
ho (KOH), tavenina alkalických uhličitánů či pevný oxidický elektrolyt (Y_2O_3). Napětí jednoho palivového článku bývá přibližně $U \approx 1\text{ V}$, články se rovněž mohou skládat sériově do baterií. Zajímavým využitím palivových článků je vodíkový elektromobil, který nemá spalovací motor s přímým vstřikováním, ale palivové články a elektromotor.

Akumulace energie v mechanických akumulátorech

Mechanické akumulátory akumulují energii v podobě kinetické energie. K tomuto účelu se používají setrvačníky. Využití setrvačníků k akumulaci energie je časté ve spa-



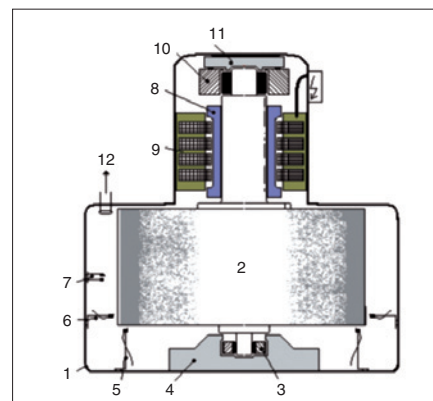
Obr. 10. Schéma fotovoltaického systému (část elektrické energie je dodávána do distribuční sítě, část energie je využita pro výrobu vodíku)



Obr. 11. Schéma palivového článku

totiž vodík difunduje do krystalické mřížky a působí křehnutí materiálu. Vodík lze vázat i na kovové prášky, s nimiž tvoří hydridy kovů. S vodíkem je nutné při jeho skladování zacházet velmi opatrně, podle přísných bezpečnostních norem. Již malé množství vodíku ve vzduchu tvoří výbušnou směs.

Na obr. 10 je schéma systému s fotovoltaickým zdrojem energie, kde je část produkcované elektrické energie dodávána do distri-



Obr. 12. Schéma setrvačnickového akumulátoru energie

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

lovacích motorech pro vyrovnávání nerovnoměrných sil. V praxi byl testován autobus poháněný energií akumulovanou ve velkém setrvačníku. Některé firmy (např. Phoenix-Zeppelin) nabízejí systémy záložního napájení (UPS) s mechanickým akumulátorem energie. Pro kinetickou energii akumulovanou v setrvačníku platí:

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$$

kde

J je moment setrvačnosti,

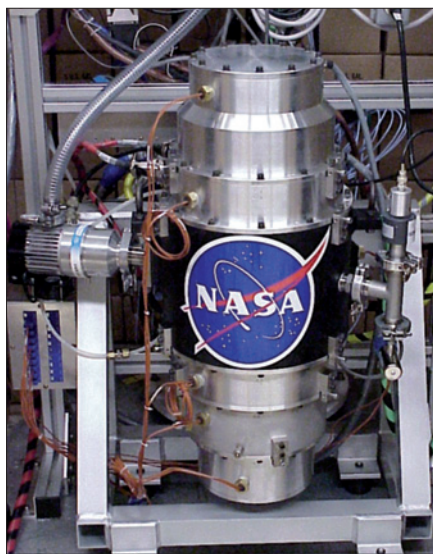
ω úhlová rychlost setrvačníku.

Používají se dva typy setrvačnickových akumulátorů. Jeden typ využívá setrvačníky velké hmotnosti uspořádané do takového tvaru, aby bylo dosaženo co největšího momentu setrvačnosti. Pracují při otáčkách do 8 000 min^{-1} . Druhý typ naopak používá lehčí setrvačníky pracující při vysokých otáčkách až 100 000 min^{-1} . Pro tak vysoké otáčky

The energy accumulation is an important problem of the present time. It is necessary to balance the energy import in the distribution network. The essential principles of the energy accumulation are described in this paper.

musí být rotor uložen ve vakuu, aby se zamezilo tření o vzduch. Často bývá uložen ještě v magnetických ložiskách s magnetickou levitací. Tyto setrvačníky jsou dílem špičkové techniky, kterou dokáže vyrobit jen několik firem na světě, a tomu odpovídá i jejich cena. Proto se zatím používají jen ve velmi speciálních aplikacích. Schéma takového setrvačníku (motor/generátor) je na obr. 12.

K roztáčení (dodávání energie) a brzdění (odběr energie) jsou používány elektromagnety. Vysokootáčkové setrvačnickové akumulátory využívá pro akumulaci energie např.



Obr. 13. Vysokootáčkový setrvačnickový akumulátor energie (foto NASA)

NASA ve vesmírném programu, kde je využit i gyroskopický efekt setrvačníku pro polohovou stabilizaci (obr. 13).

Akumulace do magnetického pole cívky

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

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

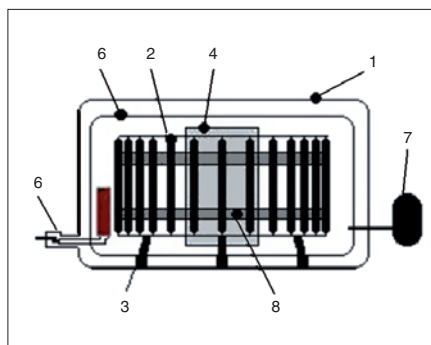
Cívka musí mít odpovídající tepelnou izolaci. Pro zachování supravodivého stavu cív-

ky je nutné udržovat cívku na nízké teplotě, obvykle bývá chlazena kapalným héliem. Na obr. 14 je schéma akumulátoru energie se supravodivou cívkou. V současné době odborníci pracují na vývoji systému se supravodivou cívkou se schopností akumulovat až 1 800 MJ energie.

Závěr

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

V oblasti vodíkového hospodářství se začíná vytvářet infrastruktura čerpacích stanic



Obr. 14. Schéma akumulace energie v magnetickém poli supravodivé cívky

pro vozidla na vodík. Přestože je v dnešní době využíván především vodík získaný z ropných uhlovodíků, zajištěním dostatečných výrobních kapacit pro získávání vodíku ze solární či větrné energie elektrolýzou vody by mohl být takto získaný vodík konkurenceschopný a mohl by nahradit vodík vyráběný z ropy. Předpokládá se i výstavba nové přečerpávací elektrárny v souvislosti s výstavbou nových bloků jaderné elektrárny Temelín.

Publikace byla podpořena výzkumným záměrem MSM 6046070905.

Literatura:

- [1] CENEK, M. a kol.: *Akumulátory od principu k praxi*, FCC PUBLIC, s. r. o., Praha, 2003, ISBN 80-86534-03-0.
- [2] LIBRA, M. – POULEK, V.: *Zdroje a využití energie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007, ISBN 978-80-213-1647-8.
- [3] LIBRA, M. – POULEK, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*. ILSA, Praha, 2009, ISBN 978-80-904311-0-2.



prof. Ing. Martin Libra, CSc., vystudoval Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT v Praze. Působil ve Fyzikálním ústavu AV ČR, v Tesle Holešovicích, na Fakultě strojní ČVUT v Praze.

Nyní působí na Technické fakultě ČZU v Praze jako proděkan pro vědu a výzkum. Zabýval se fyzikou plazmatu, vakuovými technologiemi depozice tenkých vrstev, plazmovými zdroji záření a solární energií. V Jednotě českých matematiků a fyziků je předsedou komise na propagaci matematiky a fyziky. Pracuje rovněž v redakčních radách časopisů *Jemná mechanika* a *optika* a *Energie kolem nás*, ve vědeckých radách Technické fakulty a Provozně ekonomické fakulty, v oborové radě pro energetiku a v mnoha odborných komisích.



Ing. Vladislav Poulek, CSc., vystudoval Fakultu elektrotechnickou ČVUT v Praze. Působil ve Fyzikálním ústavu AV ČR, v roce 1992/93 získal jednoroční post-doc. stipendium na Limburgs University Centre (L.U.C.) v Belgii. Zabýval se fyzikou plazmatu, vakuovými technologiemi depozice tenkých vrstev a solární energií, zejména vývojem zařízení pro sledování Slunce. V r. 1994 založil firmu na vývoj, výrobu a instalaci solárních fotovoltaických systémů, kterou od té doby řídí.



Ing. Jan Mareš vystudoval Technickou fakultu České zemědělské univerzity v Praze. Na této fakultě nyní absoluuje doktorandské studium na katedře fyziky v oboru Energetika. Zabývá se využitím solární energie, konstrukcemi fotovoltaických systémů a jejich zařazením do struktur automatizace.

Letní škola fotovoltaiky 2011

Technická fakulta ČZU v Praze pořádá letos opět:

Letní školu fotovoltaiky 2011, a to v termínu: **od 23. do 27. května 2011.**

Veškeré informace mohou zájemci získat na internetové adrese: **<http://tf.czu.cz/~libra/lspv>**