

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Studie možností akumulace elektřiny a tepla v souvislosti
s využíváním obnovitelných zdrojů energie**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Luboš SLÁDEK**
Osobní číslo: **E09B0495P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Studie možností akumulace elektřiny a tepla v souvislosti s využíváním obnovitelných zdrojů energie**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zdůvodněte potřebu akumulace energie v energetických systémech obecně a zvláště v systémech s obnovitelnými zdroji energie.
2. Analyzujte způsoby a možnosti akumulace tepla a elektřiny na úrovni malých (domácnosti) a větších celků (obce, městské části, města).
3. Zpracujte přehled možností výroby druhotných energetických produktů z obnovitelných zdrojů energie (etanol, vodík apod.), které lze skladovat a následně využít pro výrobu energie.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011
Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na řešení akumulace elektřiny a tepla v souvislosti s využíváním obnovitelných zdrojů energie. Vysvětluje potřebu akumulace v systémech s obnovitelnými zdroji energie. Analyzuje způsoby akumulace tepla a elektrické energie. Informuje o možnostech výroby vodíku jako druhotného produktu z obnovitelných zdrojů energie.

Klíčová slova

Akumulace elektrické energie, akumulace tepla, latentní teplo, vodík, výroba vodíku, akumulace vodíku, vodíkové hospodářství, obnovitelné zdroje energie, alternativa k fosilním palivům, elektrolýza vody, Hubbertův ropný zlom ...

Abstract

.The work is aimed at resolving the accumulation of electricity and heat in connection with the use of renewable energy sources. Explains the need for storage systems with renewable energy. Analyzes ways accumulation of heat and electricity. It informs about the opportunities of hydrogen as a secondary product of renewable energies.

- .
- .
- .
- .
- .
- .
- .

Key words

Accumulation of electricity, heat, latent heat, hydrogen, hydrogen production, hydrogen storage, hydrogen economy, renewable energy alternative to fossil fuels, electrolysis of water, Hubbert peak oil ...

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 8.6.2012

Luboš Sládek

.....

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	10
1.1 PROČ AKUMULOVAT ENERGII.....	10
1.1.1 <i>Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona</i>	10
1.1.2 <i>Důležitost obnovitelných zdrojů</i>	11
1.1.3 <i>Úskalí využívání obnovitelných zdrojů energie</i>	12
1.2 METODY AKUMULACE ELEKTRINY	12
1.2.1 <i>Chemický princip uchování energie</i>	13
1.2.2 <i>Fyzikální princip uchování energie</i>	17
1.3 VODÍKOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ	21
1.3.1 <i>Perspektivita vodíků</i>	22
1.3.2 <i>Výroba vodíku</i>	23
1.3.3 <i>Akumulace vodíku</i>	27
2 AKUMULACE TEPLA	29
2.1 AKUMULACE CITELNÉHO TEPLA	29
2.2 AKUMULACE SKUPENSKÉHO TEPLA	30
2.3 TERMOCHEMICKÁ AKUMULACE TEPLA	33
ZÁVĚR	34
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	35

Úvod

Práce je rozdělena do dvou částí. V první části akumulace elektrické energie se věnuje důvodům a metody akumulace. S blížícím se ropný vrcholem, kdy fosilní paliva se jako zdroj energie stanou ekonomicky i energeticky nepoužitelná, nastává otázka, jakým směrem se světová energetika vydá. V hledání upřednostňujeme ekonomické a ekologické alternativní možnosti. Se slovem ekologie je úzce spojen pojem životní prostředí. V mezinárodním právu o životním prostředí je definováno například právo každého člověka na životní prostředí neohrožující jeho zdraví. A též zavazuje státy k udržení kvalitního životního prostředí i pro budoucí populace. Spoustu odborníků se domnívá, že cestou náhrady fosilních paliv je vodíkové hospodářství. Vodíkovým hospodářstvím nazýváme soubor technologických řešení, která vedou k využití energie získané z vodíku.

V druhé části se práce věnuje akumulace tepla. Udržení tepla se využívá nejčastěji ve stavebnictví. Každý rodinný domek dnes má v domácnosti instalovaný tzv. bojler, přístroj na ohřev a akumulaci teplé užitkové vody. Nejmodernější systémy používají pro ohřev teplé užitkové vody například solárních panelů. Akumulace tepla nám slouží také k udržování příjemného mikroklimatu zásluhou například akumulace teplo do materiálu prostřednictvím skupenské přeměny a latentního tepla.

Seznam symbolů a zkratk

SMES	Supravodivé magnetické ukládání energie
UPS	Nepřerušitelný zdroj energie
CAES	Energie stlačeného vzduchu
PCM.....	Materiály s fázovou přeměnou
C.....	Veličina elektrické kapacity [F]
R.....	Veličina elektrického odporu [Ω]
U.....	Veličina elektrického napětí [V]
P	Veličina výkonu [W]
E.....	Veličina energie [Wh]
Ek.....	Veličina kinetické energie [Wh]
J.....	Veličina momentu setrvačnosti [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]
ω	Veličina úhlové rychlosti [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]
H.....	Veličina intenzity magnetického pole [A/m]
B.....	Veličina magnetické indukce [T]
μ_0	permeabilita vakua
I.....	Veličina elektrického proudu [A]
L.....	Veličina elektrického indukčnosti [H]
W.....	Veličina elektrické práce [J]

1 Akumulace elektrické energie

Zákon zachování energie říká, že energii nelze vyrobit ani zničit, ale pouze přeměnit na jiný druh energie.

Elektrická energie může být uskladněna pouze tehdy, jestliže je převedena na jiné formy energie.

1.1 Proč akumulovat energii

Hledání alternativy docházejících zásob fosilních paliv člověka zavedlo k obnovitelným zdrojům energie. Mezi lidmi je rozšířen milný pohled na skutečný světový stav zásob fosilních paliv. Milně se domnívají, že se blíží definitivní konec zásob. Ve skutečnosti zásoby dojdou zřejmě až za několik.

Za nástupem trendu využívání obnovitelných zdrojů energie hledejme ekonomický důvody. Za několik let či desítek let se neblíží konečný vyčerpání fosilních paliv, ale tzv. Ropný vrchol (Oil-Peak, nebo také Hubbertův ropný zlom). Ropný vrchol označuje stav, při kterém cena ropy překročí pomyslnou hranici ekonomické únosnosti a začne tak po ní klesat poptávka a následně se sníží objem její těžby. Fosilní paliva se jako zdroj energie stanou ekonomicky i energeticky nepoužitelná.

Potřebu uskladnění energie v energetice aktuálně zapříčinila neschopnost obnovitelných zdrojů zajistit konstantní výrobu elektrické energie. Přebytek energie z obnovitelných zdrojů musíme uskladňovat a v době nedostatku zásobovat rozvodnou síť.

Problém proměnlivosti výkonu ve výrobě energie překonáme přemístěním spotřeby energie v místě a v čase.

1.1.1 Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona

Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona o životním prostředí je: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“

Definice podle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů): „*Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.*“

1.1.2 Důležitost obnovitelných zdrojů

Důležitost obnovitelných zdrojů je zásadní téma již několik desítek let. Důvodů, proč zapojit obnovitelné zdroje do současné zaběhlé výroby elektrické energie, je spousta. Každý jeden samotný důvod je skoro denně předmětem řešení v různých informačních mediích.

V první řadě bych jmenoval omezenou zásobu fosilních paliv. I když nadále jsou nacházeny nová ložiska ropy a zemního plynu, nemohou tyto nálezy o moc odložit nevyvratitelný konec globálního využívání fosilních paliv ve velké míře.

S úbytkem zásob fosilních paliv je spojena rostoucí cena ropných produktů. Rostoucí cena je též spojena s rozložením geopolitického a marketingového vlivu v oblastech s největšími ložisky zásob.

Nadále nesmíme zapomenout, že s rostoucí populací lidstva roste požadavek na spotřebu elektrické energie. Růst spotřeby elektrické energie je též ovlivněn celosvětovým růstem průmyslu v průběhu 20. století. Nyní spotřeba energie stoupá i díky ekonomického rozvoje v zemích tzv. druhé a třetího světa.

Nadále jsou tu ekologické faktory, na které nesmíme zapomenout. Globální oteplování, které je ožehavé téma, které samotné by vydalo na několik desítek stránek textu či desítek hodin polemizováním. Lokální znečištění například v místech zpracování ropy a v místech výroby elektrické energie. Znečištění porušuje jedno ze základních práv člověka na zdravé životní prostředí.

Mezinárodní právo v oblasti životního prostředí ustanovuje právo každého člověka na kvalitní životní prostředí, neohrožující jeho zdravotní stav. Kvalitní životní prostředí je široký pojem, který upřesňují limity znečištění. Tyto limity kontroluje stát a popřípadě jejich nedodržení trestá. Mezinárodní právo v oblasti životního prostředí získalo na důležitosti na Stockholmské konferenci v roce 1972.

1.1.3 Úskalí využívání obnovitelných zdrojů energie

Jak již bylo uvedeno zásadním úskalím výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů je proměnlivý výkon při výrobě elektrické energie. Proměnlivý výkon např. u důležité a často využívané větrné energie je způsoben nestálostí rychlosti větru. Vztaženo na Českou republiku průměrné rychlosti nejsou zdaleka tak vysoké, jak by bylo ideální. Další důležitý obnovitelný zdroj energie je sluneční energie. Účinnost fotovoltaiky je ovlivněno počasím, geografickým položením lokality umístění, též i ročním obdobím a vším co ovlivňuje délku slunečního svitu. Při optimálních podmínkách na jeden metr čtverečný zemského povrchu dopadá sluneční záření o intenzitě maximálně 1 370 W. Česká republika má vhodné podmínky, neboť intenzitu slunečního záření je mezi 950 – 1100 kWh/m².

Další úskalím jsou samozřejmě kapitálové náklady. Sofistikované systémy pro zpracování obnovitelných zdrojů pro použití v energetice nejsou levné a jsou stále ve probíhající vývoji.

Uvedl jsem, že jedno z možných řešení proměnlivého výkonu je akumulace. Vývoj akumulačních prostředků je též finančně náročný. Od akumulátorů vyžadujeme příliš vysoké nároky např.: doba skladování, provozní podmínky, měrná hustota energie, stavební a funkční materiály, rychlost samovybití, účinnost atd.

1.2 Metody akumulace elektřiny

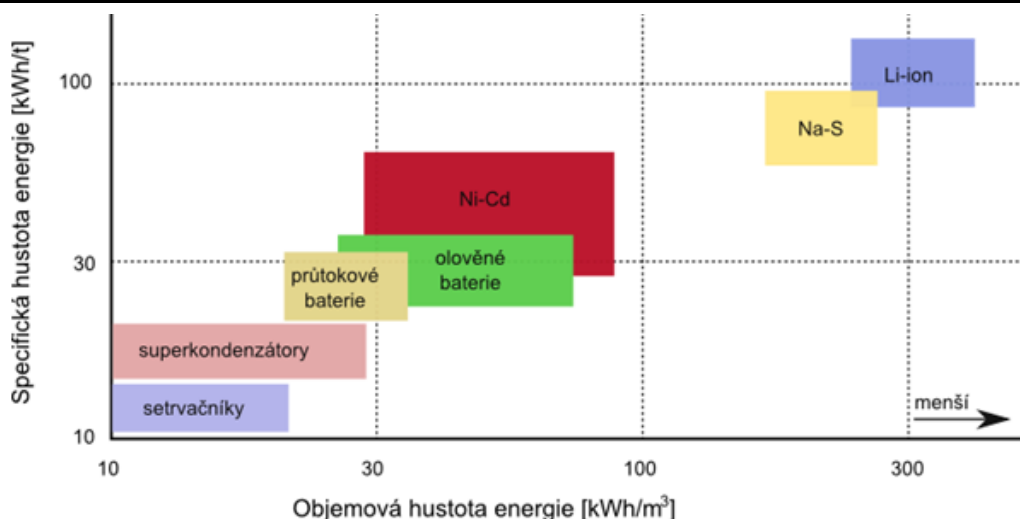
Podle principu uchování energie, může rozlišovat dvě skupiny:

1.) Chemický princip akumulace energie (akumulátory)

- olovené a alkalické akumulátory
- moderní akumulátory pracující na principu Lithium-Ion, Sodík-Síra
- superkapacitory
- průtokové baterie

2.) Fyzikální princip akumulace energie

- setrvačníky
- přečerpávací vodní elektrárny
- akumulace energie založená na stlačeném vzduchu



Obr. 1: Specifická hustota energie v závislosti na objemové hustotě energie [12]

1.2.1 Chemický princip uchování energie

Energii elektrická je přeměněna na energii chemickou. Tuto přeměnu nám definuje fyzikální zákon o zachování energie, který zjednodušeně říká, že energii nemůžeme vyrobit a ani zničit, ale pouze transformovat do jiného druhu energie.

Zákon můžeme uplatit i v chemických reakcích, který probíhají v akumulátorech. V tomto případě zákon říká že, součet energie vazeb před reakcí a dodané energie se rovná součtu energie vazeb po reakci a uvolněné energie. Energie chemická je vázána v chemických vazbách elektrodového materiálu, na kterém dochází k vratným reakcím s ionty z elektrolytu.

Chemickou energii můžeme považovat za jistý druh potenciálové energie neboli polohové energie. Díky této skutečnosti mezi chemické akumulátory můžeme řadit i superkondenzátory, přestože využívají spíše fyzikální princip. [12]

Akumulátory	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
Průtokové baterie	velká kapacita, nízké náklady	nízká hustota energie
Superkondenzátory	výkon, účinnost, životnost	nízká hustota energie, samovybíjení

Tab. 1: Vybrané technologie pro uložení energie a jejich vlastnosti [12]

akumulátor	celková reakce	svorkové napětí
Pb	$Pb + 2H_2SO_4 + PbO_2 \leftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$	2 V
NiCd	$Cd + 2NiO(OH) + 2H_2O \leftrightarrow Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$	1,2 V
NiMH	$MH + NiO(OH) \leftrightarrow M + Ni(OH)_2$	1,2 V
NiZn	$Zn + 2NiO(OH) + H_2O \leftrightarrow ZnO + 2Ni(OH)_2$	1,6 V
NaS	$2Na + nS \leftrightarrow Na_2S_n \quad (4 > n \geq 2)$	2 V
Li-ion	$Li_1C_{20}O_2 + Li_1C_6 \leftrightarrow C_6 + LiCoO_2$	3,6 V ¹⁾

Tab. 2: Přehled chemických reakcí a svorkového napětí vybraných typů akumulátorů [12]

Poznámka k tabulce

1) Hodnota svorkového U pro Li akumulátor s LiCoO₂ elektrodovým materiálem na kladné elektrodě a grafitem na záporné. Svorkové napětí se dle typu elektrodového materiálu může pohybovat v rozmezí 2 - 4 V.

1.2.1.1 Superkapacitátory

Charakteristickou vlastností superkondenzátoru (supercapacitor, ultracapacitor, Electric Double Layer Capacitor) pro použití v praxi je jeho schopnost rychle akumulovat a následně odevzdat velké množství elektrické energie. Tuto vlastnost zaručuje velmi nízký odpor elektrod. Při životním cyklu vybíjení a nabíjení, na rozdíl od ostatních chemických akumulátorů, netrpí zahříváním, snižování životnosti a paměťovým efektem.

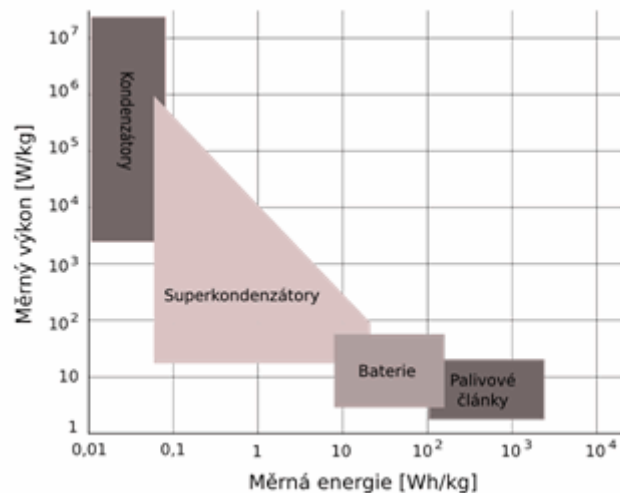
Hlavní využití je v automobilovém průmyslu (hybridní automobily i plně elektrické), například uchování elektrické energie v systémech rekuperace brzděné energie.

Výhody:

- možnost velmi častého nabíjení a vybíjení
- vysoká životnost a účinnost
- je vyroben z netoxických materiálů
- vysoká efektivita nabíjení
- velmi malý nízký vnitřní odpor

Nevýhody:

- nízký poměr uložené energie na váhu (10x horší než běžný baterie, 10000x vztaženo k benzínovému a plynovému pohonu)
- závislost napětí na množství uloženého náboje
- nejvyšší dielektrická absorpce ze všech typů kondenzátorů



Obr. 2: Energetická bilance superkondenzátorů [13]

Energie uchovaná v superkondenzátoru je rovna vztahu 1 a maximální výkon je dán vztahem 2.

$$E = \frac{CU^2}{2} \quad [\text{Wh}] \quad (1)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

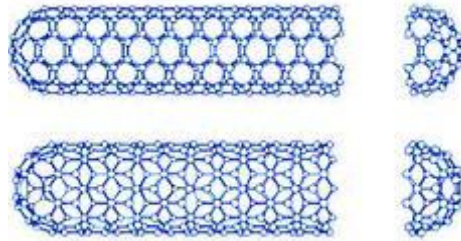
Superkondenzátor je obecně tvořen z kladné a záporné elektrody z hliníkové fólie, dvě vrstvy aktivního uhlíku a mezi nimi separátor.

V nenabitém stavu jsou částice s nenulovým nábojem (ionty) rovnoměrně rozloženy ve vodivé tekutině, tekutém nebo gelovém elektrolytu, který se nachází mezi elektrodami. Po přiložení napětí na elektrody se začnou záporné ionty pohybovat ke kladné elektrodě a naopak kladné ionty k záporné elektrodě. Na obou elektrodách se tak vytvoří dvouvrstva se zrcadlovým rozložením elektrického náboje. [14]

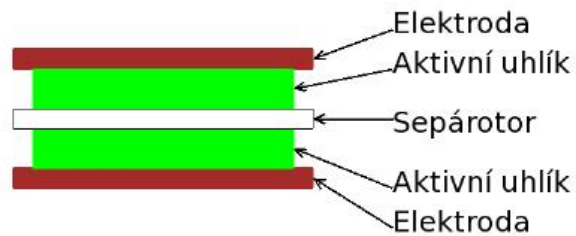
Vhodným materiálem pro aktivní superkondenzátoru je aktivní uhlík. Důvodem je velká dosažitelná plocha skutečného povrchu (vysoká poréznost), chemická netečnost, elektrická vodivost a relativně nízká cena. Lze dosáhnout povrchu elektrod až 2000 m²/g, což při extrémně malé tloušťce dvouvrstvy (do 10 nm) znamená kapacitu řádově tisíce Faradů ve velmi malém objemu. [14]

V současné době se nejčastěji používá uhlíkový aerogel. Je to unikátní pevný materiál s nízkou hustotou vzniklý z normálního gelu náhradou kapalné složky vzduchem. Uhlíkový aerogel poskytuje extrémně velkou povrchovou plochu kolo 400-1000 m²/g.

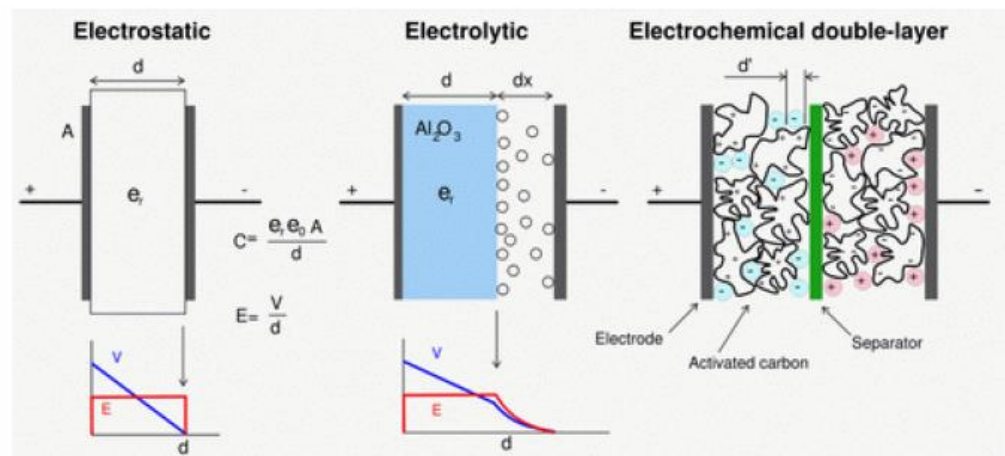
Budoucností superkondenzátoru jsou uhlíkové nanotrubic, které mají výbornou pórovitost s póry o velikosti několika nm. Navíc poskytují miniaturní prostory uvnitř trubic, které fungují jako dielektrikum. Základním stavebním prvkem nanotrubic je grafit. Grafit je forma uhlíku s atomy tvořícími šestiúhelníkovou krystalovou mříž.



Obr. 3: Nanotrubic [11]



Obr. 4: Základní struktura superkondenzátoru [14]



Obr. 5: Porovnání struktur elektrostického kondenzátoru, elektrolytického kondenzátoru a superkondenzátoru [14]

1.2.2 Fyzikální princip uchování energie

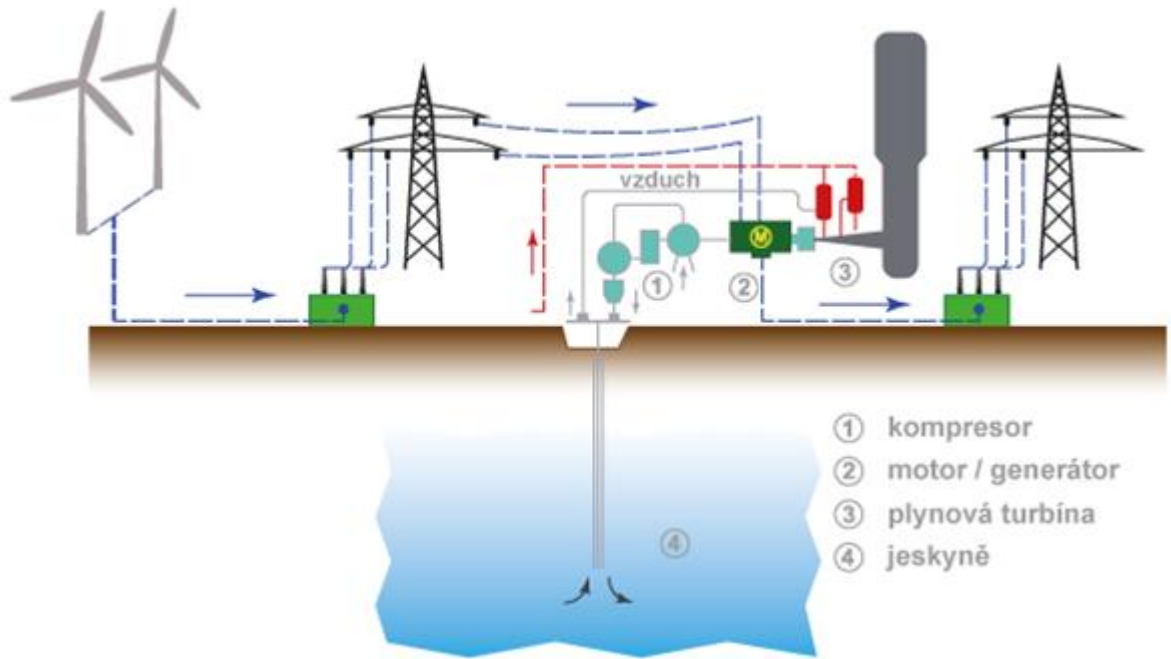
Energii nemusíme uchovávat pouze v chemických vazbách, ale pro určité aplikace je velmi vhodná přeměna kinetické či potenciální energie.

1.2.2.1 Přečerpávací vodní elektrárny a akumulace energie založená na stlačeném vzduchu

Tyto dva jmenované systémy mají stejné charakteristické vlastnosti, dodávají velké množství energie po dobu několika řádově hodin. Nevýhodou těchto metod je vysoký náběhový čas, který se pohybuje v desítkách sekund až minut.

U přečerpávacích elektráren je zapotřebí dvou vodních rezervoárů. Tyto rezervoáry jsou umístěny od sebe výškovým rozdílem. Jsou spojeny potrubím obsahující elektrický generátor (Francisová turbína) a čerpadlo. V době přebytku elektrické energie (levné energie) čerpadlo přečerpává vodu z dolní nádrže do horní. Voda tak zvyšuje svou potenciální energii o $\Delta W_p = mg \cdot \Delta h$. A v době potřeby elektrické energie voda je s horní nádrže přiváděna potrubím samospádem do elektrického generátoru. Účinnost celého systému je cca. 75%.

U systémů založených na stlačeném vzduchu (CAES) musí být k dispozici dostatečně velký zásobník vzduchu nebo nepropustná kaverna (uměla vybudovaná dutina v podzemí). Účinnost je snížena díky tepelným ztrátám, neboť vzduch ohřátý při stlačení v kompresorech se v akumulátoru ochladí, čímž ztratí přibližně třetinu energie.



Obr. 6: Schematické znázornění systému CAES [12]

1.2.2.2 Setrvačnick

Toto zařízení uchovává energii pomocí kinetické energie. Vnější síla (energie) roztočí rotační setrvačnick. Energie kinetická je uchovávána díky zákonu momentu setrvačnosti. Jak to bývá i tento přístroj byl inspirován fyzikálními zákony platící na planetě Zemi. Samotná taková planeta je obrovský setrvačnick, energie uložena v momentu setrvačnosti má zásadní vliv na život na povrchu planety. Kinetická energie E_k se vypočte dle následujícího vzorce:

$$E_k = 1/2 J * \omega^2$$

Jeho velkou výhodou je rychlé odevzdání energie a vysoká účinnost až 85%. Avšak jeho vlastnost krátkodobé „uskladnění“ elektrické energie, setrvačnick předurčuje jen malé využití v specifických systémech. Současný době pro zvýšení účinnosti jsou nahrazovány stavební litinové materiály setrvačnicku nahrazovány vyztuženými plasty. Setrvačnick získal v magnetických ložiscích ve vakuové nebo heliem plněné skříně na rychlosti otáček, nyní ty nejlepší se mohou roztočit až na 80 tisíc otáček za minutu. [3]

Využitý setrvačnicku již známe od století páry. Uplatní se při stabilizaci otáček nebo v gyroskopu. Gyroskop je zařízení pro stabilizaci polohy a směru letu například družice a rakety. Na principu akumulace kinetické energie v setrvačnicku pracuje i tak známá hračka našich dědečků nazývaná káča. Jeho prvních důležitých služeb jako akumulátor využíval parní stroj, kdy pomáhal klikovému mechanismu v parním stroji překonat mrtvý body. [3] Dnes jeho využití je nejčastěji spojováno s automobilovým průmyslem. V automobilu setrvačnick zachytí energii při brzdění a následně využije při akceleraci vozidla. Toto konkrétní využití bylo umožněno díky jeho vlastnosti velmi rychlého odevzdání energie se zpožděním zlomků vteřiny. [1]

Další jeho využití najdeme v jako záložní zdroj energie při výpadku elektřiny. V citlivých počítačových systémech může i několikavteřinový výpadek elektřiny způsobit jejich značné poškození. Setrvačnick spojený generátorem v jedné ose naběhne za zlomky sekund.

1.2.2.3 Akumulace do magnetického pole cívky

S rozvojem supravodivých materiálů do popředí akumulace elektrické energie vystupuje možnost akumulovat do akumulátorů SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage, supravodivý akumulátor energie). Základním stavebním prvek SMES akumulátorů je toroidní cívky v homogenním prostředí s poměrnou permeabilitou $m_r = 1$, pokud prochází touto cívku proud, vytvoří uvnitř cívky homogenní magnetické pole. [4]

Vzestup této technologie je zapříčena podmaněním další náročné technologie a to nesmírné výhody supravodičů. Účinnost akumulace cívky je závislá na vlastnosti supravodičů vést proud beze ztrát, díky nulovému vnitřnímu odporu vodiče. Supravodivé materiály potřebuje, aby přivedený velký stejnosměrný proud na odporu samotné cívky nezměnil na nežádoucí teplo. Supravodivost je již studována léta. V současné době již ovládáme metody, které vyvolají supravodivost i v řadě kovů, slitin a dokonce ve speciální keramice. Nedávno bylo potřeba pro supravodivost velmi nízkých teplot kapalného helia, ale dnes můžeme vyvolat supravodivost za mnohem ekonomicky výhodnějších teplot pomocí kapalného dusíku a vodíku. [3]

Cívka je tedy vyrobena ze supravodivých materiálů, které jí propůjčují možnost akumulovat obrovské množství energie, ale též zvyšují náklady na výrobu. Avšak aby si cívka udržela vlastnost akumulace elektrické energie, musí být udržována ve velmi nízkých teplotách, obvykle bývá chlazena kapalným héliem. energii akumulovanou do cívky o indukčnosti L protékané proudem I lze vyjádřit vztahem:

$$W = (1/2)LI^2$$

Když provedeme matematickou úpravu pro energii W_m nahromaděnou v objemu platí:

$$W_m = \frac{B^2 V}{2\mu_0 \mu_r}$$

H - je intenzita magnetického pole

B - magnetická indukce

μ_0 - permeabilita vakua

V současné době odborníci pracují na vývoji systému se supravodivou cívkou se schopností akumulovat až 1 800 MJ energie. ($W = J*s$) [2] Budoucnost ale patří obrovským supravodivým akumulátorům SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage). Dnes testovací malé prototypy obstály při zvládnout miliony cyklů nabití a vybití s úžasnou účinností větší než 95 %. Podle zveřejněných projektů by smyčky v podobě prstenců uložených v podzemí mohly v budoucnu kapacitou až 4000 MW nahradit i největší přečerpávací elektrárny se zázračnou účinností 99 %! [3]



Obr. 7: Ultrakapacitátory [3]

Za objevem tohoto jevu stojí nizozemský fyzik Kamerlingh Onnes. Píše se rok 1911 a fyzik Kamerlingh Onnes se úspěšně pokouší indukovat v rtuťové smyčce vymražené v kapalném heliu elektrický proud. Následně si uvědomuje, že cestou právě objevené supravodivosti bude možné nejen přenášet, ale i uskladňovat elektrický proud bez jakékoli ztráty. K úžasu přivolaných svědků obíhal bez přerušení hodiny, dny a týdny po vypnutí induktoru. [3]

Již dnes využíváme SMES akumulátory například v zařízeních, který vyžadují striktně stálou dodávku elektrického proudu. Taková zařízení jsou například systémy zajišťující chod letišť, nemocniční přístroje a další. Tyto akumulátory nazýváme **UPS** (anglicky *Uninterruptible Power Supply (Source)* – „nepřerušitelný zdroj energie“). Proud v ní cirkuluje s minimální ztrátou 0,3 kWh za 24 hodin.

1.3 Vodíkové hospodářství

„Věřím, že jednoho dne vodík a kyslík, z kterých je složena voda, každý sám nebo i dohromady vytvoří nevyčerpatelný zdroj tepla a světla pro všechny,“

Jules Verne- Tajuplného ostrova (1875)

Vodík zdroj energie člověk používá již dlouho. Využíváme ho ovšem pouze ve formách jeho sloučenin. Vodík vázaný v sloučeninách nám lidstvu slouží třeba jako palivo v automobilech. Základní složkou nafty a benzínu jsou uhlovodíky.

Vědci pochopili význam použití vodíku v oblasti energetiky velmi záhy po jeho objevení v roce 1766 anglickým přírodovědcem Henry Cavendish (1731-1810). Tudiž myšlenka na vodík co by na zdroj energie, není nová. Ale její význam a práce na její zrealizování roste s blížícím se ropným vrcholem (Oil-Peak, nebo také Hubbertův ropný zlom).

Vodíkovým hospodářstvím nazýváme soubor technologických řešení, která vedou k využití energie získané z vodíku. První koncept se objevil v první polovině 70. let 20. století. Lidé si často vodík milně představí jako palivo. Ale je třeba zdůraznit, že vodík není klasické palivo, ale energetický vektor neboli nosič energie. V praxi to znamená, že jej nelze levně a energeticky efektivně těžit. [8]

1.3.1 Perspektivita vodíků

Abychom pochopili kouzlo vodíku, musíme poznat jeho hlouběji vlastnosti hlouběji. Jeho vlastnosti v ledačem přebíjí vlastnosti fosilních paliv. Ve spojení s využívání fosilních paliv jsou často zmíněny neblahé účinky na životní prostředí. Vodík však není nebezpečný lidskému zdraví. Je netoxický a tudíž neohrožuje životní prostředí. Ovšem úskalí nastává při jeho výrobě. Největší procenta vyrobeného vodíku je dnes z fosilních paliv, kde je vodík vázán v uhlovodících. Při jeho výrobě tedy ovlivňujeme životní prostředí. Pokud vyrobíme ovšem vodík z obnovitelných zdrojů energie a používán v palivových článcích, tak výsledné produkty jsou pouze teplo a voda. [7]

Pochopení, proč se často mluví o životním prostředí a jeho důležitosti, hledejme v zákonech a právech člověka. Mezinárodní právo v oblasti životního prostředí ustanovuje právo každého člověka na kvalitní životní prostředí, neohrožující jeho zdravotní stav. Kvalitní životní prostředí je široký pojem, který upřesňují limity znečištění. Tyto limity kontroluje stát a popřípadě jejich nedodržení trestá. Mezinárodní právo v oblasti životního prostředí získalo na důležitosti na Stockholmské konferenci v roce 1972.

Konference přinesla Stockholmskou deklaraci jednající o principech ochrany životního prostředí. Dále definuje a uznává právo na příznivé životní prostředí jako jedno ze základních lidských práv. Přikazuje, aby přírodní zdroje a ekosystémy musí být chráněny ku prospěchu současných a budoucích generací. Sjednucuje a určuje povinnost na spolupráci všech zemí světa v otázkách ochrany životního prostředí k předcházení či omezení a nápravě škod na životní prostředí. Zakládá program OSN pro životní prostředí (UNEP – z anglického United Nations Environment Programme).

Nadále jeho další výhodou na rozdíl fosilních paliv je jeho nesmírné množství nacházející se na planetě. Vodík je nejhojnějším prvkem ve vesmíru a třetím nejhojnějším prvkem na Zemi. Dalo by se říci, že je všudypřítomný a nevyčerpatelný. Ale díky jeho vysoké reaktivnosti samotný volný vodík je vzácný, až na výjimky se jako volný vyskytuje pouze v horních vrstvách atmosféry. Jinak je vždy vázán k jinému prvku, nejznámějším příkladem je voda. Tudíž nastává problém s jeho uvolnění z vazeb spojujícího s jinými prvky. Vodík je nejjednodušší chemický prvek. Vodík má nejnižší hustotu a druhý nejnižší bod varu ze všech známých látek, přibližně $20 \text{ K} = -253 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nejčastěji je slovo vodík skloňováno s alternativním zdrojem pohonu automobilů. Hledat alternativní pohon a nahradit tak spalovací motory je předmět bádání několik světových špičkových vědců. Výhody vodíku oproti fosilním palivům je že má vodík největší

výhřevnost ze všech uvažovaných paliv. Pro většinu aplikací je však mnohem důležitějším parametrem hustota energie. Ta vyjadřuje množství energie na daný objem paliva. [8]

Palivo (20 °C) druh/skupenství	Hustota [kg/m ³]	Měrný Objem [l/kg]	Výhřevnost [MJ/kg]	Hustota Energie [MJ/l]
Vodík 1 bar	0.084	11939	119	0.01
Vodík 250 bar	17	58.8	119	2.024
Vodík 350 bar	22.2	45.2	119	2.64
Vodík 700 bar	39	25.9	119	4.6
Vodík kapalný (-253 °C)	71.08	14.1	119	8.46
Propan kapalný	498	2	46.3	23.08
Benzín kapalný	700	1.43	44.5	31.15

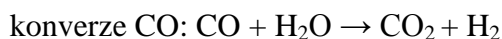
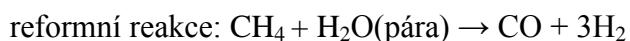
Tab. 3: Porovnání vodíku s fosilními palivy [8]

1.3.2 Výroba vodíku

Jak již bylo uvedeno volný vodík je vzácný. Musíme ho tedy získat odštěpením ze sloučenin. Cílem využití vodíku je hledání alternativy k fosilním palivům, tak výroba vodíků právě z fosilních paliv není žádoucí. Bohužel dnes je právě tato výroba vodíku dominantní. Pro budoucí využití ve výrobě vodíku je výroba vodíku z obnovitelných zdrojů. V popředí výroby vodíku a vývoje zařízení pro výrobu stojí jeden stát a tj. Island.

1.3.2.1 Parní reforming zemního plynu

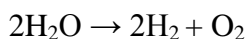
Tato technologie je v současnosti nejlevnějším způsobem výroby vodíku. Účinnost (konverze) produkce vodíku je závislá na poměru páry a uhlíku ve směsi; pohybuje se okolo 80 %. Značnou nevýhodou je produkce vysokého množství oxidu uhličitého - na 1 kg vodíku se vyprodukuje 7,05 kg CO₂. [9]



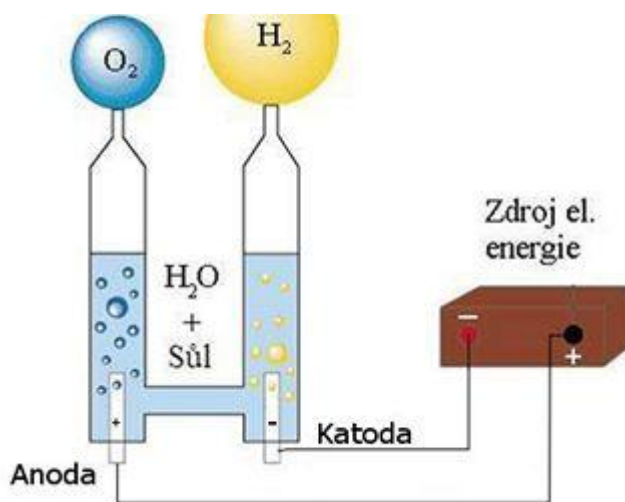
1.3.2.2 Elektrolýza vody

Elektrolýza je proces, při kterém se molekuly vody štěpí na vodík a kyslík. Vodou prochází elektrický stejnosměrný proud a jeho energie způsobí rozštěpení molekul vody. Voda pro lepší vodivost bývá obohacena o inhibitory.

Do nádoby s vodou jsou vloženy katoda a anoda. Při průchodu stejnosměrným proudem se na katodě uvolňuje vodík H^+ (kladný proton), který následně je odchycen a skladován. Na anodě se uvolňuje kyslík, který má též značné využití. Proces elektrolýzy probíhá za pokojových teplot. Děj můžeme popsat chemickou rovnicí takto:



Výhodou elektrolýzy je vysoká čistota vzniklého vodíku, který může být dál využit v aplikacích bez náročného čištění. Tímto způsobem jsou vyrobena asi 4 % z celkové světové produkce vodíku, který je využíván zejména tam, kde je třeba vysoce čistý vodík. Účinnost procesu se pohybuje v rozmezí 80 - 92 %. Ale nesmíme zapomenout na ztráty v přímo ve zdroji elektrické energie, ty celkovou účinnost snižují na cca. 30%. [9]



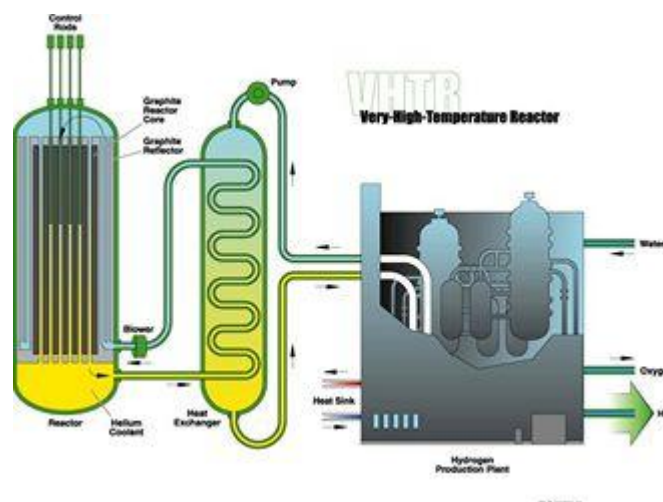
Obr. 8: Schéma elektrolýzy vody [9]

1.3.2.3 Vysokoteplotní elektrolýza

Tato metoda je podobná elektrolýze. Někdy je nazývána parní elektrolýzou. Jak z názvu vyplývá, vstupním médiem není tentokrát voda ale je jím pára. Pára obsahuje kapičky vody rozptýlené ve vzduchu. Vysokoteplotní elektrolýza spočívá v tom, že musíme přivedenou elektrickou energii částečně změnit na tepelnou. Vysokou teplotou zvýšíme účinnost procesu.

Vodní pára obsahující molekuly vodíku vstupuje do elektrolýzy a vystupuje z ní jako obohacená směs obsahující 75 % h_m vodíku a 25 % h_m páry. Vodík je pak z páry oddělen v kondenzační jednotce. Celková účinnost vysokoteplotní elektrolýzy (vč. výroby potřebné energie) může dosahovat až 45 %. [9]

Perspektivní využití výroby vodíku vysokoteplotní elektrolýza je kombinací s vysokopotencionálním zdrojem tepla, například s jadernými reaktory. Pokud nechceme výrobou vodíku pomocí všech typů elektrolýz znečistit ovzduší, musíme vybrat zdroj elektrické energie, který nevypouští do atmosféry škodlivé látky. Proto musíme zapomenout na uhelné elektrárny. Solární a větrná energie není dostatečně výkonná a tudíž ani perspektivní. Nejvhodnější vysokovýkonovým zdrojem se jeví jedině jaderné elektrárny. S výrobou vodíku se již počítá s vývojem nové generace reaktorů tzv. Generace IV.

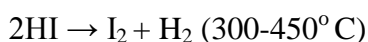
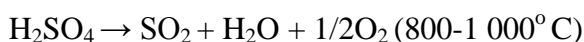
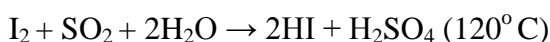


Obr. 9: Vysokoteplotní reaktor IV. Generace, chlazený He, moderovaný grafitem [9]

1.3.2.4 Termochemické cykly štěpení vody

Podmínkou pro termochemické cykly je uzavřený děj, kdy molekuly použitých látek jsou opakovaně využity v jednotlivých cyklech. Vstupní látkou je pouze voda a vysokopotenciální teplo, nebo též vysokopotenciální teplo s elektrickou energií. Výstupem při těchto reakcích je vodík a kyslík a nízkopotenciální teplo. I tato výroba vodíku může být použita ve spojení s jadernými reaktory čtvrté generace. [9]

Nejpoužívanější je siřičito-jódový termochemický cyklus vyvinut v General Atomics (San Diego, USA). Jód a oxid siřičitý se recyklují a opětně používají, teoreticky se tedy neprodukuje žádný odpad (ve skutečnosti samozřejmě k určitým ztrátám dochází). S rostající teplotou roste i účinnost. Při teplotě 950° C se účinnost pohybuje okolo 50%. Při produkci vodíku probíhají tyto termochemické reakce: [9]



Obr. 9: Schéma SI procesu štěpení vody [9]

1.3.2.5 Biotechnologická produkce vodíku

Pokud máme mokrou biomasu v prostředí nízkých tlaků a teplot, můžeme pomocí mikroorganismů vyrábět vodík. Rozlišujeme dva způsoby: vodíkovou fermentaci fungující bez přítomnosti světla a fotobiologickou produkci vodíku.

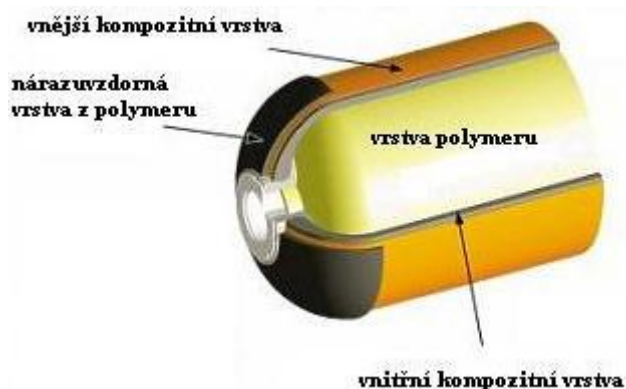
Vodíková fermentace dochází v nepřítomnosti světla. Pomocí oxidace organických látek bakterie získávají protony vodíků k uložení, Organické látky jsou zdrojem energie a vodíku.

Při fotofermentaci bakterie přeměňují organické látky na vodík a CO₂ za využití světla. Jednou ze skupin mikroorganismů schopných fotofermentace jsou purpurové bakterie. [9]

1.3.3 Akumulace vodíku

Vodík je komplikované ukládat. Technologie a způsoby se musí vypořádat ne s jednou nástrahou. Uskladnění je ovšem nezbytné pro přemístění energie v čase a popř. i v místě. Pro získání elektrické energie se využívají palivové články, zařízení reverzní k elektrolýze. Zde vodík reaguje s předem čistěním kyslíkem za vzniku stejnosměrného proudu. Palivové články se proslavili také díky mise Apollo, kde sloužily jako zdroj elektrické energie a pitné vody pro astronauty. Stejnosměrný proud není vždy žádaným výstupem, častěji požadujeme střídavý proud např. do domácí rozvodné sítě. Střídavý proud získáme usměrňovači, což komplikuje samotný zařazení a též způsobuje malé ztráty.

Z jednou metod akumulace vodíku je skladování vodíku v plynné fázi ve vysokotlakých nádobách. Pro efektivní skladování je zapotřebí stlačit vodík kompresorem na požadovaný tlak. S rostoucím tlakem roste hustota plynu viz. Tab č.3. Při 700 barech je hustota plynného vodíku 39 kg/m³. V nejnovějších aplikacích se pohybuje tlak do 700 barů. Ale stále zůstává typickým tlakem, kvůli bezpečnosti a ztrátám při stlačování vodíku do vysokotlakých nádob atd, hodnota okolo 350 barů. Pro stlačování vodíku se používá zejména pístových kompresorů. Energie potřebná na stlačení vodíku na 350 bar dosahuje přibližně 30 % energie v palivu. [10]



Obr. 10: Průřez kompozitní lahvi pro plynný H₂ [10]

Další metodou pro uchovávání vodíku je akumulace do kapalné formy, ale tato metoda je technologicky i energeticky náročný proces. Energie potřebná ke zkapalnění dosahuje přibližně 40 % energie v palivu. Používají se vícevrstvé nádoby s velmi dobrými izolačními vlastnostmi s maximálním přetlakem 5 barů. Nevýhodou těchto nádob je přístup tepla, který způsobuje únik vodíku až 3% hmotnosti za den. Vznikající tlak při ohřátí kapaliny způsobuje nárůst tlaku, který musí být regulován ventily. Unikající vodík může být jímán a stlačován do přídatných tlakových lahví. [10]



Obr. 11: Průřez nádrží na kapalný vodík

[http://technet.idnes.cz/foto.aspx?foto1=VSE20b1dc_14_Prurez_lahvi_na_kapalny_H2.jpg]

Další systémy skladování vodíku jsou založeny na principu absorpce vodíku do materiálů na bázi kovů. Jedná se o exotermní reakci, tzn. že je při absorpci vyvíjeno teplo. Opačného děje - desorpce, tedy uvolňování vodíku z materiálu je naopak dosaženo dodáním tepla. Nadále existují další způsoby skladování třeba v uhlíkatých nanostrukturách. Základním stavebním prvkem nanotubic je grafit. Grafit je forma uhlíku s atomy tvořícími šestiúhelníkovou krystalovou mříž. Vodík můžeme skladovat v jeho sloučeninách. V jednom litru vody je paradoxně více atomů vodíku než v jednom litru kapalného vodíku. Nejznámější skupinou bohatou na vodík jsou uhlovodíky. Ty je možné skladovat v tlakových nádobách při běžných teplotách v kapalném stavu jako například propan, butan, zemní plyn, atd. [11]

2 Akumulace tepla

Rozeznáváme tři metody uchovávání tepla:

- akumulace citelného tepla
- akumulace skupenského tepla
- termochemická akumulace tepla

2.1 Akumulace citelného tepla

Tato metoda spočívá pouze v zvýšení teploty akumulčního média, bez porušení vnitřních chemických vazeb látky, kde je potřeba více energie. Proto tato metoda je nejméně efektivnější. Účinnost je charakterizována malou tepelnou kapacitou akumulčního média. Nejčastěji využívané kapalné akumulční médium je voda umístěna v tepelně izolované nádobě. Voda může být použita i jako teplonosné kapalné médium. Zástupci akumulční médií z pevných látek jsou kámen, betonové konstrukce nebo cihelné zdivo. [15]

Proces, kterému dochází při akumulaci citelného tepla, můžeme popsat rovnicí:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} mcdT = m \cdot c \cdot (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Q množství akumulovaného tepla [J]

m hmotnost tepelně-akumulčního média [kg]

c průměrný součinitel tepelné kapacity mezi teplotami T_1 a T_2 [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

T_1 počáteční teplota [K]

T_2 konečná teplota [K]

2.2 Akumulace skupenského tepla

Méně známou metodou akumulace tepla je akumulace prostřednictvím změnou skupenství (fáze) akumulačního média. Materiály s fázovou přeměnou nazýváme odborně zkratkou PCM's, pocházející z anglických slov Phase Change Materials. Vhodné materiály s vlastností akumulace skupenského tepla jsou např. parafinické vosky, vyšší mastné kyseliny, popř. jejich eutektické směsi. U těchto látek dochází během fázového přechodu k akumulaci, resp. uvolnění množství energie, které charakterizuje hodnota jejich latentního (skrytého) tepla. V současné době je nejvíce praktikována přeměna pevná látka-kapalina. Akumulátory skupenského tepla mají výhodu ve vyšší tepelné kapacitě, takže může být zmenšen objem a hmotnost akumulačních jednotek. Nevýhodou v těchto systémech je potřeba a aplikace vyšší technologické úrovně. [15]

Proces můžeme popsat rovnicí:

$$Q = \int_{T_1}^{T_m} mc_p dT + ml_m \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_2} mc_p dT = m[l_m \Delta h_m + c_{ps}(T_m - T_1) + c_{pl}(T_2 - T_m)] \quad (2)$$

Q množství akumulovaného tepla [J]

m hmotnost tepelně-akumulačního média [kg]

T₁ počáteční teplota [K]

T₂ konečná teplota [K]

T_m teplota tání [K]

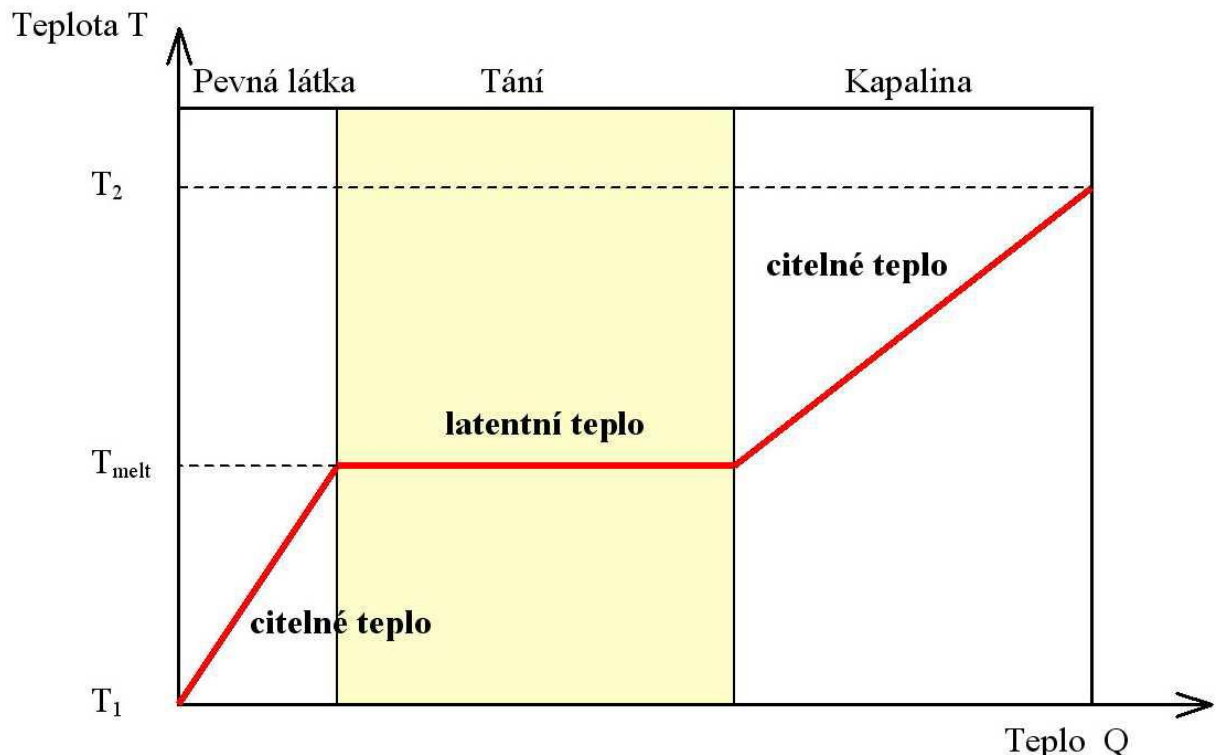
c_{ps} průměrný součinitel tepelné kapacity mezi teplotami T₁ a T_m - pevná fáze [J.kg⁻¹.K⁻¹]

c_{pl} průměrný součinitel tepelné kapacity mezi teplotami T_m a T₂ - kapalná f. [J.kg⁻¹.K⁻¹]

l_m skupenské teplo tání na jednotku hmotnosti [J.kg⁻¹]

Δh hmotnostní podíl látky účastnící se fázové změny [-]

Při zvyšování teploty v materiálech PCM's dochází nejprve ke zvyšování fyzického citelného tepla tuhé látky. Po dosažení teploty tání dojde k přechodu z pevného skupenství na kapalné. Ačkoliv vstoupá stále teplo, vlastní teplota materiálu během fázové přeměny nemění. Toto teplo nazýváme tzv. latentní (skryté) teplo. [16]



Obr. 12: Křivka přechodu pevné látky na kapalinu [16]

Základní vlastnosti PCM's jsou: cyklická stabilita, nehořlavost, nízké objemové změny spojené s fázovým přechodem, nekorozivní vlastnosti, vhodná teplota tání.

PCM materiály můžeme rozdělit do dvou skupin:

Anorganické sloučeniny

- Hydráty solí s teplotou tání od 0 až do 150°C
- Další anorganické sloučeniny s vyšší teplotou tání

Organické sloučeniny

- parafíny
- neparafínové organické látky: mastné kyseliny a další organické sloučeniny

Obecně můžeme říci, že služeb latentního tepla skrývajících se v PCM's materiálech využíváme dnes především ve stavebnictví. Najdeme ji v systémech obsahující solární panely s akumulací nádržemi. Obsah akumulací nádrže není vždy jen voda, ale jiné vhodnější médium. Někdy se používá voda s voskem, kdy právě vosk je PCM's materiálem. Tyto akumulací nádrže se začali rozvíjet v 20. a 30. letech minulého století. Využívali se náplně některých anorganických solí.

Další aplikace PCM's materiálů najdeme ve zdech budov. Cílem aplikace PCM materiálů ve zdivu budov je tepelná stabilita vnitřního mikroklimatu. Během dne tyto materiály způsobují snížení teploty díky změně skupenství pevná látka-kapalina a během noci zvyšují vnitřní teplotu při změně skupenství kapalina-pevná látka.

Běžné masivní zdivo, betonové stěny nebo stropní desky akumulují tepelnou energii prostřednictvím vlastní tepelně akumulací kapacity přímo úměrné vlastní hmotnosti a objemu zdiva. Avšak nízkoenergetické budovy s tenkými obvodovými pláštmi mají malou tepelně akumulací schopnost. Objem pláště je možné redukovat díky pomocí materiálů s fázovou změnou (Phase Change Materials - PCM).

Materiály PCM jsou impregnovány do porézní struktury stavební desky, ovšem význam mají pouze desky dostatečně porézní, což je např. případ sádrokartonu, který je až ze dvou třetin vyplněn póry a kapilárami. Zde PCM materiály při teplotě kolem 25 °C mění skupenství. Teplo, které deska pohltí od okolního ohřátého vzduchu, se v desce nejprve spotřebuje ke změně skupenství impregnační látky a teprve potom k jejímu ohřátí. [17]

„Význam tepelné akumulace stěn je v poslední době u nás zlehčován a to přesto nebo právě proto, že jde o tradiční hodnotu českého stavitelství i ve výstavbě pro bydlení. Naproti tomu v zemích, kde kamenné stavby pro bydlení nemají tradici, jsou hledány cesty, jak u konstrukcí z deskových materiálů a izolantů tepelnou akumulací docílit. Výsledkem tohoto snažení je tzv. CPM technologie aplikovaná na sádrové desky.“ [17]

Další využití PCM materiálů najdeme na poli počítačové elektroniky. Využívají se pro ukládání dat. Paměťové buňky z PCM materiálu mění vlivem tepla své fyzikální vlastnosti mezi několika stavy, které umožňují do jedné buňky zapsat více informací. PCM úložiště jsou zatím v laboratorní podobě 100x rychlejší než nejvýkonnější paměti typu flash. Nové paměťové prvky budou trvanlivější než dnešní všudypřítomné paměti typu flash. Každou paměťovou buňku půjde přepsat nejméně 10 milionkrát, zatímco paměti typu flash zvládají maximálně 30 tisíc zápisů dat. [18]

2.3 Termochemická akumulace tepla

Tato metoda spočívá v energii potřebné k vytvoření mezimolekulárních vazeb nebo energie uvolněná při reverzní reakci odštěpení molekul. Vše závisí na množství molekul a dokonalosti přeměny. Využívá se v systémech pro dlouhodobou akumulaci s malými ztrátami a akumulací bez izolace. [15]

Proces můžeme popsat rovnicí:

$$Q = a_r m \Delta h_r \quad (3)$$

Q množství akumulovaného tepla [J]

m hmotnost tepelně-akumulačního média [kg]

a_r podíl látky účastnící se reakce [-]

Δh_r reakční teplo na jednotku hmotnosti [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Závěr

V oblasti akumulace energie elektrické mají obrovskou budoucnost systémy s akumulací do magnetického pole cívky. Obrovské supravodivé akumulátory SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) budou bez problémů zvládat ukládat velká množství energie pro domácnosti ale i města. Podle zveřejněných projektů by smyčky v podobě prstenců uložených v podzemí mohly v budoucnu kapacitou až 4000 MW nahradit i největší přečerpávací elektrárny se zázračnou účinností 99 %.

V použití vodíku pro akumulaci energie je perspektivní jeho výroba ve spojení nových jaderných reaktorů. V této oblasti se nabízí hned několik metod výroby vodíku. Jediné jaderné elektrárny představují současné době velký zdroj energie jak elektrické tak i tepelné, bez jakékoli podoby závislosti na fosilních palivech. Vyrobený vodík může být použit například k pokrytí denní špičky ve spotřebě elektrické energie.

Budoucnost v akumulaci tepla mají PCM's materiály využíváme dnes především ve stavebnictví. Najdeme ji v systémech obsahující solární panely s akumulací nádržemi. Obsah akumulací nádrže není vždy jen voda, ale jiné vhodnější médium. Někdy se používá voda s voskem, kdy právě vosk je PCM's materiálem. Další zajímavé využití PCM materiálů najdeme na poli počítačové elektroniky. Využívají se pro ukládání dat.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Wikipedie, Otevřená encyklopedie [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Setrva%C4%8Dn%C3%ADk.html>
- [2] ELEKTRO. Akumulace elektrické energie [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42869.html
- [3] VTM. Hledá se kýbl na elektřinu [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://vtm.zive.cz/clanek/hleda-se-kybl-na-elektrinu.html>
- [4] ELEKTRO. Supravodivost [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26724.html
- [5] Technet.cz. Vodík [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/vodik-palivo-budoucnosti-ktete-nahradi-benzin-i-naftu-pf4-/tec_technika.aspx?c=A071028_001202_software_jza.html
- [6] Oko. Vodík [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://oko.yin.cz/10/vodik/.html>
- [7] tzbinfo. Akumulace energie z OZE [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7134-akumulace-energie-z-oze-vodikove-hospodarstvi.html>
- [8] Česká vodíková platforma. Vodíkové hospodářství - Úvod [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/?loc=article&id=3.html>
- [9] Technet.cz. Jak se vyrábí palivo budoucnosti [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse.html
- [10] Česká vodíková platforma. Skladování vodíku I [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/?loc=article&id=8.html>
- [11] Česká vodíková platforma. Skladování vodíku II [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/?loc=article&id=9.html>
- [12] tzbinfo. Akumulace elektřiny [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny.html>
- [13] tzbinfo. Superkondenzátory [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6710-superkondenzatory.html>
- [14] automatizace.hw.cz. Superkondenzátor [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/clanek/2006122_601.html

- [15] tzbinfo. Akumulace tepla pro snížení spotřeby energie v nízkoenergetických budovách [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4643-akumulace-tepla-pro-snizeni-spotreby-energie-v-nizkoenergetickych-budovach.html>
- [16] tzbinfo. Materiály pro akumulaci tepla ze spalování biomasy [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/6740-materialy-pro-akumulaci-tepla-ze-spalovani-biomasy.html>
- [17] Stavebnictví3000.cz. PCM technologie a sádrové desky s vysokou tepelnou akumulací [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/pcm-technologie-sadrove-desky-akumulace/.html>
- [18] ihned.cz. Počítače budou rychlejší: IBM vytvořilo rychlejší počítačovou paměť [online]. Poslední změna 6.6.2012. [Cit. 6.6.2012.]. Dostupné z: <http://tech.ihned.cz/c1-52213710-pocitace-budou-rychlejsi-ibm-vytvorilo-rychlejsi-pocitacovou-pamet.html>
- [19] Vodík palivo budoucnosti [dokumentární film]. Režie Eberhard Büsser. Rakousko, Česká televize, 2004

