

Perspektiva palivových článků

Barbora Fürstová

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

ABSTRAKT

Abstrakt česky

V dnešní době se stále zvyšuje spotřeba a poptávka elektrické energie a paliva. Děje se tak z důvodu rostoucího počtu obyvatel a zvyšování životního standartu. Proto se hledají způsoby, jak vyrábět energie víc a přesto minimálně poškozovat životní prostředí.

Momentálně se uvažuje nad využitím palivových článků jako zdrojů energie. Zatím existuje šest druhů těchto zařízení : články s tuhými polymery, alkalické články, články s kyselinou fosforečnou, články s vodivými oxidy, články s roztavenými uhlíčitany a membránové palivové články.

Palivové články představují nový velice perspektivní energetický zdroj, který zřejmě ještě v tomto století přinese významné změny do světové energetiky a do řady oblastí našeho života.

Abstrakt ve světovém jazyce

In these times the consumption and demand for electric and fuel is evergrowing. It's because of increasing population and its standard of living. That is the reason to find new ways to produced more of energy, but minimalized negative effects onto environment.

At this moment the fuel cell are taking into account as alternative source of power. There are six existing kinds of fuel cell : proton exchange fuel cell, alkaline fuel cell, phosphoric acid fuel cell, solid oxide fuel cell, molten carbonate fuel cell and membrane fuel cell.

Fuel cell intoduced new, really perspective source of power, which evidently in this century will bring meaningful changes into world industry of power and into many regions of our life.

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Houserovi za odborné vedení, rady, připomínky a čas věnovaný mé bakalářské práci.

OBSAH

ÚVOD	6
1. MOMENTÁLNÍ ZDROJE ENERGIE	8
1.1. FOSILNÍ PALIVA	8
1.1.1. Uhlí.....	8
1.1.2. Ropa a zemní plyn	9
1.2. JADERNÁ ENERGIE	10
1.3. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	12
1.3.1. Sluneční energie.....	12
1.3.2. Větrná energie.....	13
1.3.3. Vodní energie.....	14
1.3.4. Biomasa.....	14
2. VLASTNOSTI VODÍKU A KYSLÍKU.....	17
2.1. VODÍK	17
2.1.1. Výroba a příprava vodíku.....	18
2.2. KYSLÍK.....	19
3. PALIVOVÉ ČLÁNKY	20
3.1. PRINCIP.....	20
3.2. TYPY PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ	21
3.2.1. Vodíkové a kyslíkové články	21
3.2.2. Dělení podle teploty a elektrolytu	22
3.2.3. Elektrody.....	26
3.3. PALIVA POUŽÍVANÁ V PALIVOVÝCH ČLÁNCÍCH.....	27
ZÁVĚR	29
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	31
SEZNAM TABULEK	32
SEZNAM SCHÉMÁT A OBRÁZKŮ.....	33

ÚVOD

Energetika se v posledních letech stala tématem takřka celonárodní diskuse. Svět směřuje k využívání stále většího množství energie- zvláště elektrické. Podle Zprávy Světové energetické rady (z roku 1995) vzroste globální spotřeba elektřiny do roku 2020 o 75 % a takřka se ztrojnásobí do roku 2050. Rozvojové země jako je například Bangladéš a Tanzanie, využívají v současné době méně než 100 kWh na obyvatele a rok, zatímco ve Švédsku je to okolo 15 000 kWh na hlavu a rok. A v Jihokorejské republice vzrostla spotřeba elektrické energie na obyvatele ze 70 kWh v roce 1960 na 5 000 kWh v roce 1999.[1]

Jsou pouze nevelké rozdíly v názorech odborných pracovišť na předvídaný růst spotřeby elektrické energie, avšak otevřenou otázkou je, odkud tuto elektřinu brát. V současnosti se ve světě podílejí fosilní paliva - uhlí, nafta a plyn - kolem 63% na celkové výrobě elektřiny; energie z vodních zdrojů reprezentují kolem 19 % a jaderná okolo 17 %. Geotermální energie je asi 0,3 %, zatímco sluneční, větrná energie a energie z biomasy se dohromady podílejí zhruba 1 %. [1]

S rostoucí spotřebou elektrické energie má lidstvo zájem na její co nejefektivnější výrobě s co nejnižšími dopady na životní prostředí. Klasická výroba elektřiny spalováním fosilních paliv nebo biomasy probíhá v několika krocích - nejprve se spálením uvolní teplo, které ohřívá medium (voda) a to se následně v turbíně přeměňuje na energii mechanickou a v generátoru na energii elektrickou. Každý tento krok přináší snížení celkové účinnosti výroby elektrické energie. Problémy výroby z fosilních paliv nebo biomasy nejsou jen v účinnosti a následné distribuci. Nezanedbatelný je také nepříznivý dopad na životní prostředí (produkce CO_2 a CO , NO_x , síry atd.) a problémy spojené s efektivním využitím tepelné energie při výrobě elektřiny.

Elektrická energie lze přímo z paliva vyrobit daleko efektivněji elektronickými procesy, při které dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. Při těchto procesech ve srovnání s klasickým způsobem výroby elektřiny zůstává nevyužité menší množství tepelné energie, kterou lze naštěstí dobře využít pro generování mechanické

energie nebo přímo ohřev pro technologické účely. Toto zařízení se nazývá palivové články.

Palivové články představují nový velice perspektivní energetický zdroj, který zřejmě ještě v tomto století přinese významné změny do světové energetiky a do řady oblastí našeho života.

1 MOMENTÁLNÍ ZDROJE ENERGIE

1.1 Fosilní paliva

Pojem fosilní pochází z latiny a znamená předvěký, pocházející ze starých usazenin. Mezi fosilní paliva se řadí uhlí, ropa a zemní plyn.

1.1.1 Uhlí

Uhlí je hořlavá hornina vzniklá v průběhu desítek až stovek milionů let složitými procesy, které se v dřívějších dobách říkalo hořlavý kámen. Většina světových zásob uhlí se začala tvořit v období karbonu, geologické epoše, která začala před 360 milióny let a skončila před 286 milióny let. [6] To znamená, že uhlí vzniklo z tropických slatin starších geologických dob, rostoucích v bažinách. Ve slojích černého uhlí se zachovaly otisky stromových přesliček, plavuní a kapradin, v ložiskách hnědého uhlí otisky jehličnatých i listnatých stromů. Trouchnivěním, rašeliněním (za vzniku metanu - tzv. bahenního plynu) a pozvolným uhelnatěním rostlinných látek v močálech za nedokonalého přístupu vzduchu při vlhkém a teplém podnebí pozbývaly tyto látky vodík a kyslík, vytvářely uhlík, ztrácely rostlinnou strukturu a stávaly se tmavší. Jsou to tedy fosilní ložiska humusových hornin. Z rostlinných látek vznikala nejdříve rašelina, potom při jejích pokračujících poklesech a překrytí pískem a jílem hnědé uhlí a z něho černé uhlí a antracit. Aby se rašelina přeměnila v uhlí, musí být stlačena. Z vrstvy silné 10 až 15 metrů se utvoří uhelná sloj o tloušťce přibližně jeden metr. Nejstarší černé uhlí a antracit vznikají pouze vlivem silného tektonického tlaku (tlaku při pohybech zemské kůry) a vysoké teploty, což bývá v dobách orogenetických (horotvorných). Je to složitá směs látek, jejichž podstatnou složkou je vázaný uhlík a některé další vázané prvky (vodík, kyslík, dusík, síra aj.). Dostane-li se do tlejícího bahna náplavem nebo navátím příměs organických minerálních látek, vzniká hlinitý a vápnitý hnílokal neboli sapropel. Jeho fosilní druhy jsou bituminosní břidlice a bituminosní vápence. Popel, který zůstane po spálení uhlí, dokazuje, že jeho složkou jsou i nespalitelné minerální látky.

Kvalita uhlí jako paliva závisí především na obsahu uhlíku. Černé uhlí obsahuje 75 % až 95 % uhlíku, hnědé uhlí 60-75 % uhlíku a lignit 40-60 % uhlíku, 50 % vody a zbytky dřeva (ostatní vlastnosti jsou shodné s vlastnostmi hnědého uhlí). Největší procento uhlíku (94%) a nejméně prchavých látek má antracit. [6]

Hnědé uhlí

Hnědé uhlí bývá uloženo nehluboko pod povrchem. Podle stupně prouhelnění rozeznáváme několik druhů hnědého uhlí s různým obsahem uhlíku, různou výhřevností a množstvím vody. Nej kvalitnější je tzv. hnědý antracit - smolné uhlí s výhřevností 3 900 kcal a obsahem vody jen 40 %. Hnědé uhlí se vyskytuje v různých světadílech, ale nejvíce se ho těží v Evropě.

Značné množství se koksuje (je to polokoks, použitelný v metalurgii) a současně při koksování se získává hnědouhelný dehet a z něho syntetický benzín. Lignit hodně kouří a vydává relativně málo tepla.

Černé uhlí

Černé (kamenné) uhlí má výhřevnost 7 000 - 8 500 kcal, malé procento vody a prchavých látek. Od hnědého uhlí se liší větší výhřevností, barvou, tvrdostí a menším množstvím popela, který zbude po shoření. Nejjakostnějším druhem uhlí je antracit. Hoří velice horkým plamenem a vydává málo kouře, avšak obtížně se zapaluje.

1.1.2 Ropa a zemní plyn

Ve 20. stol. se ropa stala hlavní oporou civilizace a průmyslu. Její zásoby a obchod s ní však rovněž přispívaly k různým mezinárodním konfliktům. Používání ropy způsobovalo a stále způsobuje velmi nebezpečné a nezodpovědné znečišťování a poškozování životního prostředí na celé planetě.

V průběhu tisíců a milionů let se v klidných zátokách dávných moří na naší Zemi usazovaly spolu s bahnem zbytky drobných živočichů a řas. V průběhu jurské doby (před asi 144 - 213 mil. let) pod tlakem nadložních vrstev za nepřístupu vzduchu při vzníkání metanu a oxidu uhličitého a účinkem anaerobních bakterií z těchto zbytků pravděpodobně postupně vznikla kapalná ropa a také zemní plyn. Ropa se často nalézá v propadlých částech zemské kůry. Někdy se hromadí v pórovitých horninách, které se chovají jako houba, a poněvadž je lehčí než voda, tak i ve vrstevních sedlech, často i v blízkosti ložisek soli. Ropa může pod zemí i migrovat. Např. v Saudské Arábii se nacházejí ropná ložiska, do nichž ropa migrovala směrem z podložních hornin na vzdálenost asi 1 500 metrů. Ropná ložiska netvoří pod zemí souvislé jezero. Buď je roztroušena mezi zrnky písku, nebo v trhlinách hornin, někdy obaluje zrnka písku tenkým obalem. Zemní plyn se tvořil v hlubší vrstvě než ropa. Geologové se domnívají, že tvorba plynu začala během doby karbonu (před zhruba 300 - 286 mil. let) v době, kdy se v bažinách začínaly hromadit uhelné vrstvy. Tyto vrstvy klesaly stále hlouběji a byly překryty následnými vrstvami hornin. Nakonec, asi čtyři kilometry pod povrchem, vytěsnilo teplo ze zemského jádra z uhlí plyn. Ten stoupal prostupnými horninami, až se rovněž nahromadil v pastích. Zemní plyn provázející i ropná ložiska je zpravidla čistý metan.

Ropa je směs sloučenin uhlíku a vodíku - uhlovodíků. Obsahuje však i sloučeniny dusíku, kyslíku a síry. Složení ropy je různé podle naleziště. Hlavní složku zemního plynu je metan (70-90 %). Dále obsahuje plynné uhlovodíky (ethan, propan, butan) a jiné látky (např. oxid uhličitý a sulfan). Ropa je hnědá až černá olejovitá kapalina, která má charakteristický zápach. Ve vodě je nerozpustná a má menší hustotu (na vodě "plave"- čehož se využívá i při těžbě). Hoří čadivým plamenem. Spalné teplo (= teplo, které vydá 1 kg ropy při dokonalém spálení) je 10 000 až 11 500 kalorií. [6]

1.2 Jaderná energie

Se zvyšováním obav ze znečišťování životního prostředí a z globálního oteplování se stále více začíná prosazovat názor, že jaderné elektrárny

zabezpečí výrobu elektřiny v základním zatížení, a přitom neemitují „skleníkové“ plyny, a proto se jejich význam neustále zvyšuje. V současné době zabraňuje provoz jaderných elektráren ve světě vzniku 2,6 mld. t CO₂ a mnoha milionů tun SO₂, NO_x a prachových částic. [3]

Jaderné elektrárny jsou tak tichým společníkem při snižování emisí škodlivých plynů. V USA se v roce 1998 na snižování emisí CO₂ podílely jaderné elektrárny 47,2 %, ostatní typy elektráren 28,5 %, alternativní zdroje energie 17,5 % a ostatní průmysl 4,7 %. [3]

V současné době je ve světě v provozu 441 bloků jaderných elektráren v 31 zemích. V EU je provozováno 150 bloků. Ve světě je ve výstavbě dalších 31 bloků v 13 zemích, v plánu a výhledu 103 bloků v 21 zemích (nejvíce Čína a Indie po 24 blocích). Jaderná energetika se podílí na výrobě elektřiny ve světě 17 %, v EU 35 % a například ve Francii 80 %. [4]

Nejrozšířenější typy jsou lehkovodní reaktory. Ty představují 80 % všech provozovaných reaktorů ve světě, a koncepčně se zcela odlišují od typu RBMK, který v důsledku selhání lidského faktoru způsobil jaderné energii šrám v roce 1986 v podobě černobylské havárie.

Hlavním záporem ve využívání tohoto zdroje energie je zřejmě nedořešené využití vyhořelého paliva, respektive paliva jako takového (skladování, přemísťování), které je radioaktivní a také zneužitelné.

1.3 Obnovitelné zdroje energie

Ochrana klimatu a nerostného bohatství si žádá vyrábět energie šetrnějším způsobem, tak aby dopady na životní prostředí byly co nejmenší, zanedbatelné, či vůbec žádné. Tuto cestu představuje zejména využívání obnovitelných zdrojů energie a druhotných zdrojů. Mezi tyto "čisté" zdroje energie řadíme využívání biomasy k energetickým účelům, energii Slunce, větrnou a vodní energii, ale také geotermální energii. Na výsluní je také používání tepelných čerpadel k vytápění a kogeneračních jednotek, nebo-li společné výroby tepla a elektrické energie. Přínosy vyššího využívání obnovitelných zdrojů energie znamenají především snížení různých exhalátů, zejména emisí CO₂, vytváření nových pracovních příležitostí v

regionu, zvýšenou péčí o krajinu, snížení nákladů na klasická paliva a v neposlední řadě podporu rozvoje regionu.

1.3.1 Sluneční energie

Sluneční záření je nositelem základní, neustále na Zemi dopadající energie, bez které by zde neexistoval život. Lze ho využít k výrobě tepla, elektrické energie i chladu mnoha technickými způsoby, závislými na našich požadavcích a místních podmínkách. Na území České republiky lze sluneční záření velmi dobře využít. Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1 400 do hodin za rok. [5] Na plochu jednoho čtverečního metru dopadne ročně průměrně 1 100 kWh energie. [5] Z těchto čísel je vidět, že při dobré účinnosti solárního systému lze získat z poměrně malé plochy (podstatně menší než je střecha rodinného domku) poměrně velký výkon. Je několik možností, jak přeměnit energii slunečního záření na jinou, pro nás použitelnou formu. Nejlepších výsledků se obvykle dosáhne kombinací jednotlivých systémů. Přeměna slunečního záření na teplo se nazývá fototermální a může být buď pasivní (např. prosklené fasády, zasklené lodžie), nebo aktivní pomocí přídavných technických zařízení. Pro celoroční přípravu teplé užitkové vody (TUV), ohřev bazénové vody či přitápění budov slouží sluneční kolektory. Fotovoltaické články jsou dalším zařízením využívající energii Slunce. Dnes jsou fotovoltaické články nejrozšířenější způsob, jak získat elektřinu přímo ze Slunce. Důležitá čísla (aktivní solární systémy):

- Celková doba slunečního svitu v ČR (bez oblačnosti) 1400-1700 h/rok [5]
- celková dopadlá energie na vodorovnou plochu 950-1150 kWh/m².rok [5]
- účinnost solárních kolektorů (dle umístění a využití) 50-80 % [5]
- životnost kovových kolektorů dle typů a použití 20-30 let [5]

Nevýhodou pro praktické využití slunečního záření je jeho nerovnoměrné rozložení v závislosti na době a klimatických poměrech.

Širšího použití dosáhne pravděpodobně jen v oblastech s relativně delší dobou slunečního svitu, případně po vyřešení problému skladování energie.

1.3.2 Větrná energie

Větrná elektrárna přeměňuje kinetickou energii větru na energii elektrickou. Zařízení slouží jako izolovaný zdroj energie, nebo může být připojen do rozvodné sítě. Vítr vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře. Rychlost větru, která je nejdůležitějším údajem při využívání jeho energie, je úměrná velikosti tlakového rozdílu. Poblíž zemského povrchu je toto proudění ovlivňováno členitostí povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Měření rychlosti větru se provádí nejčastěji miskovými anemometry. Ačkoli naše republika nemá tak výhodné podmínky pro využití větrné energie jako přímořské státy (Dánsko, V. Británie), i u nás existují některé příhodné lokality s vyššími průměrnými rychlostmi větru. Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s vodorovnou osou otáčení, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Moderní větrné elektrárny mají obvykle tři lopatky. Z hlediska konstrukce se od sebe značně liší elektrárny malých výkonů (minielektrárny s výkonem do 5 kW), které slouží především jako zdroj nízkého napětí pro rekreační objekty, rodinné domy apod., a elektrárny velkých výkonů (v současné době realizované výkony 650 kW až 1 500 kW), určené k dodávce energie do veřejné elektrické sítě. Velké VE mají průměr rotoru cca 40 m a věž o výšce okolo 50 m. [5]

Větrné elektrárny - tak jako dávné větrné mlýny - mohou s krajinou žít desítky let, aniž by ji postupně ničili kouřem, prachem a popelem. Větrná energie patří k nejčistším dostupným energetickým zdrojům.

Její nevýhodou je značná proměnlivost a relativně malý výkon větru.

1.3.3 Vodní energie

Česká republika je svou geografickou polohou (leží na rozvodí tří moří, řeky zde pramení) přímo předurčena k využití vodní energie v malých

vodních elektrárnách (MVE). Energie vodního toku je tvořena dvěma formami této energie. Kinetická energie je ve vodních tocích dána rychlostí proudění, která je závislá na spádu toku. Její využití je možné vodními rovnotlakými stroji, založenými na rotačním principu (vodní kola, turbíny typu Bánki a Pelton). Energie potenciální vzniká získáním hladiny vody o větší výšce, z níž voda proudí vhodným přivaděčem do míst s nižší hladinou. Rozdíl těchto dvou výškových potenciálů vytváří tlak, který se využívá v přetlakových (reakčních) soustrojích (turbíny typu Kaplan, Francis, Reiffenstein, turbíny vrtulové a vhodná čerpadla turbínového provozu). Vodní elektrárny se na celkovém instalovaném výkonu v republice podílejí zhruba 17 % a na výrobě necelými 4 %. Technicky využitelný potenciál řek ČR činí 3 380 GWh/rok. Z toho potenciál využitelný v MVE je 1 570 GWh/rok. [5]

Nevýhodou však zůstává nestálost a nepravidelnost tohoto zdroje, poměrně vysoká investiční náročnost na výstavbu vodních elektráren, jejich vliv na zábor půdy a ovlivnění tepelného režimu toků.

1.3.4 Biomasa

Biomasa rozumíme veškerou hmotu organického původu, jde o veškerou živou hmotu. Jedná-li se o biomasu související s energetikou, jde nejčastěji o přírodní a zemědělské produkty (dřevo rychle rostoucí energetické plodiny) nebo o organické zemědělské, průmyslové a komunální odpady (např. dřevní odpad, slámu, a jiné zemědělské zbytky a exkrementy užitkových zvířat). V našich podmínkách se jedná především o využití biomasy z následujících zdrojů:

- Přírodní - dřevní odpady, sláma ze zemědělské produkce, traviny, rychle rostoucí energetické plodiny.
- Průmyslové - kejda a chlévská mrva pro produkci a využití bioplynu, kapalná biopaliva (bionafta, etylalkohol).
- Komunální - využití kalů z čistíren odpadních vod pro produkci a využití bioplynu, bioplyn ze skládek odpadů a technologických procesů.

Využití biomasy lze rozdělit do několika podskupin. energii lze získávat z biomasy termochemickou nebo biochemickou přeměnou. Rozlišujeme biomasu "suchou" (např. dřevo) a "mokrou" (např. kejda). Od toho se odvíjejí dvě základní technologie zpracování:

1. suché procesy (termochemická přeměna)
 - spalování
 - zplyňování
2. mokré procesy (biochemická přeměna)
 - fermentace (produkce etanolu)
 - anaerobní vyhnívání (produkce bioplynu)

Zvláštní podskupinu potom tvoří lisování olejů a jejich následná úprava, což je v podstatě mechanicko-chemická přeměna (např. výroba bionafty a přírodních maziv).

Význam energie z biomasy:

- je obnovitelná a každoročně dorůstá
- je neutrální z hlediska emise CO_2 při jejím růstu a spalování. Konkrétně lze uvést, že pro rostlinnou produkci 1 tuny biomasy se spotřebuje cca 1,6 t CO_2 . [5] Stejně množství CO_2 se uvolní při spalování 1 tuny biomasy
- může představovat místní zdroj tepelné energie a pro pěstování energetických plodin lze využít přebytečnou zemědělskou půdu
- může do značné míry nahradit ostatní druhy fosilních paliv a s jejím vyšším využíváním jsou spojeny nové pracovní příležitosti

2 VLASTNOSTI VODÍKU A KYSLÍKU

2.1 Vodík

Tab. 1. Základní vlastnosti vodíku [7]

Značka	H
Skupina	I.A
Oxidační číslo	+1, -1
Atomové číslo	1
Relativní atomová hmotnost	1,00797
Teplota tání	-259,20 °C
Teplota varu	-252,77 °C
Hustota	0,08988 g/dm ³
Poloměr jádra je roven poloměru protonu	$1,4 \cdot 10^{-15}$ m

Vzhledem ke složení svého atomu je vodík základní prvek, mající v systému D. I. Mendělejeva zvláštní postavení. Spolu s heliem tvoří první periodu, která podle Pauliho principu je jimi již plně obsazena. Vodík je specificky nejlehčí ze všech prvků.

Byl znám již v 16.století jako plyn, který vzniká při „rozpouštění“ železa ve zředěné kyselině sírové a který je možné spálit. Od jiných hořlavých plynů, se kterými byl zaměňován, jej odlišil H. Cavendish (r. 1766), který jej také přesně popsal jako zvláštní látku. Jméno mu dal A. L. Lavoisier.

Ve stavu elementárním se vyskytuje v přírodě v exhalacích některých sopek. Jeho přítomnost se zde vysvětluje tím, že vodní páry se rozkládají rozžhavenými kovy v hlubinách Země. Malé množství vodíku je v atmosféře a jeho přítomnost byla spektroskopicky zajištěna i v plynných obalech Slunce a některých stálic. Velká množství vodíku jsou vázána ve sloučeninách, hlavně ve vodě. Téměř veškeré organické sloučeniny mají ve své molekule vodík, ovšem v různém množství.

Vodík je bezbarvý plyn, nelze jej poznat ani čichem, ani chutí. Je hořlavý, 14,4krát lehčí než vzduch. Litř vodíku váží za teploty 0°C a za tlaku 101,3 kPa jen 0,08987 g. [7] Jeho molekula je dvouatomová. V kapalinách se vodík rozpouští jen velmi málo, zato v mnoha kovech nebo

při vyšší teplotě se ho rozpouští dost velká množství, např. v železe, palladiu, platině; vodík je při tom rozpouštěn atomárně.

2.1.1 Výroba a příprava vodíku

V dnešní době se při výrobě vodíku nejvíce využívá metody zplynování uhlí. Touto metodou se vyrobí 90 % produkce. Za další perspektivní metody se považují: *elektrolýza vody*, *termické štěpení vody* a *zplyňování biomasy*, zvláště *biomasy odpadní*.

Vodík lze vyrobit reakcí vody nebo zředěných kyselin s elektropozitivními kovy. Reakce může být explozivní. Laboratorní metody užívají pro přípravu vodíku reakce sodíkového amalgamu nebo vápníku s vodou, popř. reakci zinku s kyselinou chlorovodíkovou. Pro přípravu malého množství vodíku je výhodná hydrolýza hydridů kovů, kterou se vyvine dvojnásobné množství vodíku než je obsaženo v hydridu.

Vhodným zdrojem vodíku je elektrolýza okyselené vody s použitím platinových elektrod. Velmi čistý vodík lze ve větším množství získat poměrně drahou elektrolýzou horkého roztoku hydroxidu barnatého mezi niklovými elektrodami. Jiné průmyslové procesy jsou založeny na reakci vodní páry s uhlovodíky nebo s koksem.

Většina průmyslově vyrobeného vodíku se spotřebuje přímo v závodě, v němž se vyrábí (např. při syntéze amoniaku, v petrochemickém průmyslu apod.). Přesto se velké množství dodává i na trh. Například v USA se ročně prodá na trhu okolo $3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, tj. 250 000 tun. [9] Ve velkém měřítku převládá výroba z uhlovodíků s použitím zemního plynu nebo suroviny z olejových rafinérií. Míchá se s párou a směs se vede přes niklový katalyzátor při teplotě 700 - 1000°C.

Vodík vzniká také jako vedlejší produkt při elektrolýze solanky při výrobě chlóru a hydroxidu sodného. Uvedené způsoby výroby nejsou vždy praktické, zejména potřebujeme-li malé množství plynu na různě vzdálených místech. Pro takové případy (např. plnění meteorologických balonů) byl vyvinut vodíkový generátor. V němž se odpařuje směs metanolu a vody, vede se přes chromitý katalyzátor při teplotě 400°C, kde se metanol krakuje na vodík a oxid uhelnatý. Vodní pára dále reaguje s oxidem uhelnatým a vzniká oxid uhličitý a další vodík.

2.2 Kyslík

Tab. 2. Základní vlastnosti kyslíku [7]

Značka	O
Skupina	VI.A
Oxidační číslo	-2
Atomové číslo	8
Relativní atomová hmotnost	15,9994
Teplota tání	-218,79
Teplota varu	-182,962
Hustota	0,430 g/cm ³

Byl objeven J. Priestleym roku 1774. už 2 roky předtím jej získal K. W. Sheele, který ovšem svůj objev publikoval až roku 1777. jméno mu dal A. L. Lavoisier, který se mylně domníval, jak později ukázal H. Davy, že kyslík je součástí všech kyselin.

Vzduch obsahuje 21 obj.%, respektive 23 hm.% elementárního kyslíku, a to ve formě dvouatomových molekul. Vázaný je ve vodě (89 hm.%) a v množství jiných minerálů jako jsou oxidy, uhličitany, křemičitany, sírany a jiné, i v převážné většině látek organických, takže je to prvek na Zemi nejvíce rozšířený (asi 50%, neuvažujeme-li o zemském jádru).

Kyslík je plynný prvek, bez barvy a bez zápachu, nezbytný pro život. Ve vodě se rozpouští sice jen málo (asi 8,9 mg/l při 20°C), ale přece jen v množství postačujícím, aby byl udržován život i v tomto prostředí. Kapalný kyslík je látka namodralá.

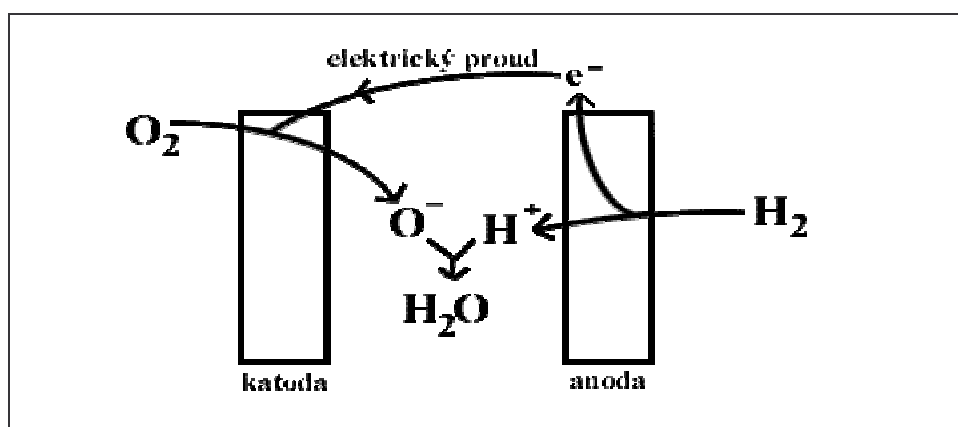
3 PALIVOVÉ ČLÁNKY

3.1 Princip

Princip palivových článků objevil koncem 30.let 20.století Sir William Robert Grove, který při svých pokusech s elektrolýzou vody objevil, že i po odpojení zdroje elektrického proudu zůstává na elektrodách měřitelné napětí. V elektrolyzáru začal probíhat obrácený proces - vodík začal reagovat s kyslíkem za vzniku elektrické energie a vody.

Palivový článek je zdrojem stejnosměrného proudu, který v něm vzniká elektrochemickou reakcí vodíkového paliva a oxidačního činidla na elektrodách.. Na rozdíl od nám všem známé baterie se do něj reakční látky přivádějí a odpady odvádějí neustále, takže na rozdíl od baterie je vlastně nevyčerpatelný.

Palivový článek se skládá ze 3 základních částí – dvou elektrod a elektrolytu, kterým mohou procházet ionty, ale ne molekuly nebo elektrony. Elektrody jsou spojeny přes vnější elektrický obvod se zátěží. Na elektrodách vzniká při elektrochemické reakci náboj. Potenciálový rozdíl mezi katodou a anodou představuje hnací sílu reakce palivových článků. Ve vnějším elektrickém obvodu pak lze tento potenciálový rozdíl, kolem 1V (při zatížení jen 0,5-0,8 V), přeměnit na elektrickou práci. Palivový článek obsahuje obvykle několik desítek jednotlivých cel v sériovém uspořádání, aby bylo dosaženo potřebného vyššího napětí. Podle požadavků na produkované napětí a proud pak lze provádět sériové nebo paralelní propojení jednotlivých modulů. Elektrochemická reakce probíhá pouze v případě, že elektrický obvod je uzavřený. Při přerušení obvodu se reakce okamžitě zastaví. Přestože existuje mnoho různých typů, představme si princip tzv. vodíkového palivového článku.



Obr.1 Schéma palivového článku [8]

Palivo – vodík - se přivádí na kladnou elektrodu (anodu), kde se oxiduje (ztrácí elektron). Kyslík přichází na elektrodu zápornou (katodu) a podléhá tam redukci (přijímá elektron). V elektrolytu mezi oběma elektrodami se reakční produkty mísí a vzniká voda.

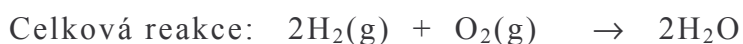
3.2 Typy palivových článků

Palivové články lze dělit podle řady kritérií, jedno z nich (na základě směru toku iontů elektrolytem) je na vodíkové články a kyslíkové články.

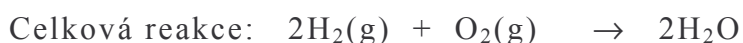
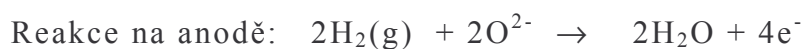
Další možné dělení je podle provozní teploty na články nízkoteplotní, středně teplotní a vysokoteplotní. Nejčastěji se palivové články dělí podle použitého elektrolytu.

3.2.1 Vodíkové a kyslíkové články

Ve vodíkovém článku se vodík přivádí na zápornou elektrodu. Zde za pomoci katalyzátoru proběhne reakce, při které dojde k odebrání elektronů a vzniknou tak na vodíkové kationty (protony). Vodíkové kationty procházejí elektrolytem směrem ke katodě. Elektrony putují ke katodě vnějším elektrickým obvodem. Na katodě pak dojde k reakci mezi kyslíkem a elektronem za vzniku kyslíkových iontů, které pak reagují s vodíkovými kationty za vzniku vody.



Princip *kyslíkového článku* je obdobný. I zde se vodík přivádí na zápornou elektrodu. Zde reaguje s kyslíkovým aniontem, který se do prostoru anody dostal z prostoru katody průchodem elektrolytem, za vzniku vody a volných elektronů, které pak vnějším elektrickým obvodem putují do prostoru katody, kde reagují s kyslíkem za vzniku kyslíkového aniontu.



3.2.2 Dělení podle teploty a elektrolytu

Existuje celkem 5 základních druhů palivových článků, které se od sebe liší především podle používaného elektrolytu a podle rozsahu teplot při kterých pracují.

Články s tuhými polymery

Zde je jako elektrolyt využívaná polymerová folie na bázi uhlíku a fosforu (označení PEFC z angl. proton exchange fuel cell). Tyto články jsou články vodíkové a podle teploty se zařazují mezi nízkoteplotní články (25-100°C), účinnost při použití čistého vodíku je až 60 %. [8]

Alkalické články

Které využívají jako elektrolyt zředěný roztok hydroxidu draselného (označují se AFC – alkaline fuel cell). Alkalické články jsou články kyslíkové, podle teploty patří mezi nízkoteplotní (60-200°C). Účinnost při použití čistého vodíku je až 60 %. [8]

Alkalické palivové články byly poprvé využívány jako energetické zdroje v kosmických lodích Apollo. Mají nejrychlejší kinetiku katodové kyslíkové reakce a nepotřebují proto alespoň pro katodu drahé katalyzátory

ze vzácných kovů. Mají vyšší účinnost a energetickou kapacitu než články kyselé. Na druhé straně kapalný elektrolyt - silně koncentrovaný hydroxid draselný - má korozní účinky a na utěsnění celého článku je zapotřebí věnovat zvýšené úsilí. Největší slabinou alkalických palivových článků je vysoká citlivost na obsah oxidu uhličitého v používaných plynech, který reaguje s elektrolytem a znehodnocuje ho. Proto nemohou používat nepřímá reformovaná paliva a jsou odkázány na zdroje čistého vodíku. I vzduch, dodávaný pro katodovou reakci, musí být předem zbavován kyslíčnicku uhličitého. Nemají zatím ani potřebnou dlouhou životnost, aby mohly být používány jako statické generátory energie. Proto se dostaly brzy mimo oblast zájmů a jejich dalšímu vývoji se ve světě věnuje jen několik organizací.

Články s kyselinou fosforečnou

Jejich elektrolyt tvoří 100 % kyselina fosforečná (PAFC – phosphoric acid fuel cell). Články s kyselinou fosforečnou jsou články vodíkové, podle teploty se řadí mezi středněteplotní články (150-200°C). Účinnost při použití čistého vodíku se pohybuje okolo 40 %. [8]

Mohou být vyráběny v širokém výkonovém rozmezí od 1 kW do 5 MW. Mezi jejich nevýhody patří korozivní účinky kapalného elektrolytu - kyseliny fosforečné, pomalá kinetika katodové reakce a špatná vodivost kyseliny fosforečné při nižších teplotách. Jsou poměrně robustní a jejich hlavní využitelnost je ve formě statických generátorů elektrické a tepelné energie, schopných pokrýt kritickou oblast výkonů od 50 kW do 1 MW [9], ve které turbíny a plynové motory pracují s nízkou účinností.

Články s vodivými oxidy

Mají elektrolyt tvořený oxidem zirkoničitým s příměsí oxidu yttritího (SOFC – solid oxide fuel cell). Tyto články jsou kyslíkové, podle teploty řadí mezi vysokoteplotní články (650-1000°C), s účinností až 65 %. [8]

Články s roztavenými uhličitany

V nichž je elektrolyt tvořen směsí roztavených uhličitanů lithných a draselných (MCFC – molten carbonate fuel cell). Uhličitanové články jsou

články kyslíkové, podle teploty se zařazují mezi vysokoteplotní palivové články (600-700°C). Účinnost je až 60 %. [8]

Palivové články s roztavenými uhličitany nebo s vodivými oxidy nepotřebují pro reakce při vysokých teplotách katalyzátory elektrodoových reakcí a mohou používat reformovaná paliva. Horší převod hmoty a nižší vodivost nedovolují těmto článkům dosáhnout vysoké účinnosti a energetické kapacity, jakou se vyznačují palivové články membránové a alkalické. Budou využívány výhradně jako statické zdroje elektrické a tepelné energie o výkonech 100 kW - 10 MW [9]. Současné prototypy dosahují výkonů mnohem menších, protože nejsou dosud konstruovány z nejvhodnějších materiálů.

Tab. 3. Přehled druhů palivových článků [8]

typ článku	elektrolyt	rozmezí pracovních teplot (°C)
nízkoteplotní membránový	iontovýměnná membrána	25-100
Nízko-středně teplotní alkalický	hydroxid draselný	60-200
středně teplotní kyselý	kyselina fosforečná	150-200
vysokoteplotní z tavených karbonátů	tavenina alkalických uhličitanů	600-700
vysokoteplotní z vodivých oxidů	vodivé keramické oxidy	650-1000

Z jmenovaných druhů palivových článků dosáhly první tři již různého průmyslového využití, poslední dva jsou ještě spíše ve stadiu vývojových prací a hledání nejvhodnějších konstrukčních materiálů a technologických výrobních postupů. Nejdříve dosáhly stadia větší průmyslové výroby články kyselé, vyráběné ve Spojených státech a v Japonsku. Mezi jejich přednosti patří chemicky vysoce stabilní elektrolyt a možnost používat reformovaná paliva.

Membránové (keramické) palivové články

V poslední době se ale začíná rozbíhat i výzkum dalšího typu palivových článků.

Rozvoj membránových palivových článků začal později než u ostatních druhů. V posledních letech se ale neustále urychluje a membránovým palivovým článkům je zaslouženě věnována největší pozornost. Tyto články mají pevný nekorozivní elektrolyt - iontovýměnou membránu - a jejich konstrukce i provoz je do určité míry jednodušší než u ostatních článků. Mají vůbec nejrychlejší kinetiku anodové oxidace vodíku, takže dosahují vysoké účinnosti a vzhledem k jednoduché konstrukci s pevným elektrolytem i vysoké energetické kapacity. Mohou pracovat i při nezvýšené teplotě, reakce je nastartována okamžitě po dodání paliva a plného výkonu dosahují do 30 vteřin po startu. Nejsou citlivé na oxid uhličitý, takže mohou používat reformovaná paliva. Minimální nároky na údržbu, malé rozměry a možnost modulového uspořádání jsou další vlastnosti, které pomáhají k rozsáhlejší použitelnosti membránových palivových článků ve srovnání s ostatními. Vedle statických generátorů elektrické energie jsou velmi vhodné pro pohon dopravních prostředků, především autobusů a osobních automobilů.

Další výhodou membránových palivových článků ve srovnání s ostatními druhy je možnost jejich miniaturizace. Navíc tzv. dýchací články potřebují pro svůj provoz pouze dodávku paliva. Oxidační činidlo (vzdušný kyslík) si odebírají samy z okolního prostředí. Ke svému provozu nepotřebují žádné periferní zařízení (komprese, chlazení, čerpání, reformování paliva ap.), které je nezbytné v ostatních případech. Mohou tedy být využívány jako malé přenosné energetické zdroje pro pohon spotřební elektroniky a všude tam, kde jsou v současné době používány baterie a akumulátory. Energetická kapacita akumulátorů a baterií se pohybuje většinou v desítkách watthodin na kg váhy a jen výjimečně překračují hodnoty 200 Wh/kg. Membránové palivové články dosahují již nyní 400 Wh/kg a počítá se, že jejich energetická kapacita bude zvýšena až na 1000 Wh/kg. Při minimální možnosti detekce se proto jeví jako optimální osobní energetický zdroj do výbavy řadového vojína. [9]

Existují již i tzv. regenerativní membránové palivové články, které při dodávce paliva vyrábějí elektrickou energii, nebo při dodávce energie si mohou vyrábět potřebný vodík a kyslík elektrolýzou vody. V odlehlých místech a polních podmínkách mohou k tomuto účelu využívat i přírodní energetické zdroje, jako je např. energie solární a větrná. Tyto možnosti jsou výborně využitelné při provozu kosmických lodí, které si potřebnou energii pro výrobu paliva mohou získávat ze slunečního záření a využívat palivový článek jako zdroj elektrické energie v období letu na odvrácené straně od slunce.

Regenerativní palivové články mohou být používány i k nabíjení akumulátorů a dobíjecích baterií. Dále mohou s těmito zdroji vytvářet výhodné kombinace ve formě tzv. hybridních článků.

Hlavní nevýhodou membránových palivových článků je zatím jejich vysoká cena. Proto rychlému zavedení masové průmyslové výroby brání důvody spíše ekonomické než technické. Jedná se především o cenu membrán a nutnost používat drahý platinový katalyzátor pro přeměnu chemické energie vodíkového paliva na energii elektrickou. Požadavky na ionexové membrány v palivových článcích jsou tak náročné, že ze všech druhů membrán ve světě vyráběných je splňují pouze velmi drahé membrány fluorované, jejichž produkcí se zabývají čtyři firmy v USA a Japonsku. Proto je hlavním trendem současné doby vývoj nového typu ionexových membrán řádově levnějších než membrány fluorované a dále významné zlevnění katalytického procesu. Množství potřebné platiny se daří v poslední době významně snižovat vhodnými technikami nanášení elektrodových povlaků na povrch membrán. O nových typech levnějších nefluorovaných membrán se občas píše, ale jejich průmyslová výroba zatím ještě pravděpodobně zahájena nikde nebyla.

3.2.3 Elektrody

Provedení anody musí odpovídat skupenství paliva, které je v článku využíváno. Pokud je to plyn, musí elektroda poskytovat co nejvíce prostoru, kde se mohou stýkat 3 fáze – pevná (elektroda, případně

katalyzátor), kapalná (některé elektrolyty) a plynná (palivo). Tato místa styku fází jsou tvořena soustavou kapilár a pórů.

Pokud je využíváno kapalné palivo, dochází na elektrodě ke styku pouze dvou fází – pevné a kapalné. Jemná porézní struktura elektrody, která je nutná pro plynná paliva, ztrácí na důležitosti a hlavním parametrem je velikost aktivního povrchu elektrody.

Jelikož se jako okysličovadlo nejčastěji používá plyn, musí mít katoda stejné vlastnosti jako anoda pro plynná paliva.

Tab.4. Materiály používané na elektrody [8]

	Katoda	Anoda
AFC	Spékaný práškový nikl s přísadou uhlíku	
PEFC	Porézní grafit	
PAFC	Porézní grafit	
MCFC	Oxid nikelnatý s přídavkem lithia	Spékaný práškový nikl s přídavkem chromu
SOFC	Slitina lanthanu a oxidu manganatého s přídavkem stroncia	Směs niklu o oxidu zirkoničitého s přídavkem oxidu yttritého

3.3 Paliva používaná v palivových článcích

Zatím nejčastěji používaným palivem je čistý vodík, který může v palivovém článku přímo reagovat za vývoje elektrického proudu. Přeprava a skladování plynného vodíku není příliš výhodná s přihlédnutím k vysoké váze obalů. Například tlakové vodíkové lahve obsahují jen jedno procento čistého vodíku z celkové váhy. Vyvíjeny jsou proto způsoby skladování a přepravování zkapalněného vodíku, při nichž lze obsah čistého vodíku zvýšit až na 10% celkové váhy. Na zkapalnění a udržování ve zkapalněné formě se ale spotřebuje značné množství energie, odpovídající cca 1/3 energetického obsahu připravovaného vodíku. Další připravované zdroje čistého vodíku jsou chemické, ze kterých bude vodík uvolňován hydrolýzou, amolýzou nebo katalytickou reakcí. Tyto zdroje budou schopné uskladnit minimálně pět váhových % vodíku. Za velmi perspektivní je považováno ukládání vodíku v takzvaných uhlíkatých nanovlákních schopných pojmout až 48 váhových % vodíku. [8]

Protože vodík není vhodným palivem pro všechny aplikace palivových článků, je věnována velká pozornost takzvaným nepřímým palivům, ze kterých je vodík uvolňován reformovacím procesem. Mezi nejvýznamnější nepřímé zdroje vodíku patří zemní plyn, metan, případně čpavek. Reformováním těchto zdrojů vodní parou nebo takzvanou parciální oxidací při vysokých teplotách vzniká vodík s oxidy uhlíku.

V poslední době se pro řadu aplikací s využitím palivových článků ukazuje právě metylalkohol jako velmi perspektivní kapalně přímé palivo. Již v současné době byla vyrobena řada prototypů palivových článků, ve kterých je používán metanol jako přímé palivo bez potřeby reformování.

Je ale možné efektivně využít i jiná kapalná paliva používaná k pohonu motorových vozidel (zde může palivový článek nahradit akumulátor). Z tuhých látek lze využít uhlí nebo některé kovy (např. sodík nebo hořčík).

Okysličovadla mohou být nejen plynná, ale také kapalná nebo pevná. Z praktických důvodů se ale nejvíce využívá vzdušný kyslík.

Tab.5. Požadavky na paliva a okysličovadla [8]

Článek	Palivo	Okysličovadlo
AFC	Vodík Plyny musí být prosté od oxidu uhličitého (ničí elektrolyt).	kyslík nebo vzduch + vodní pára
PEFC	Vodík (může obsahovat malá množství oxidu uhličitého a dusíku) Pro zvlhčování membrány se používá voda. Plyny nesmí obsahovat žádný oxid uhelnatý (jed pro katalyzátor).	Vzduch
PAFC	Vodík (může obsahovat malá množství oxidu uhličitého a dusíku), metan Plyny nesmí obsahovat žádný oxid uhelnatý (jed pro katalyzátory), při provozu je nutné dodržovat provozní teplotu, kolísání teploty je nežádoucí.	Vzduch
MCFC	Vodík, metan	Vzduch s přidavkem oxidu uhličitého
SOFC	Vodík, metan, kapalná paliva Je možné použít paliva s obsahem CO.	Vzduch

ZÁVĚR

Palivové články budou využívány ve třech základních oblastech. Do prvé patří statické kogenerátory elektrické a tepelné energie, jejichž účinnost díky využitelnosti odpadního tepla se pohybuje mezi 80-85 %. Budou instalovány přímo v místech spotřeby, takže odpadají rozsáhlé rozvodné sítě. Zaručují zároveň nezávislost spotřebitele na poruchách v rozvodné síti nebo na jejím poškození živelnými pohromami. Připravována je výroba jednak malých kogenerátorů pro rodinné domy o elektrickém příkonu 5-10 kW [2], jednak velkých zařízení, pro velké budovy nebo komplexy i celá sídliště. Jejich elektrický příkon bude podle potřeby a druhu palivového článku 200 kW až 100 MW [2]. Vedle elektrické energie produkují tyto statické kogenerátory na každou kWh elektrické energie přibližně stejné množství energie tepelné. Tyto energetické zdroje mohou být instalovány i v odlehlých místech, což je výhodné pro vojenské využití, ale i pro budoucí elektrifikaci odlehlých končin v rozvojových zemích.

Do druhé oblasti patří využívání palivových článků pro všechny druhy pozemní a vodní dopravy, v prvé řadě však pro pohon automobilů. Účinnost spalovacích motorů současných automobilů po cca stoletém vývoji se pohybuje v rozmezí 20-25 % [2], přičemž účinnost na pohyb kol automobilů se dále snižuje na 16 až 19 % [2] kvůli ztrátám v převodech. U elektromotorů s palivovými články je účinnost proti spalovacím motorům přibližně dvojnásobná a vztaženo na pohyb kol může být i trojnásobná. Kromě toho automobily s palivovými články budou mít poměrně brzy značně větší dojezd na jednu náplň než dnešní automobily se spalovacími motory.

Miniaturní palivové články zabírají oblast třetí. Nemají žádné periferní zařízení jako ostatní palivové články, mohou fungovat i při běžných teplotách. U nich není hlavním požadavkem vysoká účinnost či výkon, ale vysoká tzv. energetická kapacita, vyjadřovaná počtem watthodin na kilogram váhy nebo litr objemu. Slouží k pohonu veškerých přenosných elektronických zařízení, všude tam, kde se v současné době používají elektrické akumulátory a baterie. Jestliže energetická kapacita akumulátorů

a baterií se ve většině případů pohybuje v desítkách watthodin na kg váhy a jen u nejdokonalejších a nejdražších překračuje 200 Wh/kg, přenosné palivové články již dnes dosahují 400 Wh/kg a brzy budou pravděpodobně dosahovat až 1000Wh/kg [2]. Na jednu náplň paliva je jejich výdrž 3-4 krát delší, přičemž obměna palivového zásobníku je otázkou několika vteřin. Dá se tedy předpokládat, že brzy nahradí většinu těchto dosud používaných zdrojů, z nichž velkou část je zapotřebí po určité době provozu dlouze nabíjet.

Ze všech druhů palivových článků se jako nejperspektivnější jeví palivové články membránové, které jako jediné se uplatňují ve všech třech jmenovaných oblastech. Při tom pro pohon automobilů a jako přenosné palivové články jsou zatím naprosto bezkonkurenční. Pouze u statických energetických generátorů převažují v současné době středně teplotní palivové články na bázi kyseliny fosforečné, v budoucnu to budou ale především vysokoteplotní palivové články na bázi vodivých oxidů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HEZOUČKÝ, František. *Význam energetických potřeb pro 21. století*. [on-line]. [cit. 2005-02-23]. Dostupný z [www: http://blisty.cz/2004/8/26/art19482.html](http://blisty.cz/2004/8/26/art19482.html)
- [2] CIVÍN, Vladimír, Ing. *Nové progresivní zdroje pro armádu (Palivové články)*. [on-line]. [cit. 2005-12-10]. Dostupný z [www: http://www.army.cz/mo/tisk/vojroz/zvl2000/165.html](http://www.army.cz/mo/tisk/vojroz/zvl2000/165.html)
- [3] VANĚK, Václav. *Liberalizovaný trh s elektřinou a perspektiva jaderné energetiky*. [on-line]. [cit. 2005-05-03]. Dostupný z [www: http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=/clanky/en_2001_78_2.html](http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=/clanky/en_2001_78_2.html)
- [4] [on-line]. [cit. 2005-04-07]. Dostupný z [www: http://www.blisty.cz/2004/9/7/art19680.html](http://www.blisty.cz/2004/9/7/art19680.html)
- [5] [on-line]. [cit. 2005-03-16]. Dostupný z [www: http://Energeticka-agentura.vysocina.html](http://Energeticka-agentura.vysocina.html)
- [6] [on-line]. [cit. 2005-02-23]. Dostupný z [www: http://cbox.cz/filip.sellner/sem/index.html](http://cbox.cz/filip.sellner/sem/index.html)
- [7] PAVELKA, V., SCHÜTZ, A. *Anorganická chemie*. Státní pedagogické nakladatelství, 1979, s. 99, 103
- [8] *Palivové články*, GAS s.r.o., 2004
- [9] *Vodík jako alternativní palivo*. [on-line]. [cit. 2005-02-23]. Dostupný z [www: http://vossost.lit.cz/pk/vodik.html](http://vossost.lit.cz/pk/vodik.html)

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Základní vlastnosti vodíku	17
Tab. 2. Základní vlastnosti kyslíku	19
Tab. 3. Přehled druhů palivových článků	24
Tab. 4. Materiály používané na elektrody	27
Tab. 5. Požadavky na palivo a okysličovadla	28

SEZNAM SCHÉMAT A OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma palivového článku	21
--	----

EVIDENČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<i>Místo uložení práce:</i> Ústřední knihovna UTB ve Zlíně
<i>Autor práce:</i> FÜRSTOVÁ Barbora
<i>Název práce</i> česky: Perspektiva palivových článků anglicky: Perspective of fuel cells
<i>Vedoucí práce:</i> Ing. Josef Houser
<i>Vysoká škola (název a adresa):</i> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Mostní 5139, 760 01 Zlín Fakulta technologická, nám. T. G. Masaryka 275, 762 72 Zlín Ústav inženýrství ochrany životního prostředí
<i>Rok obhájení práce:</i> 2005
<i>Počet stran, obrázků, tabulek:</i> 33, 1, 5
<i>Předmětová hesla:</i> česky: palivové články, obnovitelné zdroje energie, fosilní paliva, AFC, PEFC, PAFC, MCFC, SOFC, membránové palivové články anglicky: fuel cells, renewable resources of energy, fossil fuels, AFC, PEFC, PAFC, MCFC, SOFC, membrane fuel cells
<i>Souhrn</i> česky: V dnešní době se stále zvyšuje spotřeba a poptávka elektrické energie a paliva. Děje se tak z důvodu rostoucího počtu obyvatel a zvyšování životního standartu. Proto se hledají způsoby, jak vyrábět energie víc a přesto minimálně poškozovat životní prostředí. Momentálně se uvažuje nad využitím palivových článků jako zdrojů energie. Zatím existuje šest druhů těchto zařízení : články s tuhými polymery, alkalické články, články s kyselinou fosforečnou, články s vodivými oxidy, články s roztavenými uhlíčitany a membránové palivové články.

Palivové články představují nový velice perspektivní energetický zdroj, který zřejmě ještě v tomto století přinese významné změny do světové energetiky a do řady oblastí našeho života.

anglicky: In these times the consumption and demand for electric and fuel is evergrowing. It's because of increasing population and its standard of living. That is the reason to find new ways to produced more of energy, but minimalized negative effects onto environment.

At this moment the fuel cell are taking into account as alternative source of power. There are six existing kinds of fuel cell : proton exchange fuel cell, alkaline fuel cell, phosphoric acid fuel cell, solid oxide fuel cell, molten carbonate fuel cell and membrane fuel cell.

Fuel cell introduced new, really perspective source of power, which evidently in this century will bring meaningful changes into world industry of power and into many regions of our life.