

6.4. PALIVOVÉ ČLÁNKY

Palivový článek produkuje elektřinu na základě elektrochemických přeměn a je z tohoto hlediska baterii podobný. Zásadní rozdíl mezi ním a baterií však spočívá v tom, že aktivní látky nejsou součástí katody a anody, ale jsou k nim průběžně přiváděny zvnějšku. Obě elektrody působí pouze jako katalyzátor chemických přeměn, během činnosti se téměř neopotřebovávají a jejich chemické složení se nemění. Palivový článek se nevybízí. Pokud jsou do něho aktivní látky trvale přiváděny, může pracovat prakticky bez časového omezení. Mizí zde tedy pojem kapacita článku. Základním ukazatelem je proto obvykle výkon nebo proud odebíraný z 1 cm^2 elektrod. Někdy se také udává měrný (W/kg) a objemový (W/l) výkon.

Princip činnosti palivového článku lze pochopit velice snadno. Na zápornou elektrodu, které se říká palivová, se přivádí aktivní látka (palivo) ta zde oxiduje a uvolněné elektrony se vnějším obvodem pohybují k elektrodě kladné. Palivem může být prakticky jakákoli látka schopná okysličování. Z plynů lze jmenovat vodík, řadu uhlovodíků, CO nebo hydrazin N_2H_4 , z kapalných látek např. metanol CH_3OH nebo jiné alkoholy a z pevných některé kovy (Na , Mg , Zn , Cd). Na kladné elektrodě naopak probíhá za účasti okysličovadla redukce. Nejběžnějším okysličovadlem je kyslík z okolního vzduchu, ale může jím být i chlor nebo oxidy určitých kovů (HgO , MnO_2 atd.). Pokud se přeruší vnější obvod, na kladné elektrodě přestane redukce díky nedostatku elektronů probíhat a reakce se okamžitě zastaví.

První palivový článek sestrojil v roce 1839 angličan William Grove. V roce 1886 byl ve Francii dokonce zkonstruován automobil poháněný palivovými články, ale jejich vývoj poté ustrnul. Teprve kolem roku 1960 v souvislosti s požadavky na různá zařízení potřebná pro výzkum kosmu (nezávislé zdroje energie v družicích a satelitech) došlo k renezanzi v jejich výzkumu. Ten slavil v následujících dvou desetiletích řadu úspěchů, v jejichž důsledku se začaly objevovat nepřiměřeně optimistické prognózy (do konce tisíciletí ovládnou svět elektromobily poháněné vysoce výkonnými palivovými články, jejich uplatnění vzroste i v mnoha dalších oblastech od letectví až po lehký průmysl, v řadě aplikací postupně vytěsni klasické baterie atd.). Později ovšem tento optimismus s rostoucími nároky na materiály a technologii výroby poněkud vyvanul; ukazuje se, že palivové články nelze především z cenových důvodů stále ještě počítat k běžně dostupným zdrojům energie. Jejich význam však do budoucna

určitě poroste (důvodem je relativně vysoká účinnost přeměny energie a kladný dopad na životní prostředí) a značné množství teoretických i firemních pracovišť (včetně téměř všech světových výrobců automobilů—ropa a tedy benzín bude čím dál tím dražší a předpisy týkající se zplodin spalování stále přísnější) vynakládá nemalé množství prostředků na jejich další intenzivní výzkum.

K nesporným výhodám palivových článků patří vysoká životnost (výrobci udávají desetitisíce hodin), nepřítomnost pohyblivých částí, tichý chod, schopnost snášet značná přetížení (550% po dobu několika minut a 800% několik sekund) a kromě klasického uplatnění je lze využít pro kombinované systémy ohřevu a výroby energie. Tato možnost je zřejmá z následujícího srovnání nejdůležitějších parametrů, charakterizujících základní typy energetických přeměn:

- velké uhelné, plynové či olejové elektrárny: 35% energie se přemění na elektřinu, 65% na neužitečné teplo,
- diesel nebo plynové turbíny: 30% energie se přemění na elektřinu, 50% na teplo a 20% na pohon systému (ztráty),
- palivové články: 40–45% energie se přemění na elektřinu, 35–40% na užitečné teplo, 20% na pohon systému.

Vyrábějí se v širokém rozsahu velikostí od malých článků pro napájení přenosných počítačů nebo radiových vysílačů až po velké články a jejich skupiny určené pro elektrárny o výkonech řádu MW. Vyšší napětí se získá tak, že se jednotlivé články ve tvaru sendviče řadí do série.

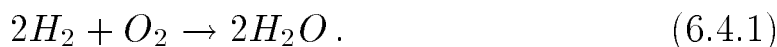
Nevýhody palivových článků jsou důsledkem skutečnosti, že mohou pracovat v dlouhodobém nepřetržitém provozu. Jedná se zejména o

- nutnost kontinuálně odstraňovat zplodiny chemických reakcí, jejichž množství závisí na velikosti odebíraného proudu (např. u článku na bázi H_2-O_2 jde o odčerpávání vody, u jiných článků o produkty oxidace),
- udržení optimální teploty a tlaku aktivních médií (např. u článků s elektrolytem obsahujícím KOH nesmí provozní teplota přesáhnout 110^0 C, čehož se docílí cirkulací elektrolytu přes výměník tepla s chladičem),
- uvedení baterie do provozu (trvá několik minut a baterie se během této doby ohřívá na provozní teplotu buď proudem, který sama dodává zastudena, nebo teplem z vnějšího zdroje).

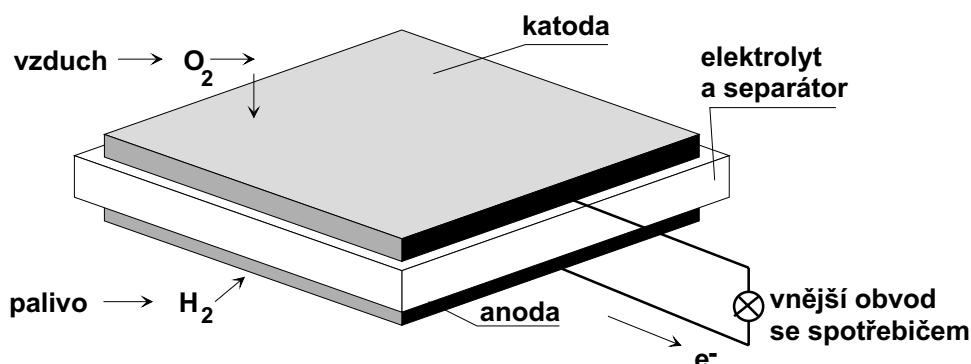
Z uvedeného je vidět, že řádný provoz mnoha palivových článků se prodražuje díky vynucené přítomnosti různých pomocných zařízení vybavených automatickou regulací. Za dílčí nevýhodu lze pokládat i to, že

proud i výkon odebíraný z 1 cm² aktivního povrchu elektrod není příliš velký (výrobci uvádějí desetiny A, případně desetiny W); články pro vyšší proudové odběry proto mají několik kladných i záporných elektrod zapojených paralelně podobně jako u olověných akumulátorů.

Jak již bylo naznačeno, většina vyráběných palivových článků je založena na chemické reakci mezi vodíkem a kyslíkem (probíhá zde reakce inverzní k hydrolyze vody, kdy se voda rozkládá na plynný vodík a kyslík). Vodík se za obvyklých okolností za přítomnosti kyslíku spaluje, což je doprovázeno vznikem vody, světlem, teplem a případně zvukově. Probíhající reakci lze popsat rovnicí

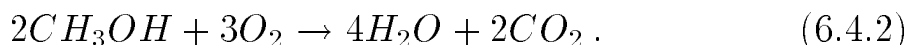


V palivovém článku dochází k téže reakci, avšak místo světla a tepla se produkuje elektrická energie. Toho je dosaženo tak, že vodík je přiváděn na zápornou elektrodu a kyslík na kladnou (obr. 6.4.1). Napětí článku je v tomto případě asi 1.1 V.



Obr. 6.4.1: Princip palivového článku na bázi H₂ – O₂

Pokud je palivem článků metanol (např. miničlánky firmy Electro-Chem-Technic) dochází zde k jiné reakci popsané sumární rovnicí



Zatímco palivem může být látka plynná nebo kapalná, je okysličovadlem téměř vždy plyn. Záporná elektroda musí být skupenství přiváděného paliva uzpůsobena. Je-li palivem plyn, musí na ní být co nejvíce míst, kde se setkává fáze pevná (elektroda s katalyzátorem), kapalná (elektrolyt) a plynná (palivo). Tato místa jsou tvořena soustavou pórů a kapilár, které vznikají během výroby tak, že se jednotlivé vrstvy elektrody lisují z materiálů s určitou velikostí zrn, nebo obsahují snadno

rozpuštěné materiály, po jejichž odplavení vznikají ve strukturách elektrody další dutinky. Během činnosti článku jsou póry vyplněny plynem a kapiláry elektrolytem. Tyto elektrody jsou většinou kovové a říká se jim difúzní. Jinou možností je hydrofobizace pórovité elektrody, kdy se vnitřní struktura pórů upravuje smáčením v organickém polymeru. Stěny pórů pak mají různou smáčivost vůči přítomnému elektrolytu, takže některé póry elektrolyt přijmou, v jiných se drží plynné palivo (užívá se zejména u uhlíkových elektrod). Pokud je palivem kapalina, pracují elektrody pouze s pevnou a kapalnou fází, takže jemná porézní struktura ztrácí na důležitosti a rozhodujícím faktorem se stává velikost aktivního povrchu; palivo se k elektrodě přivádí rozpuštěné v elektrolytu. Záporná elektroda je od kladné oddělena separátorem, který propouští pouze vybrané ionty.

V dalším textu se budeme zabývat především články na bázi H_2-O_2 , nebo články, kde je palivem vodní plyn (setkáváme se s nimi nejčastěji). V současné době existuje několik základních typů, které se odlišují především podle použitého elektrolytu, i když konstrukce elektrod může být rovněž velmi odlišná. V tabulce 6.6 jsou uvedeny hlavní skupiny článků podle elektrolytu a jejich základní charakteristiky.

Tabulka 6.6: Údaje o jednotlivých typech palivových článků

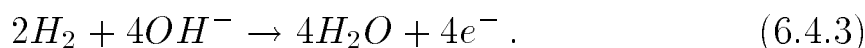
typ článku	pracovní teplota °C	současné a budoucí využití
alkalické	50–100	kosmický výzkum (Gemini, Apollo, Shuttle), velmi dobré, ale drahé
s tuhými polymery	50–100	automobily, autobusy a další typy dopravních prostředků; komerčně dostupné do 3 let
s HPO_3	200	výkonově střední měřítko (až 200 kW), vhodné pro CHP; vyrábí např. firma IFC USA
s roztavenými uhličitany	600	střední měřítko CHP (1–2 MW) ve stadiu experimentů
s tuhými oxidy	600–1000	desítky kW, pro CHP v budoucnu snad nejužitečnější

Pozn.: CHP—combined heat and power (kombinovaný systém pro ohřev a výrobu elektrické energie); v současné době je již dosti rozšířen v řadě vyspělých zemí (USA, Kanada, Francie, Japonsko)

1. Alkalické palivové články

Během let se osvědčily zejména v zařízeních pro kosmický výzkum. Je ovšem zřejmé, že trh s těmito zařízeními je velmi omezený. Největší předností tohoto typu článku pro uvedený typ použití je poměrně vysoká energetická hustota a značné množství vody, která je vedlejším produktem a lze ji recyklovat. Poněvadž se jedná o článek nízkoteplotní, musí být povrch elektrod pokryt silnou vrstvou platiny sloužící jako katalyzátor; to je hlavní příčinou vysoké ceny. Další nevýhodou je, že hydroxid draselný (KOH) přítomný v elektrolytu, reaguje se vzdušným CO_2 a vytváří K_2CO_3 (uhličitan draselný), který nejen postupně degraduje vlastnosti elektrolytu, ale také zanáší póry elektrod. Z toho důvodu musí být dodáván jako okysličovadlo čistý kyslík, což rovněž provoz článku prodražuje.

Při chemických reakcích v alkalickém článku s roztokem KOH hrají hlavní roli anionty OH^- , kterých je v roztoku nadbytek. Na anodě reaguje přiváděný vodík s těmito anionty podle rovnice



Uvolněné elektrony dospějí vnějším obvodem ke katodě, kde reagují s přiváděným kyslíkem a vodou podle rovnice



Anionty OH^- pronikají elektrolytem a pohybují se dále k anodě. Je patrné, že voda na anodě se vyvíjí dvakrát tak rychleji, než se spotřebovává na katodě (u některých typů článků je tomu naopak).

2. Články s tuhými polymery

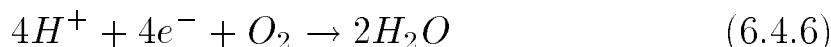
Ukazují se být velmi slibné zejména pro různé typy vozidel. Jedná se opět o nízkoteplotní články, takže jejich elektrody vyžadují platinový povlak působící jako katalyzátor reakce. V současné době již technologie zvládá výrobu elektrod jen s velmi tenkou vrstvičkou platiny, takže jejich cena poklesla na přiměřenou úroveň. Výzkum se nyní ubírá směrem k elektrolytům typu PEM (proton exchange membrane) a k bipolárním elektrodám. Hlavním výrobcem těchto článků je patrně společnost Ballard Power Systems v Kanadě. Ta například vyvinula články pro pohon autobusů, které jezdí ve Vancouveru; parametry těchto autobusů jsou srovnatelné s parametry busů s dieslovým pohonem a převyšují je

v oblasti znečištění a účinnosti přeměny energie. Očekává se, že v nejbližší době naplňuje jejich zařazení do provozu i řada jiných amerických měst (např. Chicago již nyní, délka busu 12 m, 60 pasažérů, 275 HP, dojezd 400 km).

Elektrolyt (standardně se mnoho let používal výrobek koncernu DuPont pod označením Nafion, v současné době se začíná přecházet na zmíněný typ PEM) obsahuje pohyblivé ionty H^+ , které v probíhajících chemických reakcích hrají hlavní roli. Na anodě je přiváděný plynný vodík ionizován podle rovnice



Uvolněné elektrony projdou vnějším obvodem a jsou přivedeny na katodu. Kationty H^+ se pohybují elektrolytem a rovněž dosáhnou katody. Na katodě dochází k reakci příslušných elektronů a vodíkových kationtů s přiváděným kyslíkem podle rovnice



a vzniká zde voda.

Popišme si nyní podrobněji konstrukci palivového článku s pevným polymerem firmy DAIS (USA). Tento článek se vyrábí ve tvaru mnohovrstvého sendviče složeného z dílčích článků. Dílčí článek sestává ze dvou elektrod separovaných membránou z pevného polymeru. Celý článek sestavený z více dílčích článků se vkládá do pouzdra obsahujícího ještě nádrž z vodíkem (palivo) různých rozměrů a řídicí jednotku. Účelem řídicí jednotky je nastartovat a ukončit výrobu elektřiny. Dílčí článek má hmotnost asi 60 g. 10 W palivový článek má hmotnost cca 0.65 kg bez vodíkové nádrže a regulátoru, s oběma jmenovanými prvky asi 1.7 kg. Při teplotě vzduchu 30⁰ C, napětí 7–10 V/dílčí článek (12 dílčích článků v jednotce) a 40 l vodíkové náplně je jednotka schopna 12 hodin provozu. Životnost jednotky je asi 2500 hodin při odběru nejvyššího možného proudu. Náhradní vodíkovou náplň je možno běžně dokoupit.

- Obě elektrody musí splňovat řadu důležitých kritérií. Mezi ně patří
- dobrá katalytická aktivita při nízkých teplotách za přítomnosti minima drahých kovů jako je platina,
 - vysoká poréznost, která umožňuje efektivní transport kyslíku ke katodě,
 - dobrá iontová vodivost na rozhraní elektroda-membrána,
 - dobrá hydrofobicita v okolí katalyzátoru, která zabraňuje pronikání vody s různými nečistotami do pórů.

Ideální elektrody by tedy měly umět využívat okolní vzduch ke získávání kyslíku, měly by pracovat účinně při dané teplotě a tlaku (současně by neměly vyžadovat zdroj vnějšího tepla) a bez vnějšího zvlhčování přiváděných plynů. Tyto podmínky splňují porézní uhlíkové elektrody potažené vrstvou platiny (0.5 mg/cm^3). Výkon odebíraný z 1 cm^2 je přibližně 0.15 W .

Elektrolytická membrána byla vyvinuta z polymeru na bázi uhlíku s příměsí síry (polymer na základě sulfonovaného styren/etylenbutylen/styrenu známého pod obchodním názvem Kraton G1650), který je o mnoho levnější než dřívější materiál Nafion a má velmi dobrou protonovou vodivost (0.1 S/cm). Chemická stabilita tohoto materiálu je však o něco horší než u perfluorovaných polymerů typu Nafion kvůli nižší disociační entalpii vazeb uhlíku a vodíku.

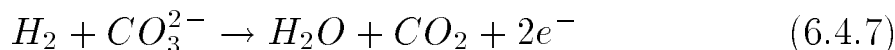
3. Články s kyselinou fosforečnou

Tyto články pod označením PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells) patří k teplým článkům, neboť pracují při 200°C . Např. Fuel Cells Corporation (USA) produkuje články, v nichž je palivem CH_4 , a jež poskytují výkon 200 kW . Ty kromě jiného slouží jako lokální zdroje pro skupinu domácností (v současné době asi na 80 místech v USA, Evropě a Japonsku). Jejich cena je doposud ovšem velmi vysoká (3000 USD/kW). Jsou velmi spolehlivé a během dlouhodobých experimentů pracovaly bez poruchy více než 9000 hodin, což je více než celý rok. Jejich elektrická účinnost je v základním cyklu vyšší než 40% a v případě recyklace vodní páry vznikající jako vedlejší produkt až 80% . Vyvinuté teplo lze rovněž využít pro ohřev užitkové vody či vytápění domácností.

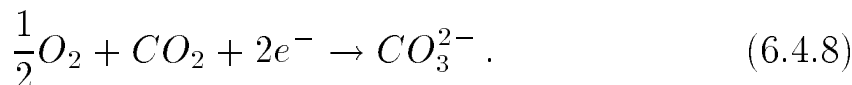
Chemické reakce uvnitř článku jsou prakticky stejné jako u článků s tuhými polymery.

4. Články s roztavenými uhličitany

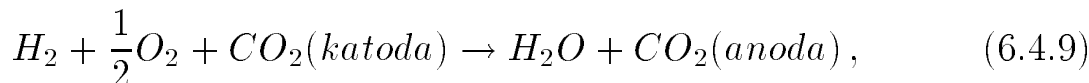
Schéma tohoto typu článků pod názvem MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells) je na obr. 6.4.2. Jedná se o články vysokoteplotní, pracující při teplotě blízké 600°C . Relativně vysoká teplota je nutná k tomu, aby se dosáhlo potřebné vodivosti elektrolytu sestávajícího z roztavených uhličitany draslíku a lithia v matici z tuhé směsi oxidů lithia a hliníku. To má ovšem i kladný dopad v tom, že elektrody nemusí být opatřeny katalyzátorem z ušlechtilých kovů, který jinak zajišťuje plynulý průběh oxidace a redukce. Palivem je v tomto případě zemní plyn. Chemická reakce na anodě je popsána rovnicí



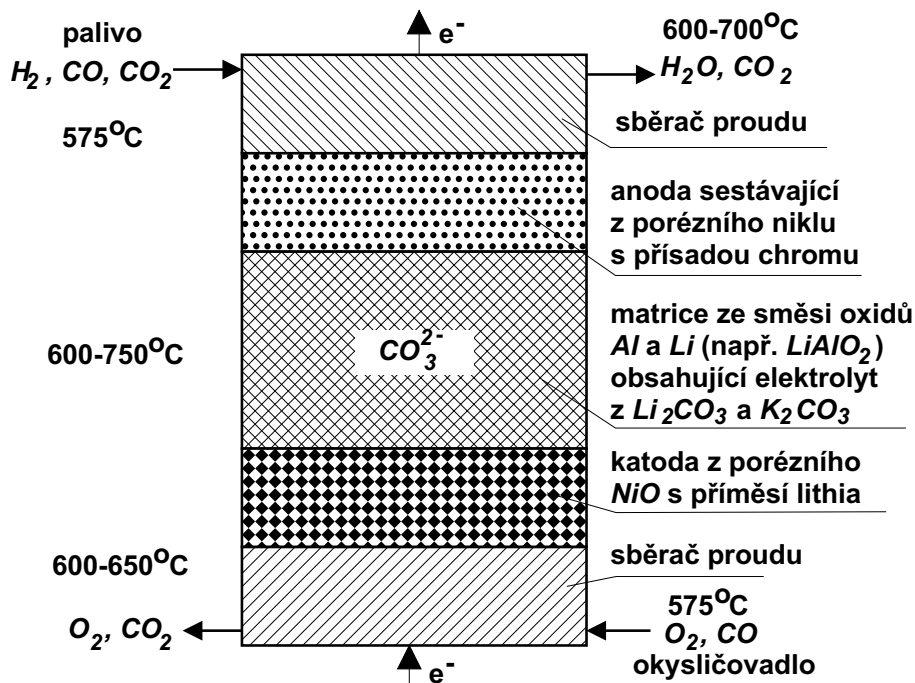
a na katodě



Výsledná reakce v článku má pak tvar



přičemž je nutno uvážit, že anionty CO_3^{2-} pronikají elektrolytem k anodě.

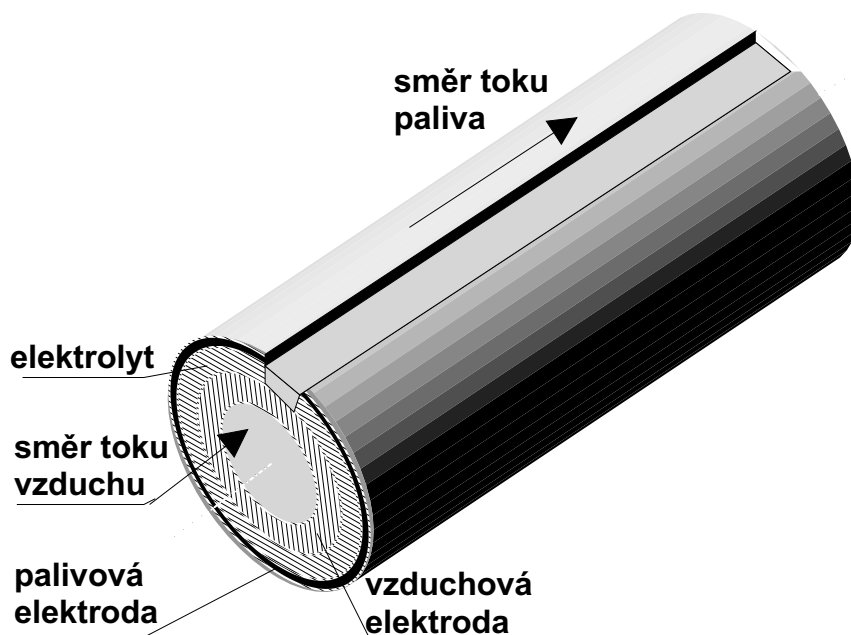


Obr. 6.4.2: Schéma článku s roztavenými uhličitany

V rovnovážném stavu je napětí článku závislé pouze na parciálních tlacích H_2 , O_2 a H_2O . Obvyklá praxe je taková, že CO_2 generovaný na anodě se přivádí zpět na katodu, kde je znovu spotřebováván; kromě převodu CO_2 od anody ke katodě je ovšem nutno zajistit i nezávislý zdroj tohoto plynu. Největší problém je návrh elektrod, které musí spolehlivě pracovat dlouhou dobu ve velmi agresivním a teplém prostředí vyvolávajícím korozi. Anoda bývá obvykle vyrobena z porézního niklu s přísadou chromu, katoda z porézního oxidu nikelnatého s příměsí lithia. V roce 1996 byla v Santa Clara v USA vybudována experimentální elektrárna s těmito články o výkonu 2 MW, jejíž elektrická účinnost se blíží 60%. V současné době již na světě existuje alespoň 12 firem, které se zabývají výzkumem a komercializací těchto článků.

5. Články s tuhými oxidy

Schéma tohoto typu článku pod názvem SOFC—Solid Oxide Fuel Cell je na obr. 6.4.3. Jedná se opět o vysokoteplotní článek, jehož pracovní teplota se pohybuje od 600–1000⁰ C.



Obr. 6.4.3: Trubkový palivový článek s tuhými oxidy

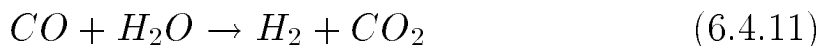
Uvažme nejprve, že vodíkové palivo není přímo dostupné a dostupnější palivo jako CH_4 se nejprve musí rozložit na CO_2 a vodík. Tato skutečnost je příčinou nárůstu nákladů na 1 kW výkonu. V článku s tuhými oxidy pracujícím při teplotách do 1000⁰ C dochází k vnitřnímu rozkladu CH_4 bez nutnosti samostatné jednotky pro separaci vodíku. Další výhodou je, že tuhý elektrolyt není tak agresivní jako tekutý (velmi se snižuje hrozba koroze). Vysoké teploty rovněž podporují kinetiku probíhajících reakcí bez nároků na přítomnost katalyzátorů, na druhé straně však představují silné omezení s ohledem na výběr vhodných materiálů.

Materiály pro elektrolyt jsou vesměs keramické, jako například tuhá směs oxidů yttria a zirkonu. Problémem ještě zůstává materiál elektrod. V současnosti se užívá speciálně upravených slitin některých kovů a jejich oxidů (Ni , Cr apod.), je však třeba dořešit problémy související s jejich porézností a iontovou vodivostí na rozhraní elektroda—tuhý elektrolyt. I tak se však ukazuje, že by tento typ článku měl patřit k nejeftivnějším, a produkované teplo by mohlo být navíc dobře využito. Firma Westinghouse již vyvinula 25 kW jednotku a na dalším vývoji pracuje ve světě zhruba dalších 20 firem. Elektrická účinnost blíží 60%. Tím, že článek pracuje s tuhými materiály, není kladeno žádné omezení na jeho

tvar. Používá-li se jako palivo vodík, je celková chemická reakce v článku popsána rovnicí



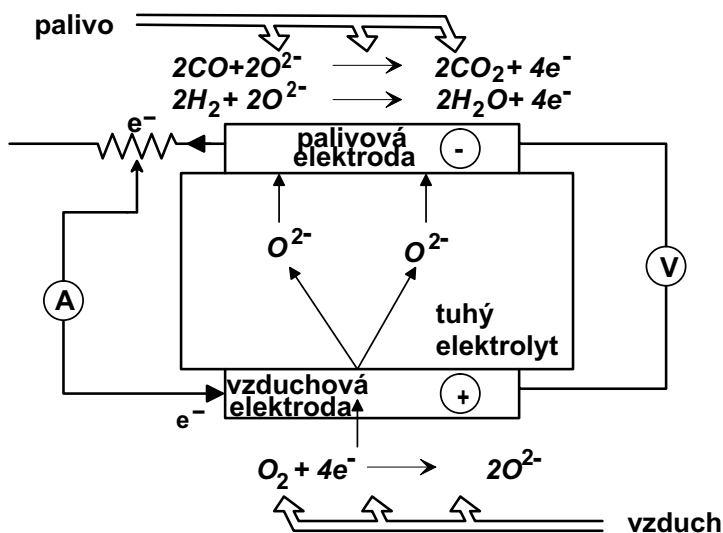
je-li palivem CO , zní globální rovnice



a konečně pro případ metanu



Rovněž je možno použít jako palivo vodní plyn. Schéma chemických reakcí je patrné z obr. 6.4.4.



Obr. 6.4.4: Schéma chemických reakcí v článku s tuhými oxidy

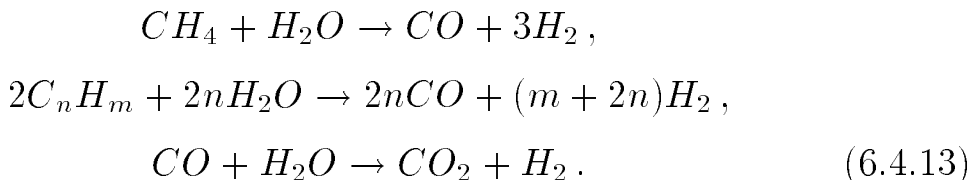
Energetický systém založený na palivových článcích

Palivový článek obvykle bývá jen jednou z částí energetického systému. Ten navíc sestává z jednotky na zpracování paliva, z energetického kondicionéru a případně z další jednotky, která je schopna zužitkovat vytvořené teplo. Návrh celého systému zahrnuje nejen optimalizaci samotného článku, ale i dalších součástí, přičemž šířka možností návrhu je omezena danou aplikací. Roli zde hraje například typ paliva, hladina emisí, využití odpadního tepla (lze využít k další přeměně na elektřinu, nebo na výrobu páry), požadovaná úroveň výkonu, objemová a hmotnostní kritéria (m^3/kW nebo kg/kW). Rozeberme si nyní podrobněji některé z těchto aspektů.

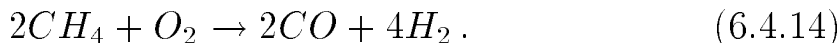
Zpracování paliva závisí jak na typu paliva, tak na technologii samotného článku. Technologie článku vymezuje, které složky jsou v palivu

žádoucí a které nikoli. Tak například u článků PAFC se vyžaduje vysoký obsah vodíku v palivu, přičemž obsah CO nesmí přesahovat 5%. Články MCFC a SOFC jsou naopak schopny oxid uhelnatý, jenž vzniká během reakce v článku, dále využívat. Navíc jsou oba tyto články schopny využívat i metan CH_4 . Znečištění paliva jinými přísadami je rovněž limitováno, a ovlivňuje proto způsob čisticího procesu. Pokud je palivem článku čistý vodík (např. z tlakových lahví), nemusí být jednotka pro zpracování paliva přítomna, nebo slouží pouze jako zdroj paliva. Ve většině energetických aplikací je však nutno vodík vyrábět z jiných paliv a potřebným způsobem ho čistit.

Uvažujme například zemní plyn. Ten obsahuje síru, která je vázána v tzv. odorantech (merkaptany, disulfidy a jiné látky, které se přidávají proto, aby signalizovaly jeho únik). Přítomnost síry v článku je však velmi nežádoucí (zejména s ohledem na průběh reakcí), proto je nutno ji odstranit. To se provádí buď pomocí látky obsahující oxid zinku nebo pomocí hydrodesulfurizérů. Oxid zinku je schopen vázat síru z merkaptanů a disulfidů, pokud se však použijí odoranty na bázi tetrahydrothiofenu (známého jako thiofan), je nutno předem užít hydrodesulfurizérů. Ten za přítomnosti vodíku přemění thiofan na H_2S , který se již snadno odstraní zmíněným ZnO při teplotě kolem $400^{\circ}C$. Sirných příměsí zbavený zemní plyn se pak v parním reaktoru rozkládá na vodík a oxid uhelnatý podle reakcí



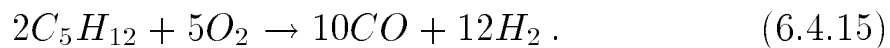
Kromě zemního plynu mohou být v parním reaktoru rozkládány další lehké uhlovodíky. Např. oxidační reakce pro metan má tvar



Používá-li se zemní plyn pro získávání paliva pro PAFC, musí být dodávané palivo další oxidací zbaveno CO (smí ho tam být nanejvýš 1–2%, aby nedošlo k otravě katalyzátorů). Tato oxidace se provádí jedno nebo dvoustupňově, podle hladiny CO a probíhá podle třetí rovnice v (6.4.13).

Pokud se palivo získává z kapalných látek jako je nafta, různé oleje apod., užívají se většinou oxidační reaktory. Ty jsou založeny na nekatalytické dílčí oxidaci látky proudem kyslíku v prostředí obsahujícím vodní

páru při teplotách 1300–1500⁰ C. Taková reakce pro pentan má tvar



Reakce je exotermická a nezávisí téměř na velikosti tlaku.

Pro získávání vodíku lze rovněž využít uhlí. Příslušný proces se nazývá plynofikace. Existují celkem tři způsoby, z nichž každý je založen na dílčí oxidaci uhlí prostřednictvím vodní páry a kyslíku. Teploty, při nichž se tento proces realizuje, se pohybují podle typu reakce od 400–1400⁰ C. Potřebné teplo se získává dílčí oxidací uhlí. Zplyňovače uhlí ovšem kromě čistého paliva produkují i řadu nežádoucích zplodin jako H_2S , COS , NH_3 , HCN , dehet, oleje a fenoly. Hladina znečištění je závislá na složení uhlí a typu zplyňovače. Vzniklý plyn obsahující nečistoty lze čistit za studena a za tepla. Častěji se využívá studená technologie, u níž navíc existuje řada variant (tím má návrhář energetického systému obsahujícího palivové články volnější ruce; spolehlivě však odstraňuje jen sloučeniny obsahující síru). Horká technologie je spíše ještě ve stadiu vývoje, zdá se však být účinnější a univerzálnější, zejména ve spolupráci s technologií studenou. Tak například dehet, oleje, fenoly a dusičnany lze odstranit ochlazením paliva ve vodě, po němž následuje jeho znovuo-hřátí. V každém případě však takové technologie výrazně zvyšují složitost celého systému a náklady na jeho provoz.

Kondicionér zajišťuje stabilitu dodávané elektrické energie, řízení proudu a případně konverzi stejnosměrného proudu na střídavý. Důležitým hlediskem je zde účinnost přeměny energie a využití zde vznikajících ztrát. Účinnost kondicionéru bývá 94–97%.

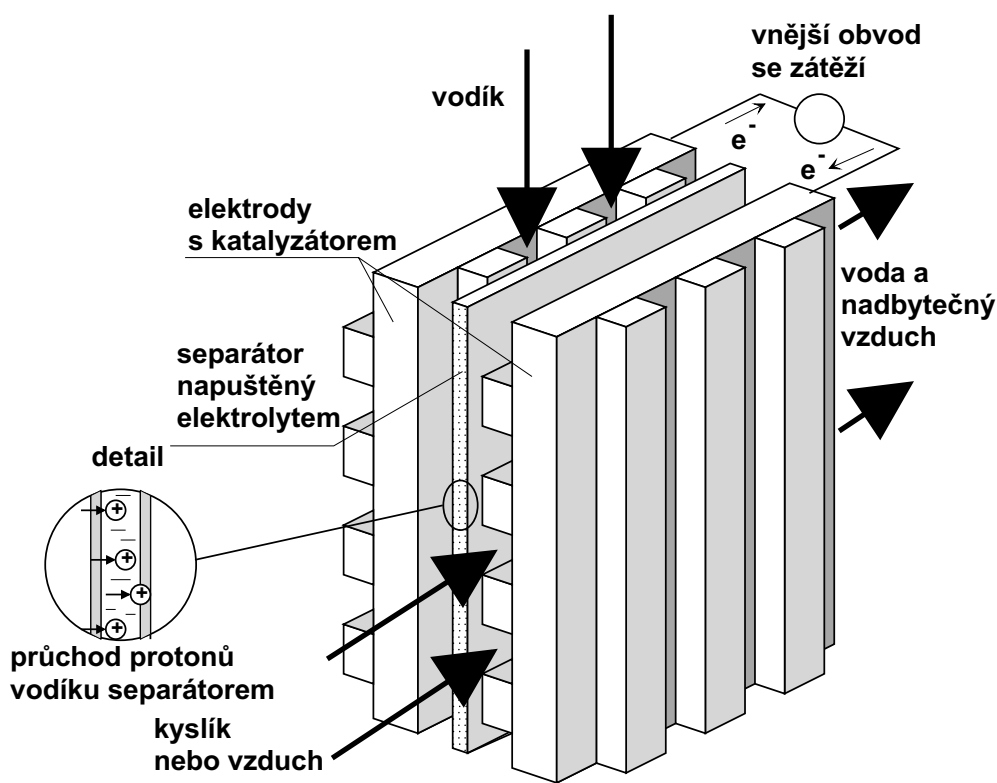
Posledním požadavkem na energetický systém obsahující palivové články je možnost využití vznikajícího tepla. Toto teplo je schopné produkovat páru nebo ohřívat vodu, nebo může být přeměněno na elektřinu pomocí plynové turbíny či parním cyklem. Tak například u PAFC, který pracuje při teplotách kolem 250⁰ C, lze produkovat páru o tlaku nejvýše 14 atm. To je bez ohledu na nízké teploty pro parní cyklus velmi málo. Na druhé straně teplo z SOFC pracujícího při teplotě kolem 1000⁰ C je schopno vyprodukovat páru o teplotě 540⁰ C, což bohatě na provoz parního cyklu stačí. Nevýhodou je, že takto získaného tepla či páry z článků běžných velikostí a výkonů je málo.

Využití palivových článků v elektromobilech

V současné době se téměř všechny větší firmy, které se zabývají výrobou automobilů, zajímají o možnost alternativního pohonu. Je tomu

tak proto, že zásoby ropy, z níž se připravuje klasické palivo, jsou omezené, a i přes značný pokrok v likvidaci škodlivých zplodin spalování se do životního prostředí dostává jejich nemalá část. Ilustrujme si dosažený pokrok na automobilu NECAR (New Electric CAR), který v loňském roce předvedla automobilka Daimler-Benz. Jedná se ovšem o automobil pro výzkumné účely; hromadné nasazení takových automobilů se nepředpokládá dříve než před rokem 2010. Pohon automobilu je založen na elektrické energii dodávané z palivových článků. Vedlejším produktem spalování je pouze vodní pára.

Palivem článků je vodík, který je uložen ve dvou tlakových nádržích na střeše vozidla. Odtud je hadicí rozváděn do článků. Vzduch je do článků vháněn pomocí kompresorů. Celý proces je řízen silnoproudým elektronickým systémem. Nákres článku je na obr. 6.4.5.



Obr. 6.4.5: Schéma palivového článku pro pohon automobilu NECAR

Parametry vozu: nejvyšší rychlost 110 km/hod, dojezd na jednu náplň nádrže 250 km, pohon realizován asynchronním trojfázovým motorem 33 kW. Obsah nádrží 2×140 l při tlaku 250 barů, hmotnost 80 kg. Délka vozidla 4659 mm, šířka 1870 mm, výška 2380 mm. Výkon článků 50 kW, napětí 180–280 V (články tvoří dvě kompaktní jednotky). Hmotnost článků je 300 kg (6 kg/kW).