

Palivový článok – alternatívny zdroj energie

Palivové články ponúkajú čistou technológiu výroby elektrickej energie s vysokou účinnosťou a ako vedľajší produkt výroby elektrickej energie produkujú využiteľné teplo. Sú alternatívou súčasných malých a stredných zdrojov na fosílna palivá, v budúcnosti by mohli predstavovať konkurenciu aj väčším elektrárenským zdrojom. Uplatnenie môžu nájsť aj ako náhrada za batérie a akumulátory.

História palivových článkov

Princíp palivových článkov je známy od polovice 19. storočia. Princíp funkcie palivového článku objavil v roku 1838 švajčiarsky vedec Christian Friedrich Schönbein.

Na základe článku, ktorý Schönbein publikoval v jednom z odborných časopisov danej doby, zostavil v nasledujúcom roku prvú funkčnú koncepciu palivového článku waleský sudca, vedec a vynálezca sir Wiliam Robert Grove.



Obr. 1 Christian Friedrich Schönbein



Obr. 2 Wiliam Robert Grove

Grove ako prvý zistil, že elektrickú energiu možno vyrábať procesom, ktorý je inverzný k elektrolyze vody. Platínové elektródy, ktoré vo svojom článku použil, boli v sklenených rúrkach dolným koncom ponoreným v elektrolyte – kyseline sírovej. Horná časť rúrok bola uzatvorená a vyplňajú ju kyslík a vodík. Palivový článok siru Grova produkoval elektrické napätie približne 1 V. (Porš, 2009).

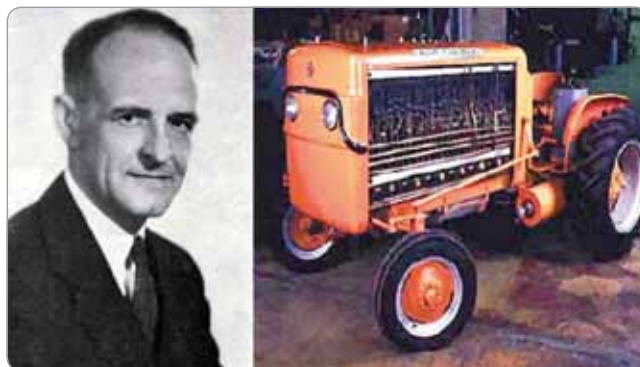
Termín palivový článok bol však prvýkrát použitý až v roku 1889, keď sa Charls Langer a Ludwig Mond pokúsili vytvoriť funkčný článok pracujúci so vzduchom a svietiplynom.

Prvé úspešné zariadenie vyvinul v roku 1932 Francis Thomas Bacon. Tento článok na kyslíkovo-vodíkovej báze využíval niklové elektródy. V spolupráci s kolegami potom Bacon v roku 1959 zostrojil zariadenie s palivovým článkom, ktoré poháňalo stroj na zváranie.



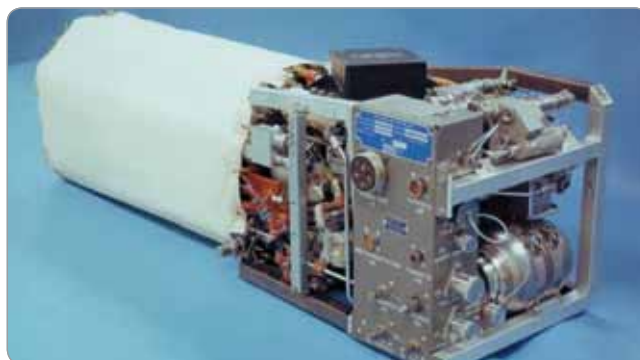
Obr. 3 Francis Thomas Bacon a jeho palivový článok

V tom istom roku Hary Karl Ihring skonštruoval a verejnosti predviedol traktor s výkonom 20 konských síl, poháňaný alkalickým palivovým článkom s výkonom 15 kW. (Kúrthy, 2009)



Obr. 4 Hary Karl Ihring a jeho traktor poháňaný palivovými článkami

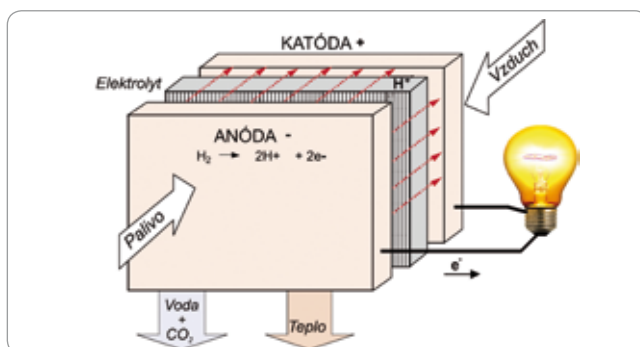
Prvá významná aplikácia vznikla v 50. až 60. rokoch 20. storočia, keď NASA v spolupráci so spoločnosťou Pratt & Whitney použila palivové články ako zdroj energie vo svojom vesmírnom programe pre misie Apollo a Gemini. (Luby, Hecl, 2004)



Obr. 5 Palivový článok zabezpečujúci energiu vesmírnych misií Apollo

Funkcia palivových článkov

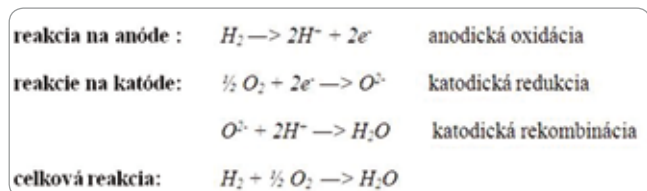
Palivový článok je transformátor chemickej energie na energiu jej priamou premenou. Konštrukčne a funkčne je palivový článok porovnateľný s galvanickým, avšak existuje medzi nimi jeden zásadný rozdiel. Batéria slúži na uchovávanie elektrickej energie. Maximálna dostupná energia v batérii je určená množstvom chemických reaktantov, ktoré sa v samotnej batérii nachádzajú. Keď sa tieto látky spotrebujú (batéria sa vybije), prestane sa uvoľňovať elektrická energia. Palivový článok je však zariadenie na priamu premenu chemickej energie obsiahnutej v palive na energiu elektrickú, jeho životnosť je obmedzená iba dodávkou paliva a životnosťou jednotlivých komponentov. Princiálnu schému palivového článku možno vyjadriť nasledujúcim obrázkom.



Obr. 6 Princiálna schéma palivového článku

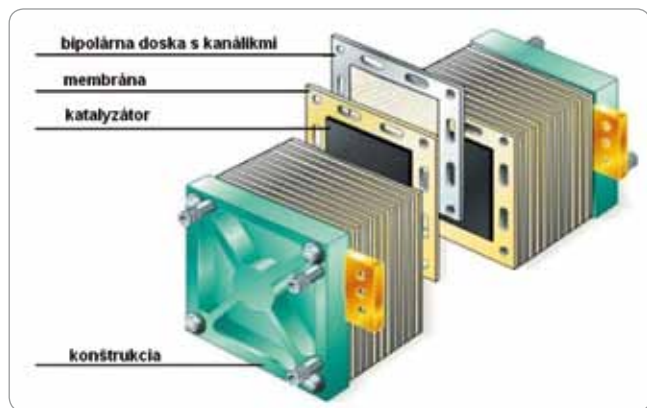
Pod pojmom energia tu rozumieme elektrickú, ale aj tepelnú energiu, na rozdiel od obvyčajného horenia, pri ktorom sa uvoľňuje iba tepelná energia. Palivo, napríklad vo forme vodíka, sa privádza na anódu palivového článku. Tu sa atóm vodíka zbavuje svojho jediného elektrónu, čím sa mení na kladný ión H^+ . Na anóde dochádza k opačnému procesu za prítomnosti kyslíka, kde sa atóm kyslíka zlučuje s dvoma elektrónmi a vzniká anión O^{2-} . H^+ potom migruje prostredníctvom elektrolytu smerom ku katóde, avšak inou cestou, elektrickým vodičom. Tým vzniká elektrický prúd v uzatvorenom obvode. Katióny vodíka sa na katóde zlučujú s kyslíkovými aniónmi, čím sa dokončí chemická reakcia premeny vodíka a kyslíka na vodu. (Porš, 2002)

Podľa Lubyho a Hecla (2004) možno chemické reakcie prebiehajúce v palivových článkoch popísať nasledujúcimi chemickými rovnicami:



Obr. 7 Chemické reakcie prebiehajúce v palivovom článku

Palivový článok sa teda skladá z dvoch elektród oddelených elektrolytom alebo iónovomieničovou membránou. Jednotlivé palivové články sa skladajú do stackov (zväzkov), jednotlivé články sú od seba oddelené bipolárnymi doskami.

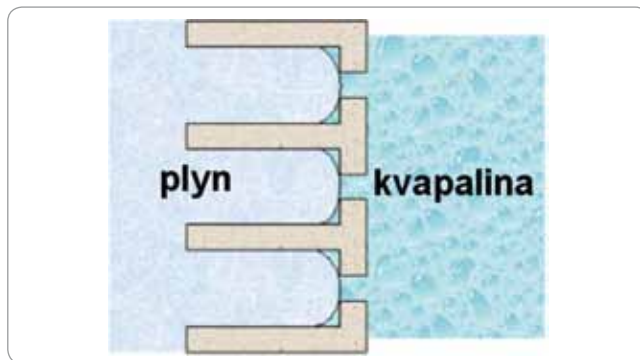


Obr. 8 Typická konštrukcia palivového článku

Na elektródach dochádza k chemickým reakciám palivového článku. Palivo aj oksylichovadlo sa prevažne privádzajú vo forme plynu, a preto je dôležitá čo najväčšia kontaktná plocha elektród. Elektróda a palivo sú zároveň v kontakte s elektrolytom, a tak vzniká oblasť, kde sa dotýkajú tri fázy. Na tejto hranici sa vodíkové elektróny uvoľňujú a katióny putujú do elektrolytu, resp. sa opätovne zlučujú s atómami kyslíka, následkom čoho vzniká voda. Z tohto dôvodu majú elektródy pórovitú štruktúru, pretekaniu elektrolytu cez ich jadro zabraňuje tlak dodávaného plynu. (Porš, 2002)

Schematický rez elektródou je zobrazený na nasledujúcom obrázku.

Katalyzátory majú za úlohu spúšťať alebo urýchľovať chemické reakcie v palivovom článku, pričom sa reakciami samy neopotrebovávajú. Ideálnymi materiálmi na aktivitu vodíka (ktorý je najviac používaným palivom palivových článkov) v kyslom prostredí sú platina, paládium a nikel. Platina je tiež najvhodnejším katalyzátorom na redukciu kyslíka. Aby palivový článok fungoval správne, na katalyzátore je potrebná vrstva platiny s obsahom 4 až 8 mg/cm². Takéto množstvo platiny však článok výrazne predražuje, preto sa z ekonomického hľadiska pristupuje k použitiu platiny nanosenej na uhlíkový základ, čím sa jej obsah zníži na 0,1 mg/cm². V súčasnosti sa pri výrobe palivových článkov začínajú využívať aj biotechnológie, keď sa namiesto kovových katalyzátorov využívajú biologické enzýmy. (Kürthy, 2009)



Obr. 9 Rez elektródou

Bipolárne dosky sú umiestnené medzi jednotlivými článkami, pričom tvoria zväzky. V prvom rade umožňujú kontakt medzi jednotlivými článkami, a tak vedú elektrický prúd. Chladiace kanálky odvádzajú odpadové teplo z chemických reakcií. Palivové kanálky slúžia na prepúšťanie paliva k elektródam článkov a zároveň odvádzajú odpadové produkty reakcií. Bipolárne dosky slúžia v neposlednom rade aj na celkové utesnenie priestorov medzi článkami vo zväzku. Vyrábajú sa z uhlíkových polymérov, prípadne z grafitu. Grafit sa vyznačuje výbornou elektrickou vodivosťou a odolnosťou proti korózii, avšak jeho pórovitá štruktúra umožňuje prestup plyného paliva. Z tohto dôvodu sa do grafitu pridávajú prímеси, ktoré zvyšujú jeho nepriepustnosť, čo však zvyšuje náklady na výrobu. Využíva sa napr. polypropylén, do ktorého sú pridané čiastočky grafitu na zlepšenie elektrickej vodivosti. Grafit tvorí 50 až 80 % hmotnosti polyméru, čím sa, samozrejme, aj menia jeho vlastnosti, napr. zvyšuje sa jeho krehkosť. So zvyšujúcim sa obsahom grafitu v polyméri sa zvyšuje aj náročnosť jeho výroby, a teda aj konečná cena. (Kürthy, 2009)

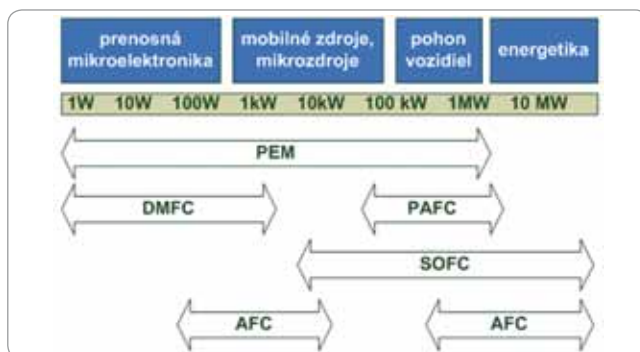
Elektrolyt je elektrický izolátor umožňujúci tok voľných elektrónov po obvode palivového článku. Nachádza sa medzi anódou a katódou a vytvára medzi nimi elektrické napätie. Ak je palivom vodík, dosahuje toto napätie približne 1,23 V. Pri výbere elektrolytu sa hlavný dôraz kladie na jeho dielektrickú schopnosť a tiež na jeho odolnosť proti degradácii pri použití uhlíkovodíkového paliva.

Palivové články sa podľa druhu použitého elektrolytu rozdeľujú na šesť základných typov, ktoré sú podľa pracovnej teploty rozdelené do troch kategórií.

Typ článku	Protónová membrána PEMFC	Alkalický článok AFC	Článok s H_2PO_4 PAFC	Článok s uhlíkatými MCFC	Článok s tuhým oxidom SOFC
Elektrolyt	tuhý polymér	hydroxid draselný	kyselina fosforečná	uhlíkatý litný	keramika, oxidy ytria
Nosič náboja	H^+	OH^-	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
Prac. teplota	60 - 90 °C	80 - 120 °C	~ 200 °C	~ 650 °C	700 - 1000 °C
palivo	čistý H_2	čistý H_2	čistý H_2	H_2, CO, CH_4	H_2, CO, CH_4
el. účinnosť	35 - 45 %	45 - 65 %	40%	> 50%	> 50%
výkon	5 - 250 kW	< 12 kW	do 200 kW	20 kW - 20 MW	20 kW - 20 MW
aplikácia	pohon automobilov stacionárne zdroje mobilné zdroje	vesmírny program armáda	logenerácia	logenerácia	logenerácia
výrobca	Ballard (Kanada) Nuvera (Taliansko) UTC, H Power (USA)	Energy Partners (USA) UTC (USA), Zetec (GB) Astrod Energy (Kanada)	ONDI (Japonsko) FUJII-Toshiba (Jap.)	FCE (USA), IHI (Jap.) MTU (Nemecko) Aisando (Taliansko)	Siemens (Nemecko) Sulzer Hexis (Švajč.) Mitsubishi (Jap.)

Obr. 10 Rozdelenie palivových článkov

Palivové články na základe svojej štruktúry a technológie práce dosahujú rôzne výkony, a teda možno stanoviť rozsah ich použitia, ako to definuje Luby. Hecl (2004).



Obr. 11 Výkonové možnosti jednotlivých typov palivových článkov

Mnohé vlastnosti palivových článkov ich pasujú do pozície vhodných zariadení na premenu energie. Medzi najpodstatnejšie vlastnosti sa radí vysoká efektívnosť a veľmi nízka environmentálna záťaž. Elektrická účinnosť palivových článkov dosahuje podľa Porša (2002) 40 až 55 % nižšej výhrevnej hodnoty (LHV) paliva. Hybridné systémy, ktoré kombinujú palivový článok s parnou turbínou, dosahujú efektívnosť viac ako 70 % LHV. Vysoká efektívnosť palivových článkov je prakticky nezávislá od ich výkonu.

Súčasný palivový článok uvoľňuje množstvo regulovaných emisií na hranici merateľnosti detekčných prístrojov. Palivové články nepotrebujú na svoju činnosť pohyblivé časti, preto svojou prevádzkou nezaťažujú okolie hlukom.

Výhody palivových článkov ✓	Nevýhody palivových článkov ✗
<ul style="list-style-type: none"> - priama premena energie - žiadne pohyblivé časti - tichá prevádzka - minimálna doba servisných odstavov - palivová flexibilita - modulárna inštalácia - bezobslužná prevádzka - vysoká životnosť a spoľahlivosť zariadení 	<ul style="list-style-type: none"> - vysoké obstarávacie náklady - chýbajúca infraštruktúra

Obr. 12 Porovnanie výhod a nevýhod palivových článkov

Aplikácie palivových článkov

Na základe vlastností uvedených v predchádzajúcej kapitole sú hlavné aplikácie palivových článkov hlavne v oblasti stacionárnych zdrojov, pohonu dopravných prostriedkov a autonómnych zdrojov energií. Skutočnosť, že vysoká účinnosť palivových článkov je v podstate nezávislá od inštalovaného výkonu, sa s prehľadom využíva pri návrhu stacionárnych zdrojov s palivovými článkami. O malých stacionárnych jednotkách pre individuálnych používateľov sa v lokalitách bez pripojenia k rozvodnej sieti uvažuje ako o alternatíve motorových generátorov, pretože ponúkajú tichú a efektívnu prevádzku. Pri rastúcich cenách palív sú vyššie prvotné investície vyvážené úsporami pri prevádzke. V Európe sú takmer všetci používatelia pripojení na rozvodnú sieť, preto budú malé stacionárne zdroje s palivovými článkami vnímané, pravdepodobne, skôr ako alternatíva domáceho bojlera, ktorý popri príprave teplej vody pokryje časť elektrickej spotreby domácnosti ako pridanú hodnotu.

Väčšie jednotky pre združenú výrobu elektrickej energie a tepla, založené na palivových článkoch sú určené na distribuovanú výrobu energie v blízkosti jej spotreby. Môžu slúžiť ako jednoduchá náhrada mestskej teplárne s dostatočnou kapacitou na produkciu elektrickej energie, ale aj na nepretržité energetické zásobovanie prevádzok, ktoré požadujú vysokú energetickú bezpečnosť. Tieto jednotky sú najčastejšie napájané zemným plynom.



Obr. 13 Stacionárny zdroj s palivovým článkom

Už od konca 80. rokov minulého storočia pracujú všetky renomované automobilky na vývoji palivových článkov ako ekologickej a spoľahlivej náhrady spaľovacieho motora pre automobily a iné dopravné prostriedky. Cennou vlastnosťou palivového článku, ktorú experimentálne dopravné prostriedky využívajú, je skutočnosť, že ako palivo možno využívať takmer všetky uhľovodíky. Pre automobilový priemysel tak prichádzajú do úvahy dnes bežne dostupné palivá,

ako nafta, benzín, LPG, v budúcnosti po vybudovaní potrebnej infraštruktúry sa počíta s presadením vodíka.



Obr. 14 Automobily poháňané palivovými článkami.

Palivové články majú veľký potenciál ako zdroj energie. Na jeho rozvinutie však potrebujú ešte určitý čas a obrovské úsilie výskumných tímov, aby sme sa s týmto zdrojom energie stretávali pri svojich každodenných činnostiach.

Literatúra

- [1] Kürthy, M.: Palivový článok jako alternativní zdroj elektrické energie. Diplomová práca. Brno: Vysoké učení technické 2009.
- [2] Luby, P. – Hecl, V.: Súčasný stupeň rozvoja a vývoja palivových článkov. In: Magazín energia, 2004, č. 2.
- [3] Porš, Z.: Palivové články. Ústav jaderného výskumu Řež, Divize jaderné bezpečnosti a energetiky, 2002.

Ing. Ján Adamec, PhD.

HMH, s.r.o.