

Technológia palivových článkov v automobiloch

Fuel cell technology in vehicles

Milan Biroš¹, František Ďurovský²

¹milan.biros@tuke.sk, ²frantisek.durovsky@tuke.sk

^{1,2}Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Letná 9, Košice, Slovenská Republika

Abstrakt—Článok sa zaoberá rozborom činnosti a princípom fungovania rôznych druhov palivových článkov a vhodnosťou ich využitia ako zdroja energie na palube vozidla. Taktiež v stručnosti predstavuje niekoľko sériovo vyrábaných vozidiel.

Kľúčové slová—palivový článok, FCV

Abstract—The article deals with the operation and the analysis of different kinds of fuel cells and their applicability in passenger vehicles. In addition, several serial manufactured vehicles with fuel cells are shortly introduced.

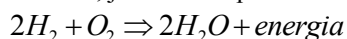
Keywords—fuel cell, FCV

I. ÚVOD

Palivový článok (Fuel Cell - FC), vynájdený už v roku 1854 Williamom Grove-om, konvertuje chemickú energiu priamo na elektrickú. Najznámejším je vodíkový palivový článok, v ktorom je energia produkovaná oxidáciou vodíka. Oxidačný proces prebieha pri oveľa nižších teplotách, ako sú teploty vznikajúce pri jeho spaľovaní, takže palivový článok neprodukuje oxidy dusíka spojené s činnosťou motora s vnútorným spaľovaním (Internal Combustion Engine - ICE) spaľujúcich vodík. Palivo FC je uložené v zásobníku mimo FC, takže na rozdiel od batérií, výkon a kapacita článku nie sú na sebe závislé [1].

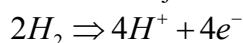
Elektrochemická reakcia, prebiehajúca v článku a produkujúca elektrickú energiu a teplo, je v podstate reverzná elektrolyza. Existuje niekoľko druhov FC, avšak princíp ich činnosti je rovnaký. Hlavným rozdielom bývajú chemické vlastnosti elektrolytu.

Celkovú elektrochemickú reakciu, odohrávajúcu sa v palivovom článku, je možné zapísať ako:



FC sa skladá zo 4 hlavných častí: anóda, katóda, elektrolyt a externý obvod. Reakcia medzi kyslíkom a vodíkom, ktorá generuje elektrický prúd je pre rôzne typy palivových článkov odlišná. V FC s kyselinovým elektrolytom sú elektróny a protóny (H^+) uvoľňované z vodíkového plynu, ionizujúcom na anóde. Uvoľnené elektróny pretekajú externým obvodom na katódu, zatiaľ čo protóny prestupujú elektrolytom. Táto rekombinácia generuje elektrický prúd v externom obvode. Súčasne sa na katóde vytvára voda ako výsledok reakcie medzi elektrónmi z externého obvodu a protónmi z elektrolytu.

Reakciu na anóde je možné zapísať ako:



a na katóde



Kyselinové elektrolyty a určité polyméry, ktoré obsahujú voľné ióny H^+ , sa často nazývajú ako polymérové membrány (PEM – Proton Exchange Membranes). Zvyšujú účinnosť článku, pretože umožňujú prestup výhradne protónov H^+ . V prípade, ak by elektrolyt umožňoval aj prestup elektrónov, FC by neprodukoval elektrický prúd.

Prúd produkovaný FC je veľmi malý v dôsledku malej kontaktnej plochy medzi elektródami, elektrolytom a plynom. Ďalším problémom je vzdialenosť elektród. Na zvýšenie účinnosti FC a maximalizovanie kontaktnej plochy je potrebné použiť tenkovrstvový elektrolyt s plochými pórovitými elektródami pre prestup elektrolytu a plynu (vzduchu) [2].

Napätie jedného článku závisí od použitej technológie. Podľa [1] je napätie väčšiny PEMFC nižšie ako 1,16 V. Pre využitie v automobile je preto nutné ich spájať do batérií (tzv. stack). Články sa zapájajú sériovo. Pri navrhovaní stacku je nutné zabezpečiť niekoľko podmienok:

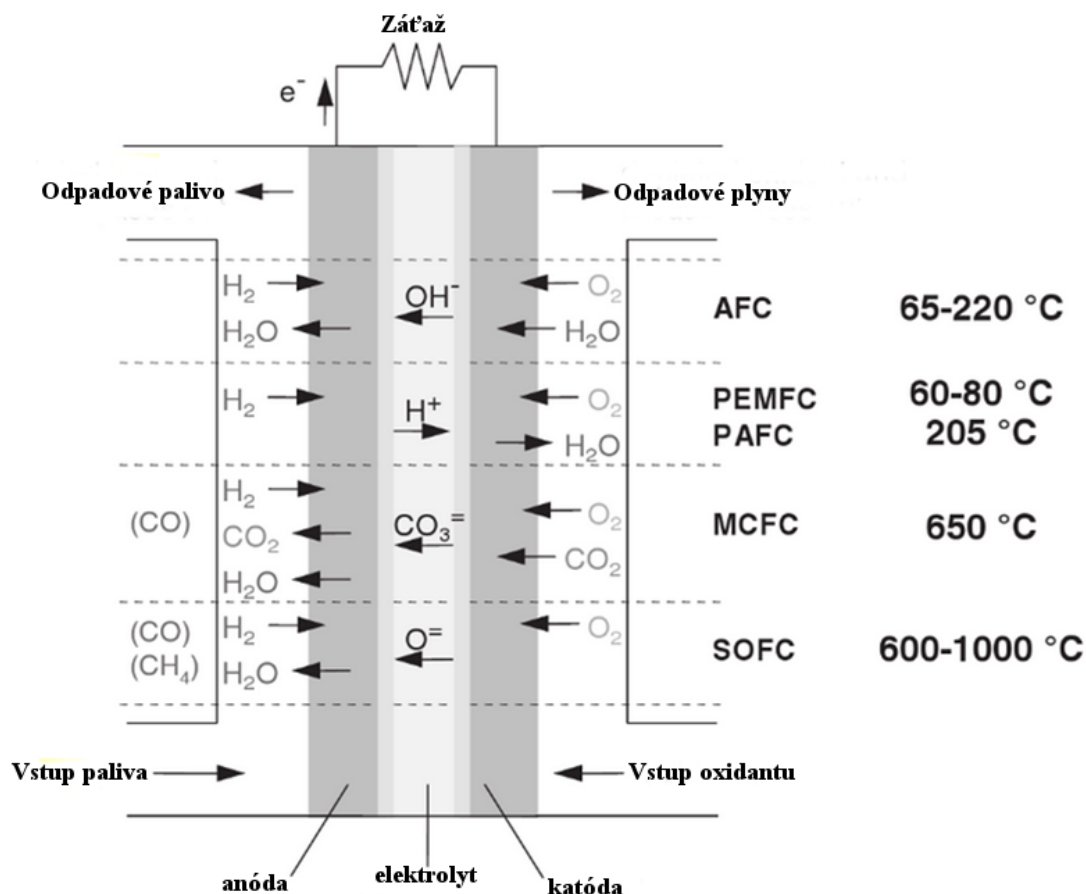
- rovnakú distribúciu reaktantov do a vnútri každého článku,
- udržiavanie teploty každého článku na optimálnej úrovni,
- zamedzenie únikom reaktantov,
- mechanickú stabilitu.

Dodržanie týchto podmienok je kľúčové, pretože výkon celého stacku je viazaný na článok s najnižším výkonom [3].

Palivové články sa líšia pracovnými teplotami, účinnosťou, aplikáciami a cenou. V zásade ich je možné rozdeliť do 6 hlavných skupín (Obrázok 1):

- Palivové články s alkalickým elektrolytom (AFC – Alkaline Fuel Cell),
- Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell),
- Palivové články s tuhými oxidmi (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell),
- Palivové články s tavenými uhličitami (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell),
- Palivové články s polymérovou membránou (PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell),
- Metanolové palivové články (DMFC – Direct Methanol Fuel Cell).

(0.2)



Obrázok 1 Princíp činnosti rôznych druhov palivových článkov [21]

Vozidlá s palivovými článkami majú podľa prognóz veľkú šancu stať sa vozidlami budúcnosti. Veľkosť molekuly vodíka je omnoho menšia ako mriežka bežných materiálov (napríklad kovov), takže veľmi ľahko dochádza k jeho úniku, čo spôsobuje vývojárom viacero problémov. Navyše je vysoko zápalnou látkou [20] a jeho vysoká koncentrácia vo vzduchu dokonca výbušná. Práve táto skutočnosť môže vzbudzovať obavy. Na druhej strane, súčasné technológie uskladnenia vodíka na palube vozidla už získali dôveru výrobcov automobilov vďaka čomu sú FCV dostupné už dnes. V súčasnosti je preto hlavnou úlohou vývojárov je zvýšiť ich účinnosť a životnosť. Životnosť sa zvykne definovať ako doba, za ktorú palivový článok stratí 10% výkonu. Podľa predstáv Amerického ministerstva pre energiu by mala dosahovať aspoň 5000 hodín, čo je ekvivalent 150 000 míľ (resp. takmer 250 000 km) [4].

Pre zistenie životnosti FCEV v reálnej premávke bola vypracovaná štúdia, do ktorej sa zapojili 4 tímy:

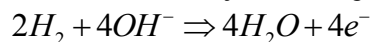
- Daimler, BP,
- GM, Shell,
- Chevron, UTC Power, Hyundai-Kia,
- Ford, BP.

Testované boli dve generácie FC. Prvá generácia (2003-2005) mala najvyššiu životnosť 1 807 hodín, avšak priemer

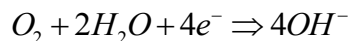
bol iba 821 hodín. Pri druhej generácii (2005-2007) už bola dosiahnutá životnosť 2 521 hodín, zatiaľ čo priemer bol 1 062 hodín [5].

II. PALIVOVÝ ČLÁNOK S ALKALICKÝM ELEKTROLYTOM

AFC pri produkcii elektrickej energie využíva ako elektrolyt kvapalný hydroxid draselný (KOH). Na anóde prebieha kombinácia 2 molekúl vodíka so 4 zápornými hydroxylovými iónmi, pričom vznikajú 4 molekuly vody a 4 elektróny. Túto oxidačnú reakciu je možné zapísať ako:



Na katóde sa zlúčia 2 molekuly vody s molekulou kyslíka, absorbujú 4 elektróny a vytvoria záporné hydroxylové ióny. Túto redukčnú reakciu je možné zapísať ako:



Pracovná teplota AFC sa pohybuje medzi 60 až 90 °C, u novších typov je to dokonca 23 – 70 °C. Najbežnejším katalyzátorom u AFC býva nikel. Účinnosť sa pohybuje okolo 60%. AFC s KOH elektrolytom sú považované za najúčinnnejšie, a keďže je katalyzátorom pomerne bežný nikel, tak aj najlacnejšie palivové články. Pre zvýšenie

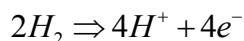
TABUĽKA 1 POROVNANIE TECHNICKÝCH CHARAKTERISTÍK PALIVOVÝCH ČLÁNKOV

Typ	AFC	PAFC	SOFC	MCFC	PEMFC	DMFC
Pracovné teploty [°C]	90-100	150-200	600-1000	600-700	50-100	60-200
Výkon systému [kW]	10-100	50-1000	<1-3000	<1-1000	<1-250	0,001-100
Elektrická účinnosť [%]	60	>40	35-43	45-47	53-58	40
Napätie článku [V]	1	1.1	0.8-1	0.7-1	1.1	0.2-0.4

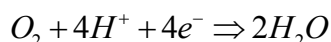
životnosti AFC je najvhodnejšie využívať čistý kyslík, namiesto nasávania okolitého vzduchu. KOH totiž absorbuje zo vzduchu CO_2 , pričom vytvára uhličitan draselný (K_2CO_3), ktorý ako elektrolyt znižuje výkon článku (tzv. otrávenie článku). AFC bol využitý pre vesmírne misie nielen na výrobu energie, ale aj pitnej vody [2].

III. PALIVOVÝ ČLÁNOK S KYSELINOU FOSFOREČNOU

PAFC články využívajú elektródy z karbonového papiera a tekutú kyselinu fosforečnú (H_3PO_4) ako elektrolyt. Ionická vodivosť H_3PO_4 je pri nízkych (bežných) teplotách veľmi nízka, preto je pracovná teplota týchto článkov až 150 – 220 °C. Princíp činnosti je obdobný, ako u AFC. Nosičom náboja je v tomto prípade ión vodíka (H^+). Ako katalyzátor sa na katóde využíva platina. Naštartovanie a prevádzka PAFC je možná až od teploty 40 °C, pretože dovtedy je H_3PO_4 v tuhom stave. Oxidačnú reakciu na anóde je možné zapísať ako:



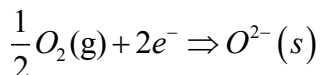
Redukčnú reakciu na katóde ako:



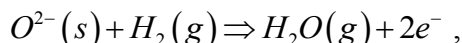
CO_2 nemá na elektródy žiadny vplyv, preto u PAFC nie je nutné využívať čistý kyslík. Pri využití vzduchu, s obsahom kyslíka $\approx 21\%$, však články produkujú len tretinový prúd. Elektrická účinnosť sa pohybuje okolo 40 – 50% [2].

IV. PALIVOVÝ ČLÁNOK S TUHÝMI OXIDMI

Ako palivo je tu využité zmes vodíka a oxidu uhľnatého a oxidantom je vzduch. Kvôli vysokej teplotnej a chemickej stabilite je najčastejším elektrolytom oxid zirkoničitý, stabilizovaný oxidom yttria (YSZ). Redukcia kyslíka na katóde nastáva pri teplote 1000 °C. Anóda musí odvádzať produkty oxidácie z elektrolytu. Oxidačná reakcia sa dá zapísať ako:



Redukčná reakcia má tvar:



kde (s),(g),(l) predstavuje pevné, plynné a kvapalné skupenstvo reaktantov.

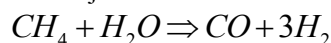
Teplu produkované SOFC je možné využiť pri dodatočnej výrobe elektrickej energie, napríklad pomocou plynovej turbíny, čo umožňuje zvýšiť účinnosť článku na 70-80 %. Použitie tohto typu článku vo vozidlách sa z priestorových

dôvodov, mechanickej náročnosti, dlhej zotrvačnosti (chladenia a ohrievania) článkov a zvýšených požiadaviek na kvalitu materiálov nepredpokladá [2].

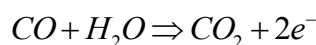
V. PALIVOVÝ ČLÁNOK S TAVENÝMI UHLIČITANMI

U MCFC sa ako elektrolyt využívajú tavené uhličitanové soli rozpustené v pórovitej, chemicky inertnej mriežke pevného elektrolytu beta-oxidu hlinitého (BASE – Beta-Alumina Solid Electrolyte).

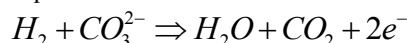
Na anóde dochádza k reakciám vodíkového paliva a iónov uhličitanov. Vzniká oxid uhličitý, voda a elektróny. Pre zjednodušenie je vhodné tieto reakcie rozdeliť na:



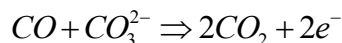
a



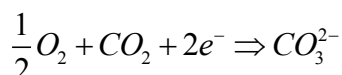
Zároveň prebiehajú dve oxidačné reakcie, ktoré spotrebúvajú vodík a oxid uhľnatý. Ióny uhličitanov vstupujúcich do reakcií sú dostupné v elektrolyte. Oxidačné reakcie možno zapísať ako:



a



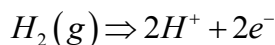
Redukčná reakcia na katóde má tvar:



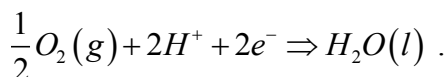
Výhody a nevýhody MCFC súvisia s vysokou pracovnou teplotou článku (cca 650 °C). Dokáže priamo spaľovať vodík, oxid uhľnatý, zemný plyn a propán. Nevyžaduje vzácne kovy ako katalyzátory. Na druhej strane trvá veľmi dlho, kým článok dosiahne pracovnú teplotu a je schopný vyrábať elektrickú energiu. [2]. Jeho celková účinnosť sa pohybuje medzi 45-47%, pri využití rekuperácie tepla môže byť výrazne vyššia. Pre využitie v automobile nie je vhodný z podobných dôvodov ako SOFC.

VI. PALIVOVÝ ČLÁNOK S POLYMÉROVOU MEMBRÁNOU

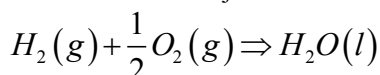
Princíp činnosti PEMFC je mierne odlišný od ostatných článkov. Za pomoci katalyzátora sa na anóde štiepi vodík na elektrón a protón. Namiesto elektrolytu je použitá pórovitá membrána, ktorá umožňuje prechod protónov na katódu. Elektróny musia tiecť externým obvodom. Na katóde dochádza k zlúčovaniu elektrónov, protónov a kyslíka na kvapalnú vodu. Reakciu na anóde možno zapísať ako:



a na katóde:



Celková reakcia článku je:



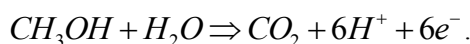
PEMFC pracujú pri relatívne nízkych teplotách (60-100 °C), sú kompaktné, veľmi rýchlo sa naštartujú, sú najjednoduchšie na výrobu, najlacnejšie a disponujú dlhou životnosťou.

Účinnosť sa pohybuje medzi 40 – 50 % a narastá s teplotou článku, avšak pri teplote nad 100 °C dochádza k odparovaniu vody, čo spôsobuje vysušovanie membrány a zníženie protónovej vodivosti [2]. Vďaka svojim vlastnostiam je PEMFC využívaný vo vodíkových vozidlách (FCV - Fuel Cell Vehicle).

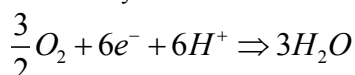
VII. METANOLOVÉ PALIVOVÉ ČLÁNKY

DMFC je podobným typom článku ako PEMFC. Elektrolyt opäť tvorí protónová membrána. Ako zdroj energie sa využíva metanol vo forme pary alebo kvapaliny. Pri využití kvapalného metanolu má článok nižšie napätie a výkonovú hustotu ako pri článku využívajúcom metanolovú paru. Na druhej strane, pri využití metanolovej pary dochádza k dehydratácii membrány a článok má nižšiu životnosť.

Chemickú reakciu, prebiehajúcu na anóde, je možné zapísať ako:



Reakciu katódy zasa ako:



Z uvedených reakcií je vidieť, že DMFC emituje okrem vody aj oxid uhličitý na strane anódy. Preto sa nemôže považovať za bezemisný zdroj energie. Výhoda metanolových článkoch je práve vo využívanom médiu. Ostatné články využívajú ako palivo čistý vodík. Samotný vodík sa primárne vyskytuje v plynnom skupenstve s nízkou energetickou hustotou (0,18 kWh/l pri tlaku 7MPa a teplote 25°C) [6]. Pre zvýšenie jeho energetickej hustoty je preto nutné ho tankovať do vozidla, alebo transportovať pod vysokým tlakom (1,55 kWh/l pri tlaku 70 MPa), prípadne skvapalňovať ochladením na teplotu -253 °C. Preto je oveľa jednoduchšie skladovať a transportovať vodík obsiahnutý v zlúčenine, napr. metanole, a extrahovať ho priamo na palube vozidla, vnútri článku. Ďalšou výhodou je, že metanol je kvapalný pri bežných teplotách, takže nie je potrebné ho skvapalňovať ako vodík. Pre uskladňovanie a transport metanolu je možné využiť mierne modifikovanú existujúcu infraštruktúru [7]. Navyše disponuje vysokou energetickou hustotou (4,82 kWh/l) pri atmosférickom tlaku. Nevýhodou DMFC je ich nižšia elektrická účinnosť, nižší výkon a nižšie

napätie článku v porovnaní s ostatnými typmi palivových článkov. Stručné zhrnutie parametrov palivových článkov sa nachádza v Tabuľka 1.

VIII. POUŽITIE PALIVOVÝCH ČLÁNKOV V KOMERČNÝCH VOZIDLÁCH

A. Toyota Mirai

Vedúce postavenie v oblasti produkcie automobilov s palivovým článkom majú japonské automobilky, predovšetkým Honda a Toyota. Práve Toyota, ako prvá automobilka na svete, začala s predajom prvých FCV už v decembri 2002 formou obmedzeného prenájmu. V decembri 2014 sa začal v Japonsku predaj prvého, masovo vyrábaného FCV, ktorým bol automobil Toyota Mirai. V septembri 2015 sa predaj rozšíril do Nemecka, Veľkej Británie a Dánska. Rozšírenie predaja na ďalších európskych trhoch je naplánované na rok 2017 [8].

Napriek obavám z chýbajúcej infraštruktúry a vysokej cene (Mirai sa predáva v Nemecku za 66 000 Eur bez dane) je záujem o FCV vysoký. Dokazuje to aj fakt, že napríklad u Toyoty Mirai bol prehodnotený plán výroby zo 700 kusov v roku 2015 na zhruba 2000 v roku 2016 a približne 3000 v 2017 [9].

V Mirai je použitý prvý PEMFC článok bez externého zvlhčovača. Voda generovaná na anóde sa pomocou internej cirkulácie vracia na katódu. Elimináciou zvlhčovača a vodným manažmentom vnútri článkov, rovnako ako inováciou materiálov elektród sa podarilo zvýšiť výkonovú hustotu na 3,1 kW/l [10]. Ostatné parametre vozidla sú uvedené v

Tabuľka 2. Technológia tohto článku je využitá aj v prototypu BMW radu 5 GT CcHG [18].

TABUĽKA 2 PARAMETRE VOZIDLA TOYOTA MIRAI

Palivový článok	Názov	Toyota FC Stack
	Typ (0.8)	PEMFC
	Maximálny výkon	114 kW
	Objemová výkonová hustota	3,1 kW/l
Vodíkové nádrže	Zvlhčovanie	Vnútorná cirkulácia
	Počet	2
	Nominálny tlak	70 MPa
	Objem	122,4 l
	Hmotnosť H ₂	cca 5 kg
Motor	Dojazd	>550 km (NEDC)
	Typ	SM
	Maximálny výkon	113 kW
Batéria	Maximálny moment	335 Nm
	Typ	Nikel-metal hydrid
	Počet článkov	34
	Kapacita	6,5 Ah

TABUĽKA 3 POROVNANIE FCV ZNAČKY HONDA A MERCEDES-BENZ

		Honda			Mercedes-Benz		Hyundai
		2005 FCX	FCX Clarity I.	FCX Clarity II.	A-Class F-Cell	B-Class F-Cell	ix35
Palivový článok	Typ	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
	Maximálny výkon	80 kW	100 kW	>100 kW	72 kW	80 kW	100 kW
	Nominálny tlak	34,4 MPa	35 MPa	70 MPa	35 MPa	70 MPa	70 MPa
Motor	Maximálny výkon	80 kW	100 kW	130 kW	65 kW	100 kW	100 kW
	Maximálny moment	272 Nm	256 Nm		210 Nm	320 Nm	300 Nm
Batéria	Typ	Superkapacitor	Li-ion	Li-ion	NiMH	Li-Ion	Li-Pol
	Dojazd	338 km (EPA)	450 km (EPA)	>700 km (JC 08)			594 km

B. Honda FCX Clarity

Honda FCX Clarity sa začala predávať formou prenájmu v roku 2008. V r. 2009 získala ocenenie Svetové zelené auto roka (2009 World Green Car) [11]. V roku 2015 bol ukončený predaj prvej generácie [12], nová generácia je opäť formou nájmu dostupná v Japonsku od marca 2016 [13]. Okrem zlepšovania účinnosti a výkonu palivového článku Honda pracuje aj na vylepšení jeho teplotných charakteristík. Článok v FCX Clarity I. fungoval do $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v FCX Clarity II. by to už malo byť do $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14]. Porovnanie modelov FCX, FCX Clarity 1. gen a FCX Clarity 2. gen je uvedené Tabuľka 3 Porovnanie Tabuľka 3.

C. Hyundai ix35

Hyundai takisto patrí k automobilkám, ktoré aktívne vyvíjajú vodíkové vozidlo. V súčasnosti sa nachádza flotila vodíkových ix35 v niekoľkých krajinách Európy, kde ich využívajú predovšetkým úrady verejnej správy, a teda slúži aj ako demonštračné vozidlo. Vzniklo na základe predchádzajúceho prototypu Tucson FCEV.

O pohon tohto SUV sa stará asynchrónny motor. PEMFC doplnia 24 kW Li-Pol batéria. Uvádaná spotreba je 0,95 kg/100 km, dojazd na jednu nádrž by mal činiť 594 km [15].

IX. MERCEDES-BENZ B-CLASS FCELL

Aj automobilka Mercedes-Benz (Daimler) patrí k popularizátorom vodíkových vozidiel. V roku 2009 mala najväčšiu flotilu FCV na svete [19]. Aktuálny model B-Class F-Cell je opäť dostupný iba formou prenájmu. Vychádza z predchádzajúceho modelu A-Class F-Cell. Ich porovnanie je uvedené TABUĽKA 3 POROVNANIE FCV ZNAČKY HONDA A MERCEDES-BENZ. Nová generácia článkov dosahuje životnosť vyše 2000 hodín a je schopná naštartovať aj pri teplotách nižších ako $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

X. CHEVROLET EQUINOX FUEL CELL

General Motors (GM) predstavila koncept HydroGen 1, postavený na základoch modelu Opel Zafira už v roku 2000.

Jeho nástupcom sa v roku 2006 stal Chevrolet Equinox Fuel Cell, ktorý bol napájaný už štvrtou generáciou článkov GM. O napájanie sa starali PEMFC s výkonom 93 kW v kombinácii s 35 kW NiMH batériou. Prevádzkovanie článku je možné pri teplotách od -25 do $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vodík bol uložený v troch nádržiach s kapacitou 4,2 kg, pod tlakom 70 MPa. O pohon sa staral trojfázový asynchrónny motor s výkonom 94 kW a max. krútiacim momentom 320 Nm. Očakávaný dojazd je 320 km [16]. V súčasnej dobe je vo vývoji piata generácia článkov vyvíjaná už v spolupráci s Hondou [17].

XI. ZÁVER

Hoci je technológia palivových článkov známa už viac ako 150 rokov, stále je považovaná za mladú, resp. nedospelú technológiu. Jej širšiemu využitiu bráni hlavne chýbajúca infraštruktúra vodíkových čerpacích staníc a cena článkov. Ďalším problémom je nízka energetická hustota vodíka. Pre využitie vo vozidle sa preto musí skladovať pod vysokým tlakom. V súčasnosti je štandardom tlak 70 MPa, ktorý sám o sebe pôsobí ako zásadné bezpečnostné riziko.

Tieto problémy si vyžadovali vývoj materiálov, ktoré sa stali dostupnými až v posledných rokoch. Aj vďaka tomu sa o vodíku dnes uvažuje ako o alternatívnom palive moderných, ekologických vozidiel, avšak stále ešte existuje niekoľko problémov, ktorými je nutné sa zaoberať.

Hlavným konkurentom FCV sú batériové elektrické vozidlá (BEV), ktorým sa už dnes dokážu vyrovnáť výkonom, dojazdom ich dokonca predčia. Dotankovanie FCV navyše trvá omnoho kratšie ako dobytie elektromobilu (cca 3 min.). Existuje predpoklad, že práve v dojazde a rýchlosti dobitia BEV nikdy neprekonajú FCV.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Zhang Xi, Mi Chris, Vehicle Power Management, Springer – Verlag London Limited 2011, 2011, ISBN 978-0-85729-735-8
- [2] S. Mekhilef, R. Saidur, A. Safari, Comparative study of different fuel cell technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 1, January 2012, Pages 981-989, ISSN 1364-0321 [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111004709]
- [3] Knowles, Michael, Baglee, David, Morris, Adrian and Ren, Qinglian (2012) The State of the Art in Fuel Cell Condition Monitoring and

- Maintenance. World Electric Vehicle Journal, 4. ISSN 2032-6653 [http://sure.sunderland.ac.uk/3795/]
- [4] http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/pdfs/fuel_cells.pdf
- [5] Wipke, K.; Sprik, S.; Kurtz, J.; Ramsden, T.; Ainscough, C.; Saur, G.: National Fuel Cell Electric Vehicle Learning Demonstration [online]. NREL. 2012. Dostupné na internetu: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/learning_demo_final_report.pdf
- [6] Zhang, Jiujun; Liu, Hansan: Electrocatalysis of Direct Methanol Fuel Cells: From Fundamentals to Applications, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim. 2009. ISBN: 978-3-527-32377-7
- [7] McGrath, Kimberly; Prakash, Surya; Olah, George: Direct Methanol Fuel Cells, In: Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 10, No. 7, pp. 1063-1080, December, 2004
- [8] <http://newsroom.toyota.eu/pressrelease/4124/1292/toyota-ushers-future-launch-mirai-fuel-cell-sedan>
- [9] <http://newsroom.toyota.eu/pressrelease/4193/1292/toyota-increase-mirai-production>
- [10] Yumiya, Hiroyuki: Toyota Fuel Cell System (TFCS). In: EVS28 International Electric Vehicle Symposium and Exhibition. KINTEX. Korea. May 3-6. 2015.
- [11] <http://www.wcoty.com/media/?release=48&year=2009>
- [12] http://www.greencarreports.com/news/1092683_honda-ends-three-green-models-for-2015-insight-fit-ev-fcx-clarity
- [13] <http://world.honda.com/news/2015/4151028eng.html>
- [14] Matsunaga, Minoru; Fukushima, Tatsuya; Ojima, Kuniaki: Powertrain System of Honda FCX Clarity Fuel Cell Vehicle. In: World Electric Vehicle Journal Vol. 3. 2009, pp. 820-829. ISSN 2032-6653
- [15] Byung Ki Ahn; Tae Won Lim, "Fuel Cell Vehicle Development at Hyundai-Kia Motors," in Strategic Technology, The 1st International Forum on , vol., no., pp.199-201, 18-20 Oct. 2006
- [16] McConnell, Vicky P.: Downsized Footprint and material changes for GM's fourth-generation fuel cell technology. In: [Fuel Cells Bulletin](#) 01/2007; 2007. Vol.1. pp.12-15
- [17] <http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2014/May/0507-fuel-cell.html>
- [18] BMW Group: BMW Group Innovation Days 2015: Drive technologies of the future
- [19] Venturi, M.; Mohrdieck, C.; Friedrich, J., "Mercedes-Benz B-Class Fuel Cell: The world largest hydrogen vehicle fuel cell fleet experience," in Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World , vol., no., pp.1-11, 17-20 Nov. 2013
- [20] Ondřejčíková Iveta, *Rizika při práci s chemickými látkami*, Chem. Listy 91, pp. 194-199, 1997, ISSN 1213-7103
- [21] Barbir, Frano: PEM Fuel Cells: Theory and Practice. Elsevier. Waltham. 2013. ISBN-13: 978-0123877109