



TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE
Faculty of Electrical Engineering and Informatics



Electrical Engineering and Informatics IX



Proceedings of
the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

ISBN 978-80-553-2713-6

Electrical Engineering and Informatics IX
Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic

Date of publication: July 2018 Language: English, Slovak
Printing: 50 pieces CD Pages: 771

Editorial board chairman: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.

Proceedings reviewers: Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.
Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.
prof. Ing. Roman Cimbala, PhD.
prof. Ing. Pavol Galajda, PhD.
prof. Ing. Dušan Kocur, CSc.
prof. Ing. Ján Kollár, CSc.
prof. Ing. Dušan Levický, CSc.
prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.
prof. Ing. Linus Michaeli, DrSc.
prof. Ing. Ján Mihalík PhD.
prof. Ing. Ján Paralič PhD.
prof. Ing. Daniela Perduková, PhD.
prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.
prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
prof. Ing. Iveta Zolotová CSc.
assoc. prof. Ing. Norbert Ádám, PhD.
assoc. prof. Ing. Anton Baláž, PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Beňa, PhD.
assoc. prof. Ing. Marek Bundzel PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Doboš, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Bystrík Dolník
assoc. prof. Ing. Peter Drotár, PhD.
assoc. prof. Ing. Miloš Drutarovský, PhD.
assoc. prof. Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
assoc. prof. Ing. Ján Gamec, PhD.
assoc. prof. Ing. Juraj Gazda, PhD.
assoc. prof. Ing. Zdeněk Havlice, CSc.
assoc. prof. Ing. Marián Mach CSc.
assoc. prof. RNDr. Dušan Olčák, CSc.
assoc. prof. Ing. Ján Papaj, PhD.
assoc. prof. Ing. Branislav Sobota, PhD.
assoc. prof. Ing. Slavomír Šimoňák, PhD.
assoc. prof. Ing. Martin Tomášek, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Ján Vaščák
assoc. prof. Ing. Jaroslava Žilková, PhD.

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

Možnosti využitia palivových článkov

¹Luboš ŠÁRPATAKY, ²Dušan MEDVEĎ

^{1,2} Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

¹lubos.sarpataky@student.tuke.sk, ²Dusan.Medved@tuke.sk

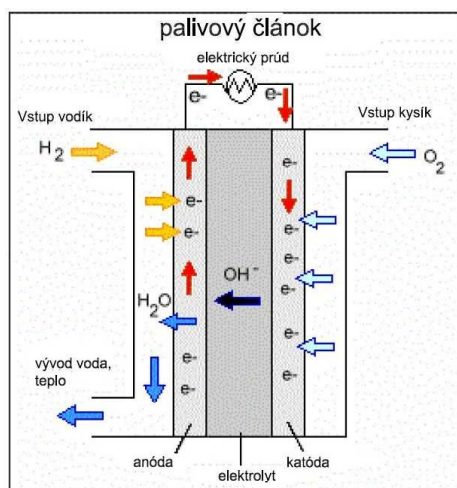
Abstrakt — Tento príspevok sa zaoberá možnosťami využitia palivových článkov. Palivové články sú elektrochemické zariadenia, ktoré boli objavené v roku 1838. Ich výskum bol pomalý a to najmä kvôli existencii lacnejších a efektívnejších zdrojov energie. V dnešnej dobe sú však brané ako budúcnosť výroby energie. V súčasnosti je na svete viac druhov palivových článkov, ktoré majú rôzne využitie a dajú sa aplikovať či v doprave alebo v spomínanej výrobe elektrickej energie. Ich výroba a prevádzkové náklady sú však stále drahé a je potrebné rozsiahle inovovanie systému, aby sa dali využívať na komerčné účely.

Kľúčové slová — elektrárňeň, palivové články, vodík, verejné osvetlenie.

I. PALIVOVÉ ČLÁNKY

Palivové články sú elektrochemické zariadenia, ktoré premieňajú chemickú energiu elektricky aktívnych materiálov (palivo a oxidovadlo) priamo na jednosmerný elektrický prúd, pričom sekundárne sa vyprodukuje teplo a voda. Každý palivový článok obsahuje dve elektródy a elektrolyt. Patria medzi takzvané čisté technológie s takmer nulovou produkciou emisií, a zaradujeme ich medzi obnoviteľné zdroje energie. Princípiálne je to inverzný dej k elektrolyze, kde základom princípu je tok elektrónov (jednosmerný prúd) v elektrolyte, v ktorom sa nachádzajú dve pórovité elektródy. Základný princíp transformácie energie je pre všetky palivové články rovnaký, jednotlivé palivové články sa líšia len pracovnou teplotou, materiálom elektród, rôznym elektrolytom a chemickými reakciami na katóde a anóde. Elektrolyt nesmie prepúšťať elektróny, takže pre elektrický prúd je dielektrikom, čo znamená, že je iónovo vodivý. Elektródy sú katalyzátormi chemických premien, ktoré sa takmer vôbec neopotrebovávajú a nemenia svoje chemické zloženie. K zápornej elektróde (anóde), ktorá sa taktiež nazýva palivová, sa privedie napr. vodík, čo je v našom prípade palivo. Katalytickým štiepením vodíka vzniknú protóny a elektróny. Protóny prechádzajú elektrolytom ku katóde a elektróny prechádzajú vonkajším elektrickým okruhom a vytvárajú elektrický prúd smerom ku katóde. Na kladnú elektródu (katódu), je privádzaný napr. kyslík, ktorý slúži ako okysličovadlo. Spojením okysličovadla s voľnými elektrónmi a následne s protónom vodíka, vzniká redukciou voda.

Pre účely tohto príspevku bol vybraný palivový článok typu PEMFC, ktorý sa skladá z protónovo vodivej membrány, ktorá je umiestnená medzi pórovitými uhlíkovými elektródami s platínovým katalyzátorom. Elektrolyt tvorí pevná membrána, ktorá musí byť neustále hydratovaná. Táto pevná membrána je z materiálu na báze uhlíka a fluóru, ktorý je svojou stavbou podobný teflónu. Tým sa zaisťujú korózna odolnosť článku, keďže jediná tekutá látka v článku je voda. Ak by membrána nebola správne hydratovaná, klesala by elektrická vodivosť. To znamená, že sa voda nesmie odparovať rýchlejšie ako vzniká. Preto sa pracovná teplota pohybuje medzi 60 °C až 80 °C. Ak by mal článok prevádzkovú teplotu 100 °C a viac, musel by sa zvýšiť taktiež tlak, aby sa voda pri prevádzke neodparovala. Už pri teplote 21 °C článok dodáva 50 % výkonu.



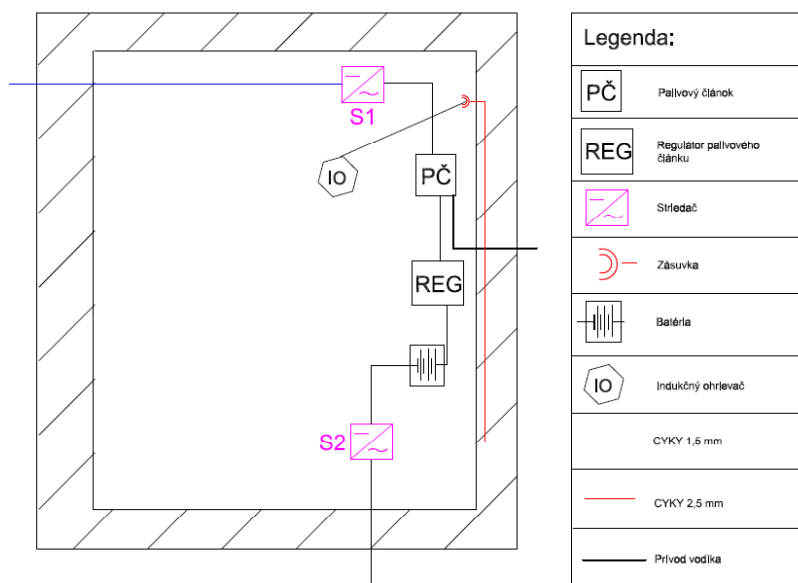
Obr. 1 Základný princíp palivového článku

II. APLIKÁCIA PEMFC NA VEREJNÉ OSVETLENIE

Pri danej aplikácii palivových článkov sa uvažovalo, že verejné osvetlenie sa nachádza v oblasti dvoch jazdných pruhov o šírke 7 m. Takisto sa tam nachádza zelený pás o šírke 1,5 m a chodník o šírke 2 metre. Navrhovaný úsek má celkovú dĺžku 180 m, na ktorom je umiestnených 16 svietidiel, ktoré majú sumárny príkon 320 W.

Palivové články PEMFC sú najznámejšie a takisto najpoužívanejšie zo všetkých typov palivových článkov. Hlavné využitie našli v mobilných zariadeniach, no dajú sa využiť aj pri statickej výrobe. Ako zdroj napájania verejného osvetlenia bol zvolený práve tento typ palivového článku, konkrétne H-500 Fuel Cell Stack od firmy Horizon Fuel Cell Technologies, ktorý bol ponúkaný na internetovej predajni FUELCELL Store. Palivový článok má výkon 500 W a pracuje pri teplote 65 °C.

Pre správnu funkciu osvetlenia je potrebné doplniť systém o zariadenia, ktoré sú nevyhnutné pre prevádzku. Keďže palivový článok produkuje jednosmerný prúd, je potrebný inštalovať aj striedač s regulátorom, ktorý nám zabezpečí, aby bol potrebný výkon spotrebovaný pri striedavom napätí 230 V. Ďalšou dôležitou súčasťou systému je zásobník na vodík, ktorý bude pripojený k systému a bude dodávať vodík do palivového článku. V neposlednom rade je nutné mať externý napájací zdroj, ktorý palivový článok inicializuje. Ako externý napájací zdroj bol zvolený fotovoltický článok s batériou. Keďže palivový článok má byť umiestnený pri teplote ovzdušia 5 až 30 °C, bolo nutné mať k dispozícii externý tepelný ohrievač, ktorý v prípade zníženia teploty pod úroveň 5 °C dokáže zahriať miestnosť, v ktorej bude palivový článok umiestnený.



Obr. 2 Schéma zapojenia palivového článku a pomocných zariadení

Tabuľka 1
 Náklady na systém s palivovým článkom

Názov	Počet kusov	Cena za kus [€]	Cena celkom [€]
Horizon 500 W PEMFC	1	3 084	3 084
Striedač IMEON 3.6	2	2 820	5 640
Sol. panel ACTIVESOL	5	280,41	1 402,05
Vodíková nádrž	1	3247,54	3 247,54
Batéria Energy Bull	1	329,37	329,37
Ohrievač FKC900	1	47,5	47,5
Kábel CYKY 1,5	200 m	0,39 €/m	78
Kábel CYKY 2,5	10 m	0,62 €/m	6,2
Vodík	8222 hl/rok	47,7 €/8900l	4 436,1
Spolu (bez paliva):			13 835
Spolu (s palivom na 10 rokov):			58 196

Ako môžeme vidieť v tabuľke 1, investičné náklady na systém sú 13 835 €. Tieto náklady by boli navýšené ďalej o stavebné materiály a prácu na realizáciu projektu, pričom by bolo potrebné uvažovať presnú lokalitu, cenu s konkrétnou realizáciou, stavebné práce, dovoz materiálu a zapojenie a sprevádzkovanie systému. Ďalšou položkou, ktorá by navýšila celkovú vypočítanú cenu, by bola údržba a opravy počas celej doby životnosti zostavy. Podobne, niektoré pomocné prístroje by bolo nutné vymeniť skôr, ako o 10 rokov. Čo sa týka paliva, jeho spotrebované množstvo a cena sú veľmi vysoké. Za rok by bolo investovať do paliva 4 436,1 €, čo je, v porovnaní s kúpnu hodnotou elektriny v súčasnosti, omnoho vyššie. Cena elektriny, podľa cenníka Východoslovenskej distribučnej, a.s. je 0,1722 €/kWh, čo je, pri ročnej spotrebe 1371,2 kWh, 236,12 €. Ak by sme brali do úvahy, že cena vodíka by ostala nezmenená a cena elektriny by sa každý rok zvyšovala o 3%, za 10 rokov by sa za elektrinu uhradilo:

$$N_{10} = \sum_{n=1}^{10} (N \cdot (1+i)^n) = 236,12 \cdot (1,03)^1 + 236,12 \cdot (1,03)^2 + 236,12 \cdot (1,03)^3 + \\ + 236,12 \cdot (1,03)^4 + 236,12 \cdot (1,03)^5 + 236,12 \cdot (1,03)^6 + 236,12 \cdot (1,03)^7 + \\ + 236,12 \cdot (1,03)^8 + 236,12 \cdot (1,03)^9 + 236,12 \cdot (1,03)^{10} = 2788,05 \text{ €}$$

i - pomerná hodnota ročného nárastu ceny elektriny [-]

N - ročné náklady na elektrinu [€]

n - počet rokov [-]

To je o 1648 € lacnejšie, ako ročné náklady za vodík. Rozdiel nákladov za vodík a nakúpenú elektrinu za dobu životnosti by bol 41 573 €. Ak by mal byť projekt ekonomicky výhodný, cena za pripojenie na verejnú sieť by musela byť vyššia, ako súčet nákladov na realizáciu projektu a vypočítaný rozdiel na desaťročný chod systému, čo je 55 408 €.

III. ZÁVER

V porovnaní s ostatnými druhmi palivových článkov sa PEMFC posúva do lepšej pozície, najmä kvôli vysokej pravdepodobnosti investícií práve do takých typov palivových článkov, ktoré majú najširšie využitie. Pri technologickom zdokonaľovaní sa následne kladie dôraz na zlacňovanie celého systému, ktoré je pre komerčné využitie a rozšírenie tejto formy výroby elektrickej energie kľúčové. Keďže uvažovaný potrebný výkon palivového článku bol veľmi nízky, neoplatilo by sa uvažovať s palivovými článkami, ktoré sú konštruované výlučne na stacionárnu výrobu elektrickej energie a taktiež majú tieto palivové články vyššiu prevádzkovú teplotu, čo by v aplikácii na verejné osvetlenie mnohonásobne zvýšilo čas rozbehu, ktorý sa opakoval každý deň. Čo sa týka ekonomických výpočtov, náklady na systém sú pomerne vysoké a to najmä kvôli výrobe jednosmerného prúdu, ktorý pre komerčné využitie treba transformovať na striedavý. Na to je nutné mať striedač. Striedače tvorili viac ako tretinu investičných nákladov na zariadenia. Najväčšou nevýhodou oproti ostatným obnoviteľným zdrojom, sú prevádzkové náklady. Len samotný vodík, bez dovozu a plnenia nádrže, sa pri nízkom výkone a ročnej

spotrebe približne 1,3 MWh pohyboval okolo 4 436 €. Čo v porovnaní s ročnými nákladmi štandardného odberu z verejnej siete bolo omnoho vyššie. To dokazuje, že systém nie je ekonomicky efektívny a návratnosť projektu je nereálna.

IV. POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18 a tiež v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: *Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií*, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Z. Porš, „Palivové články“, [online] [cit. 21.10.2017], Dostupné na internete: < <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf> >.
- [2] J. Larminie, A. Dicks, „Fuel Cell Systems Explained“, second edition, < <https://doi.org/10.1002/9781118878330.ch1> >. ISBN 0-470-84857-X.
- [3] HORIZON, „H-500 Fuel Cell Stack User Manual“, [online]: [cit. 24.2.2018]: Dostupné na internete: < <http://www.fuelcellstore.com/manuals/horizon-pem-fuel-cell-h-500-manual.pdf> >.
- [4] L. Šárpataky, „Možnosti využitia palivových článkov“, Bakalárska práca, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2018.

Electrical Engineering and Informatics IX
Proceedings of the
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Edition I, 771 pages
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

ISBN 978-80-553-2713-6