

Ing. Vladimír Cíviň

JCivim-wc

Nové progresivní energetické zdroje pro armádu

(Palivové články)

Většina armád využívá pro veškerou svou činnost v polních podmínkách různé mobilní energetické zdroje, které musí splňovat určitá kritéria. Vyšší požadavky jsou kladeny na takzvané takticko-operační energetické zdroje, operující při kontaktu s nepřítelem, než na tzv. obecně použitelné zdroje, operující v předpolí.

* * *

Zdroje první skupiny jsou obvykle menší, ve výkonovém rozmezí od 10 W do 10 kW. Musí být schopné velkého počtu operací start-stop, být dobře skladovatelné a použitelné v náročných klimatických podmínkách. Dalším požadavkem je zajištění kontinuální nepřerušované dodávky elektrické energie, což je důležité především pro komunikační prostředky, sběr dat a pro medicínské potřeby v předních liniích. Hlavním požadavkem na tyto energetické zdroje je minimální možnost jejich detekce, tedy především nehlučnost, co nejmenší vyzařování infračerveného záření a minimální tvorba spalných produktů – emisí. Tyto požadavky se týkají do značné míry i pohonu dopravních prostředků, sloužících k přesunům vojsk a vojenské techniky.

Při dosavadní praxi se požadavky na nízkou detekovatelnost řeší umístěním generátorů na výrobu elektrické energie v dostatečně vzdálenosti od předních linií s používáním dlouhých kabelů. Ve značné míře se používají akumulátory a baterie. U obecně použitelných zdrojů v předpolí, jejichž výkon se pohybuje obvykle od 1,5 kW do 30 kW, nejsou kladeny požadavky na nízkou detekovatelnost. Všechny typy energetických zdrojů by měly zároveň splňovat i požadavky na nízkou spotřebu paliva při vysoké účinnosti. Doprava paliva může v řadě případů výrazně zvýšit jeho cenu, a proto ekonomický provoz energetických generátorů je velmi důležitý.

Spolu s postupující modernizací jednotlivých armád dochází nejen ke zdokonalování technické vybavenosti, ale i veškeré bojové i obranné činnosti. Stoupají také požadavky na energetické zdroje, i na vybavenost jednotlivého vojína různými osobními technickými prostředky pro komunikaci, orientaci a pro plnění bojových úkolů. Pro tyto účely již dosavadní baterie a akumulátory nemají dostatečnou energetickou kapacitu při zachování minimální váhy a objemu.

Jak ukazuje dosavadní vývoj ve světě, většinu náročných požadavků na armádní energetické zdroje i na nehlukovou dopravní techniku budou brzy spolehlivě plnit palivové články. Význam těchto zdrojů alternativní elektrické energie neustále stoupá, protože umožňují přímou přeměnu chemické energie vodíku na energii elektrickou bez spalovacího procesu, který je nezbytný při výrobě energie ze všech současných

primárních zdrojů (dřevo, uhlí, ropa, zemní plyn). Tím dosahují výrazně vyšší účinnosti a navíc jsou ekologicky nejčistšími zdroji elektrické energie. Palivové články neprodukují prakticky žádné emise a jediným odpadním produktem jejich činnosti je čistá voda. Mají minimum pohybujících se částí, takže pracují bezhlučně a nemají v podstatě žádné nároky na údržbu. Jsou většinou prostorově nenáročné.

V technicky vyspělých zemích je vývoji palivových článků věnována neustále se zvyšující pozornost za finančního přispívání jednotlivých vlád. V civilních i armádních organizacích je ročně na tento vývoj vynakládáno přes 200 mil. dolarů. Podle nejnovějších odhadů začnou v 21. století probíhat revoluční změny v zásobování energiemi, při nichž vodík a palivové články spolu s dalšími zdroji takzvané obnovitelné energie budou hrát významnou úlohu. Tyto změny lze srovnávat se zaváděním mikroelektroniky do sdělovacích a komunikačních prostředků.

➤ *Princip činnosti palivového článku*

Palivový článek můžeme definovat jako elektrochemický zdroj stejnosměrného proudu, ve kterém dochází ke katalytickým reakcím vodíkového paliva a oxidačního činidla na elektrodách. Pracuje na obráceném principu elektrolýzy vody. Vodík je přiváděn k anodě, na které dochází k jeho katalytické přeměně (oxidaci) na proton a elektron. Proton přechází elektrolytem ke katodě, zatímco uvolněný elektron přechází vnějším vedením. Na katodě reaguje proton s přiváděným kyslíkem a elektronem za vzniku vody. Na obou elektrodách vzniká přitom potenciální rozdíl kolem 1V, při zatížení 0,5 až 0,8 V. 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.

Svou činností se palivový článek podobá klasickým akumulátorům, na rozdíl od nich však používá z vnějšku dodávané palivo, což mu umožňuje libovolně dlouhý provoz.

➤ *Používaná paliva*

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. Např. tlakové vodíkové láhve 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 přepravovaného vodíku. Dalšími připravovanými zdroji čistého vodíku jsou zdroje chemické, ze kterých bude vodík uvolňován hydrolýzou, amolýzou nebo katalytickou reakcí. Tyto zdroje budou schopné uskladnit minimálně 5 váhových % vodíku. Za velmi perspektivní je považováno ukládání vodíku v takzvaných uhlíkatých nanovlákních schopných pojmout až 48 váhových % vodíku.

Protože vodík není vhodným palivem pro všechny aplikace palivových článků, je věnována velká pozornost i tzv. nepřímým palivům, ze kterých je vodík uvolňován reformovacím procesem. Mezi nejvýznamnější nepřímé zdroje vodíku patří zemní plyn, metan, metylalkohol, etylalkohol, případně čpavek. Reformováním těchto zdrojů vodní

parou nebo tzv. parciální oxidací při vysokých teplotách vzniká vodík s kyslíčkem uhlíku.

Protože ve většině palivových článků jsou používány katalyzátory na bázi platiny, je zapotřebí po provedeném reformování odstranit kyslíčník uhelnatý, který způsobuje otravu těchto katalyzátorů. Za potenciální nepřímá paliva do palivových článků jsou považovány i současné kapalné pohonné hmoty do spalovacích motorů automobilů. Společnost Chrysler podnítila vývoj reformování benzínu. Při jeho úspěšném vyřešení by nebylo nutné budovat novou infrastrukturu pro pohonné hmoty do automobilů, poháněných palivovými články. Americká armáda má zájem zachovat dosavadní hlavní palivo pro pohon diesellových motorů. Proto věnovala hodně finančních prostředků na vyřešení problematiky reformování diesellova paliva. Dosavadní vývojové práce však ukazují, že k úspěšnému vyřešení těchto úkolů bude zapotřebí ještě delší doby.

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

> Druhy palivových článků

Existuje celkem pět základních druhů palivových článků, které se od sebe liší především podle používaného elektrolytu a podle rozsahu teplot, při kterých pracují. Jejich přehled dokazuje **tabulka 1** (viz).

Tabulka 1

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 karbonátů	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.

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, ve které turbíny a plynové motory pracují s nízkou účinností.

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 kyslíčnicku 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, jako je belgická ELENCO nebo kanadská ASTRIS. Německá společnost SIEMENS vyvíjela alkalické palivové články pro pohon ponorek, ale před rokem 1980 přešla na články membránové, které dosahují vyššího výkonu a mají nekorozivní pevný elektrolyt.

Palivové články s tavenými karbonáty nebo **vodivými oxidy** nepotřebují pro reakce při vysokých teplotách katalyzátory elektrodových 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. Současné prototypy dosahují výkonů mnohem menších, protože nejsou dosud konstruovány z nejvhodnějších materiálů.

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 – iontovýměnnou 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 kyslíčnicku 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.

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 dobíjitelných 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.

Perspektivy masového průmyslového využívání palivových článků

V kosmických programech jsou palivové články využívány již od 60. let jako energetické zdroje kosmických lodí. V posledním desetiletí byla uskutečněna průmyslová výroba některých druhů kyselých palivových článků. Kromě menšího počtu nízkovýkonných článků prodaly dvě americké firmy přes 200 kusů statických generátorů PC 25 o výkonu 200 kW a tepelné produkci 700 tis. Btu/h na vytápění.

Do nedávné doby bylo předpokládáno, že k masové produkci palivových článků dojde nejdříve v automobilovém průmyslu. Přední světové firmy investovaly do tohoto vývoje a přípravy výroby již více než miliardu dolarů. Téměř všechny tyto firmy mají dnes vlastní prototyp autobusu nebo osobního automobilu, poháněného motorem na palivové články. Ve srovnání s dnešními automobily se spalovacími motory mají tyto automobily několik zásadních výhod. Nenarušují životní prostředí, protože jediným odpadním produktem motoru s palivovým článkem je čistá voda. Jsou téměř nehlukné, mají minimum pohybujících se částí a v podstatě žádné nároky na údržbu. Navíc mají

téměř dvojnásobnou účinnost. U těchto automobilů se také předpokládá, že s jednou náplní paliva ujedou cca 3x větší vzdálenost než automobily se spalovacími motory. I když existuje prototyp autobusu s kyselým palivovým článkem nebo osobního automobilu s alkalickým článkem, naprosto bezkonkurenční jsou pro automobilový průmysl palivové články membránové.

Výsledky mezinárodní konference o přenosných palivových článcích v Luzernu z června 1999 a hannoverského veletrhu z března 2000 naznačují, že ještě dříve než v automobilovém průmyslu by mohlo dojít k zahájení rozsáhlé průmyslové výroby přenosných membránových palivových článků, a to jak v civilním tak i ve vojenském sektoru. Jedná se o využití při provozu spotřební elektroniky od mobilních telefonů, přenosných počítačů až ke kempové výbavě nebo jako **osobní energetické zdroje řadového vojína**. O tom, že tato doba není vzdálená, svědčí oficiální vyhlášení konsorcia firem Daimler – Chrysler – Ford. V roce 2004 uvedou na trh 40 tisíc osobních automobilů na palivové články, v roce 2006 již 100 tisíc kusů. Podle informací z konference v Luzernu počítá americká armáda uvést do své výzbroje tři druhy přenosných membránových palivových článků o výkonech 10 W – 500 W také v roce 2004.

Několik informací o energetických zdrojích a palivových článcích v armádě USA

Americké ministerstvo obrany se zapojilo do vývoje palivových článků a jejich využívání pro potřeby armády od roku 1965. Zájem byl soustředěn především na mobilní generátory energie, transportní prostředky, osvětlení polních letišť, komunikační a přenosová zařízení, energetické systémy pro satelitní zařízení a ponorky. Hlavními důvody, které podnítily zájem o palivové články, byla jejich obtížná detekovatelnost, minimální nároky na údržbu, jednoduchost konstrukce, dlouhá životnost a v neposlední řadě vysoká účinnost a velká energetická kapacita. Ekonomické rozborů prokázaly, že používáním palivových článků v odlehlých oblastech bylo by možné v řadě případů snížit náklady na energetickou spotřebu až o 50 %. Zájem byl soustředěn i na pohon dopravních prostředků, ať již samotnými palivovými články nebo jejich kombinací s akumulátory.

Jednou z prvních akcí bylo vedle různých programů vývojových, vyhlášení dlouhodobého programu na postupné omezení benzínových a dieselových energetických generátorů z původních 99 % na 40 % a zvýšení počtu turbínových generátorů z 1 % na 30 %. Zbýlých 30 % by měly pokrývat zdroje elektrochemické.

Dlouhodobé první zkoušky palivových článků probíhaly v americké armádě v 80. letech v rámci tzv. programu SLEEP (*Silent Lightweight Electrical Energy Plant* – Tichý lehký generátor elektrické energie). Jednalo se o prověřování kyselých palivových článků o příkonech 1 - 10 kW, u kterých byl používán 58% roztok metanolu jako reformované palivo.

V rámci tohoto programu byl vyvinut také prototyp membránového palivového článku o výkonu 30 W s vodíkovým palivem, získávaným působením vody na hydrid vápníku.

V roce 1985 dospěli v americké armádě k závěru, že metanol a benzin nejsou vhodná paliva pro bojové podmínky a jako jediné palivo bude používáno pouze palivo do

dieslových motorů. Protože vyřešení reformování dieslova paliva bylo v nedohlednu, zájem o palivové články byl na určitou dobu snížen. V roce 1993 rozhodlo ministerstvo obrany o důkladném dlouhodobém prověření výkonných kyselých palivových článků jako možnou náhradu doposud používaných energetických generátorů. Bylo proto postupně zakoupeno 30 kusů 200 kW statických generátorů PC 25 od společnosti ONSI Corporation, které byly rozmístěny v nejrozměnitějších klimatických podmínkách u pozemních, leteckých a námořních jednotek. Vybrány byly podmínky od pouštních oblastí až po arktické. Jako palivo je používán reformovaný zemní plyn.

Ve stejném roce vyhlásila organizace amerického ministerstva obrany DARPA (*US Defence Advanced Research Project Agency*) rozsáhlý program vývoje přenosných membránových palivových článků s vysokou energetickou kapacitou o výkonech od 10 do 500 W. Tento program je zaměřen na zabezpečení vhodného energetického zdroje, který bude součástí základní výbavy jednotlivého vojáka a dále na energetické zdroje pro další účely. Základní cíle daného programu jsou:

1. Přenosný energetický zdroj pro individuální výbavu vojína o výkonu 10 – 15 W (špičkově 30 – 40 W) a kapacitě 400 Wh/kg. Jeho prototyp má být vyroben v roce 2000.
2. Přenosné energetické zdroje o výkonech 50 a 100 – 500 W pro lehká takticko-operační centra a polní detektory, dále pro mikroklimatické chlazení a pro nabíjení běžných akumulátorů.
3. Zajištění chemických zdrojů vodíkového paliva s kapacitou 1000 Wh/kg váhy.
4. Rozvoj přenosných palivových článků s metanolem jako přímým zdrojem bez potřeby reformování.

Tím nejmenším zdrojem pro osobní výbavu vojáka má být hybridní palivový článek, což je v podstatě určitá kombinace palivového článku a baterie. Bude schopený pracovat i pod vodou (např. při brodění přes řeku) a bude dodávat energii kontinuálně i v průběhu výměny zdroje vodíkového paliva.

Všechny uvedené typy palivových článků s výjimkou článků metanolových mají být zavedeny do výzbroje americké armády v roce 2004.

V tabulce 2 jsou uvedeny předpokládané parametry palivových článků pro různé druhy činnosti na jednu náplň paliva. Předpokládá se životnost palivových článků 400 pracovních cyklů. Při rozpočtení ceny palivových článků do celé jeho životnosti jsou náklady na jeden pracovní cykl téměř shodné s náklady na vodíkové palivo.

Kdyby pro stejné účely měly být používány ty nejdokonalejší současné primární baterie (300 W/kg) nebo nabíjitelné baterie (100 W/kg), dosahovala by jejich váha např. pro šestidenní cykl hodnot kolem 10 a 30 kg. Překvapivě i cenové porovnání vychází výhodněji pro palivové články, jak lze usoudit z tabulky 3.

Do budoucna po vyřešení levnějších zdrojů vodíkového paliva bude cenová výhodnost palivových článků ještě průkaznější.

Situace v České republice

Přestože vývoj palivových článků je v dnešní době jedním z nejdynamičtější se rozvíjejících oborů vůbec, je třeba zdůraznit, že v ČR se tímto problémem aktivně zabývají pouze dvě organizace. Společnost ASTRIS s.r.o. se zabývá vývojem alkalických palivových článků od roku 1993. Společnost MEGA a.s. jako jediný tuzemský výrobce iontoměničových membrán se zapojila do vývoje palivových článků v roce 1997 a od roku 1998 nastoupila cestu vývoje vlastní levné membrány, vhodné pro aplikaci

v palivových článcích. Obě společnosti se podílely na řešení projektu vojenské vědy pod názvem „Energetické zdroje pro polní podmínky“, který byl v roce 1999 ukončen a při jehož průběžném i závěrečném oponentním řízení bylo oponentní radou doporučeno zahájit v roce 2000 nový úkol, orientovaný prioritně na řešení energetického zdroje pro osobní výbavu vojáka.

O výsledcích dosavadní vývojové činnosti pojednává následující článek. Tyto výsledky jsou natolik povzbudivé, že při dostatečném zájmu existuje reálná možnost dospět v relativně krátké době k prototypovým aparátům pro dlouhodobé ověřovací zkoušky.

Tabulka 2

	Hybridní článek, jako primární zdroj	100-W článek schopný nabíjet baterie	100-W článek se 2 nabíjitelnými bateriemi
1-denní cykl			
Wh	525	500	700
váha (kg)	1,25	1	3
kapacita (Wh/kg)	420	500	233
cena (dolarů)	článek = 1 palivo = 70	článek = 1 palivo = 70	článek + baterie = 2 palivo = 70
3-denní cykl			
Wh	1525	1500	1700
váha (kg)	2,25	2	4
kapacita (Wh/kg)	677	750	425
cena (dolarů)	článek = 3 palivo = 210	článek = 3 palivo = 210	článek + baterie = 3 palivo = 210
6-denní cykl			
Wh	3025	3000	3200
váha (kg)	3,75	3,5	5,5
kapacita (Wh/kg)	807	857	581
cena (dolarů)	článek = 6 palivo = 420	článek = 6 palivo = 420	článek + baterie = 6 palivo = 420

Tabulka 3

	Cena primární baterie	Cena palivového článku včetně paliva
1-denní cykl	175 dolarů	71 dolarů
3-denní cykl	525 dolarů	213 dolarů
6-denní cykl	875 dolarů	426 dolarů

Literatura:

- Appleby A.J., Foulkes F.R.: Fuel Cell Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York 1989.
- Penner S.S., Hove J.E.: NATO Multinational Exercise on Power Sources and Devices for Tactical Applications, Institute for Defense Analyses, Alexandria 1986.
- DND/NATO Workshop on Alternate Power Sources, November 1986.
- Felix N. Büchi: Portable Fuel Cells Proceedings, Lucerne, June 1999.
- European Fuel Cell News, Vol 6., Number 4, December 1999.
- The Energy Summit at Hannover Fair, March 2000.
- Fuel Cells Bulletin, Number 18, March 2000.