

# OBSAH

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Teoretická část</b> .....	<b>9</b>
2.1 Elektrochemické články.....	9
2.1.1 Primární články.....	9
2.1.2 Sekundární články.....	9
2.1.3 Palivové články.....	10
2.2 Druhy palivových článků.....	12
2.2.1 PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells) Kyselé palivové články.....	12
2.2.2 PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) Membránové palivové články.....	13
2.2.3 DMFC (Direct Methanol Fuel Cells) Přímé metanolové palivové články.....	14
2.2.4 MCFC (Molten Carbonate Fuel cells) Články s tavenými karbonáty.....	16
2.2.5 SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) Články s pevnými oxidy.....	17
2.2.6 AFC (Alkaline Fuel Cells) Alkalické palivové články.....	18
2.3 Alkalický palivový článek.....	19
2.3.1 Popis funkce Alkalického palivového článku.....	19
2.3.2 Děje v palivovém článku.....	20
<b>3 Praktická část</b> .....	<b>26</b>
3.1 Popis pracoviště.....	26
3.2 Výroba elektrody.....	28
3.2.1 Příprava směsi.....	29
3.2.2 Vysušení a dokončení elektrody.....	29
3.3 Měření vzorků.....	30
3.3.1 Příprava cely.....	30
3.3.2 Výsledky měření.....	31
<b>4 Závěr</b> .....	<b>45</b>
<b>5 Literatura</b> .....	<b>46</b>

# 1 Úvod

Palivové články jsou již dnes hodně rozšířené, ale i přesto je v této oblasti mnohé ke zkoumání a objevování. Jedná se zejména o materiály z nichž je celý palivový článek složen. Cílem těchto zkoumání je zlevnit materiály a učinit je komerčně dostupnými. Nejvíce důležité jsou materiály elektrod a zejména jejich poměrové složení. Velmi aktuální je pohled na energetiku z hlediska ekologie, protože palivový článek by mohl být v budoucnosti dosti důležitým ekologicky čistým zdrojem energie. Stěžejním aspektem tohoto problému jsou katalyzátory palivového článku, které rozhodují o jeho energetické účinnosti, životnosti a také o ekologičnosti celého zařízení.

První známky pokusů získat elektrickou energii přímo z paliv jsou přisuzovány H. Dentu. Své výsledky zveřejnil roku 1812, které získal provozem článku, využívající uhlíkovou elektrodu jako anodu a tekutou kyselinu dusičnou jako katodový reaktant.

Průlom ve využití palivových článků nastal v roce 1932 panem F. T. Baconem. Bacon vycházel z úvahy, že nákladné palivové katalyzátory použité v minulosti v kyselinových systémech neumožňovaly komerční využití těchto článků. Aby se vyhnul tomuto problému, vytvořil Bacon vodíkově kyslíkový článek s alkalickým elektrolytem jako praktický výchozí bod, ze kterého se vyvinul dnešní komerčně využívaný článek.[4]

Takovýto typ palivového článku vyvinula a vyrobila firma ASTRIS s.r.o., která je sesterskou firmou kanadské společnosti ASTRIS INC. Tato firma se zabývá výzkumem v oblasti hledání nových levnějších materiálů pro komerční využití palivových článků. Dnes již takovýto typ výzkumu není ojedinělý a zabývá se jím stále více firem. To samozřejmě vede k objevování nových materiálů, ale také k novým typům elektrod. Zajímavou cestou se vydala firma AFC Energy. Ta vytvořila nový typ elektrod, které jsou tenčí a účinnější a mají mnohem větší životnost.

Proto cílem této práce je prozkoumat děje v palivových člancích, připravit různé druhy hmot pro elektrody a následné vyhodnocení výsledků měření.

## 2 Teoretická část

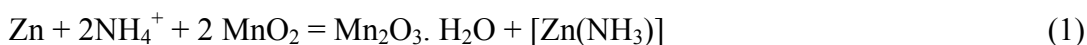
### 2.1 Elektrochemické články

Při elektrochemickém procesu se v chemické reakci mění chemická energie soustavy na energii elektrickou, anebo naopak, dodáním elektrické energie se v soustavě vyvolá přímá chemická reakce. Vztahy mezi chemickou a elektrickou energií a jevy související s jejich vzájemnými přeměnami se zabývá elektrochemie. Reakce, které jsou podstatou elektrochemických článků se nazývají oxidačně-redukční. [2]

Dále se elektrochemické články dělí na primární články, sekundární články a **palivové články**.

#### 2.1.1 Primární články

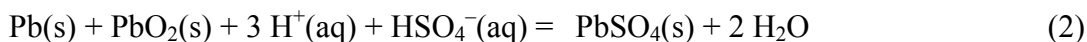
Do primárních článků se dávají elektroaktivní látky již při výrobě. Po jejich spotřebování nevratnou chemickou reakcí (po vybití článku) již nelze funkci článku obnovit. Příkladem je suchý článek (Leclanchelův). Anodou je zinková nádoba, katodou je vrstva burele nanesená na tyčince z aktivního uhlíku a grafitu, elektrolytem je chlorid amonný ve formě pasty. V článku probíhá reakce viz. Rovnice 1. [2]



Dalším příkladem primárních článků jsou např. rtuťnaté či lithiové baterie, často používané v hodinkách a kalkulátorech.

#### 2.1.2 Sekundární články

U sekundárních článků se elektroaktivní látky v článku vytváří elektrolýzou při jeho nabíjení. Při vybíjení se elektroaktivní látky opět spotřebovává. Článková reakce je vratná. Příkladem je olověný akumulátor. Katodou je olověná elektroda, pokrytá oxidem olovočitým. Anodou je čisté olovo. Elektrolytem je vodný roztok kyseliny sírové. Výslednou článkovou reakci při vybíjení lze popsat rovnicí viz. Rovnice 2 [2]



Vložení opačně orientovaného vnějšího napětí, většího než je rovnovážné napětí akumulátoru, můžeme směr reakce obrátit a článek opět nabít. Vedle olověných akumulátorů jsou používány nikl-kadmiové a alkalické, které jsou lehčí a méně provozně choulostivé. Mají však nižší napětí. [2]

Ampérhodinové kapacity které lze dosáhnout u těchto článků se pohybuje od stovek mA·h až po desítky A·h.

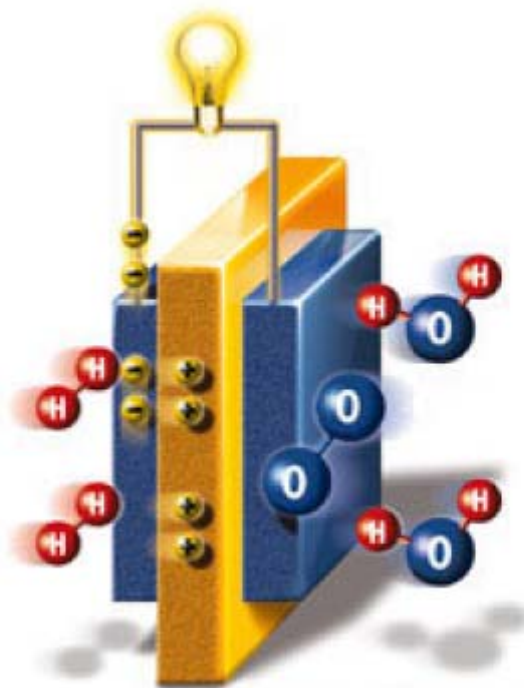
Sekundární články typu NiMH umožňují dosáhnout ampérhodinové kapacity přibližně 10 A·h. Zatímco některé typy pro elektromobily dosahují až desítky A·h. Příkladem je článek od firmy GAIA, který dosahuje ampérhodinové kapacity 60-100 A·h. [5]



Obr. 1 Baterie firmy a její parametry GAIA 288 V, 7,5 A·h [5]

### 2.1.3 Palivové články

Palivové články můžeme definovat jako elektrochemické zařízení, uskutečňující přímou přeměnu chemické energie vodíku a kyslíku na energii elektrickou, vodu a teplo. Tato přeměna se děje katalytickými reakcemi na elektrodách a je v podstatě založena na obráceném principu elektrolýzy vody. Princip činnosti palivového článku si můžeme vysvětlit pomocí jednoduchého schématu na obr. 2 [2]



Obr. 2 přibližná ukázka palivového článku[2]

Palivový článek se skládá z elektrolytu (žlutá barva), elektrod (modrá barva) a elektrického okruhu. Elektrolyt musí být iontově vodivý, v našem případě se jedná o proton vodič. Pro elektrický proud musí být dielektrikem, elektrony tedy propouštět nesmí. Vodík je přiváděn k anodě, na které se katalyticky štěpí na protony a elektrony. Protony přechází elektrolytem ke katodě, zatímco uvolněné elektrony přechází vnějším vedením a produkují elektrický proud. Ke katodě je přiváděn kyslík, který zde katalyticky reaguje s prostoupenými protony a elektrony za vzniku vody. Na obou elektrodách vzniká potenciální rozdíl kolem jednoho voltu, který při zatížení článku poklesne obvykle na hodnoty 0,5 – 0,8 V. Aby bylo dosaženo potřebného vyššího napětí, jsou desítky cel sériově uspořádány do jednotlivých svazků stavebnicovým způsobem. Jednotlivé svazky mohou být opět libovolně propojovány sériově nebo paralelně podle požadavků na produkované napětí a proud. [2]

Svou činností se palivový článek podobá klasickým akumulátorům, ve kterých rovněž probíhá přímá přeměna chemické energie na energii elektrickou. Na rozdíl od nich však používá z vnějšku dodávané palivo, což mu umožňuje libovolně dlouhý provoz. Palivem do palivových článků může být vodík v plynném nebo kapalném stavu, nebo mohou být používána nepřímá, vodík obsahující paliva, většinou různé uhlovodíky a alkoholy. Z nich je vodík uvolňován tzv. reformovacím procesem. Mezi nejvýznamnější nepřímé zdroje vodíku patří zemní plyn, metan, propan a metanol, případně etanol. Do budoucna se počítá i s využíváním dosavadních pohonných hmot do automobilů se spalovacími motory, jejich reformování je však velmi náročné a nebude zřejmě uspokojivě vyřešeno v nejbližších letech. [2]

Proti současným energetickým zdrojům mají palivové články řadu výhod, z nichž na prvním místě lze jmenovat významně vyšší účinnost a ekologický provoz. Při využívání primárních energetických zdrojů, jako je dřevo, uhlí, ropa, zemní plyn se obvykle provádí jejich spalování. Vzniklá horká voda nebo pára či plyny slouží buď jako dodavatel tepla, nebo pro pohon spalovacích motorů a turbin s využitím dalších mechanických zařízení jako jsou alternátory a generátory pro výrobu elektrické energie. Tento nepřímý postup výroby elektrické energie z původního zdroje je zatížen velkými ztrátami a má tedy nízkou účinnost, která se pohybuje do 44%. Navíc značně ohrožuje životní prostředí produkcí nadměrného množství odpadů do ovzduší, jak již bylo řečeno. Palivové články při přímé přeměně chemické energie na energii elektrickou vypouští mezistupně spalovacích procesů i pohybující se mechanická zařízení, jako jsou turbíny, alternátory a generátory nabízí proto výrazně vyšší účinnost, jež dosahuje až 85%. Jediným odpadem při provozu vodíkových palivových článků je čistá voda, při využívání reformovaných paliv je produkováno určité množství oxidu uhličitého, které je však významně nižší než u současných energetických zdrojů. Dále může být produkováno nepatrné množství oxidů dusíku, případně dalších produktů podle druhu reformovaného paliva. Z dalších předností palivových článků lze jmenovat nepatrné nároky na údržbu, protože mají minimum nebo žádné pohybující se součásti, tichý provoz bez vibrací a některé typy jsou schopné dodávat elektrickou energii ihned po spuštění reakce. Mohou tedy dobře sloužit k pohonu dopravních prostředků. V případě výroby elektrického proudu ve statických zařízeních mohou být umístěny přímo v místě spotřeby a mají možnost snadného využití odpadního tepla. Bezhluchý provoz,

nepatrné vyzařování infračerveného záření a minimální tvorba emisí, jsou velice oceňovány při vojenském využívání, protože vedle ostatních výhod výrazně snižují detekovatelnost proti současně používaným polním energetickým zdrojům. Palivových článků existuje několik druhů a většinou jsou děleny podle používaného elektrolytu a podle pracovní teploty. [2]

## 2.2 Druhy palivových článků

Nyní si jednotlivé druhy blíže popíšeme, všechny typy s nejdůležitějšími parametry jsou uvedeny v tab. 1.

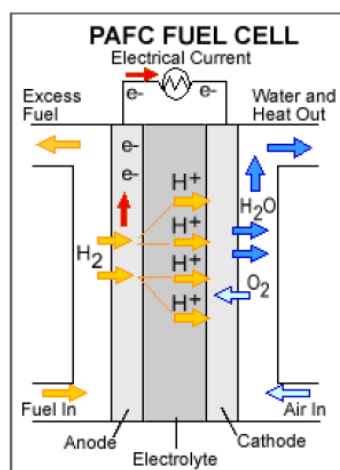
Tab. 1 Rozdělení palivových článků [2]

	<b>AFC</b>	<b>PEMFC</b>	<b>DMFC</b>	<b>PAFC</b>	<b>MCMF</b>	<b>SOFC</b>
Pracovní teplota	80-220°C	50-120°C	120-150°C	160-220°C	600-800°C	700-1000°C
Elektrolyt	KOH (30%)	Polymorfni membrána	Polymorfni membrána	Koncentrovaná kys. fosforečná	Roztavené uhličitany a karbonáty	Tuhé keramické oxidy
Palivo	Čistý vodík	Vodík, metanol	Metanol	Vodík, zemní plyn	Vodík, zemní plyn	Vodík, zemní plyn
Účinnost	60-80% *	40-80% *	40%	40-80% *	55-85% *	55-85% *
Výkon	20kW	do 250kW	do 10kW	do 11MW	do 2MW	do 10MW
Použití	Vesmír, ponorky, mobilní stanice, elektrárny	Přenosné a transportní aplikace	Přenosné aplikace	Malé elektrárny	Elektrárny	Elektrárny

\*Tato účinnost je i s využitím produkovaného tepla při reakci

### 2.2.1 PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells) Kyselé palivové články

Kyselina fosforečná, tvořící elektrolyt, je imobilizována v silikon-karbidové matici. Tyto středně teplotní články používají na obou elektrodách platinové katalyzátory. Jejich průmyslová výroba byla zahájena již na počátku devadesátých let minulého století. Mezi jejich nevýhody patří poměrně pomalá kinetika katodové reakce a nízká vodivost kyseliny fosforečné pro ionty při nižších teplotách. Ve srovnání s ostatními druhy palivových článků jsou značně objemné a těžké. [2]



obr. 3 Palivový článek PAFC [6]

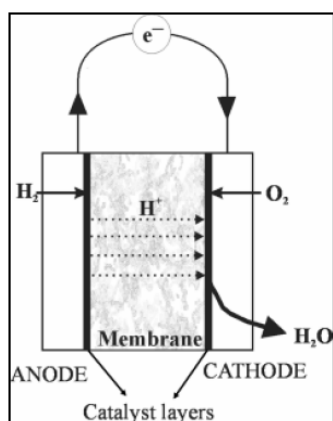
Rovnice popisující děje v článku.



### 2.2.2 PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) Membránové palivové články

Nepoužívají korozivní kapalně elektrolyty jako předchozí typ, ale pevné iontoměničové membrány. Mají velkou energetickou kapacitu při menší váze a objemu ve srovnání s ostatními typy. Používají platinový katalyzátor na obou elektrodách, který je při poměrně nízké pracovní teplotě velmi citlivý na některé jedy, především na oxid uhelnatý. Proto používaný vodík musí být dostatečně čistý. V případě používání nepřímých reformovaných paliv musí mít za reformovacím zařízením zařazen další stupeň pro katalytickou oxidaci oxidu uhelnatého na uhlíčitý. Nízká pracovní teplota na druhé straně umožňuje okamžitý start reakce při běžné teplotě a snadný přechod na teplotu pracovní. Tyto články mohou být proto výhodně používány pro pohon dopravních prostředků. Hlavním nedostatkem membránových článků je, že membrány převádí ionty jen ve zbotnalém stavu. Protože procházející vodíkové ionty odvádí z membrán i určité množství vody, je nezbytné zajistit v článku takový vodní režim, který zabraňuje vysoušení membrán.

Zvláštním druhem membránových palivových článků jsou nové typy tzv. článků regenerativních. Ty vyrábí elektrický proud z vodíku a kyslíku jako ostatní články, ale navíc jsou schopné využívat elektřinu ze solárních a jiných zdrojů a vyrábět potřebný vodík a kyslík elektrolýzou vody. To je velmi důležité např. při provozu kosmických lodí. Nachází-li se raketa na odvrácené straně od slunce, může si vyrábět energii z vodíku a kyslíku, vyrobených v období, kdy byla raketa osvětlována slunečními paprsky. [2]

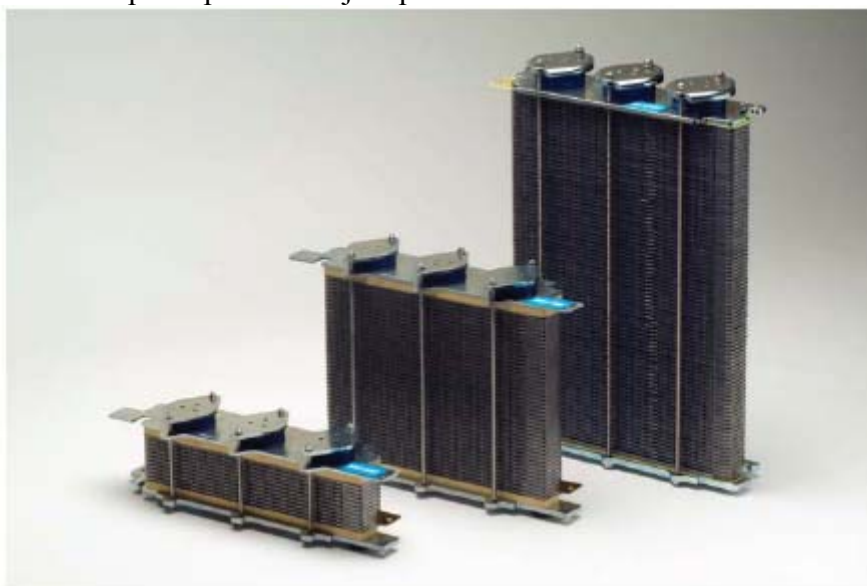


obr. 4 Palivový článek PEMFC [7]

Rovnice popisující děje v článku.



Praktické využití PEMFC článku je na obrázku 5. Jedná se o PEMFC článek jehož maximální výkon činí 1.63 kW. Úplná specifikace je v příloze 2.



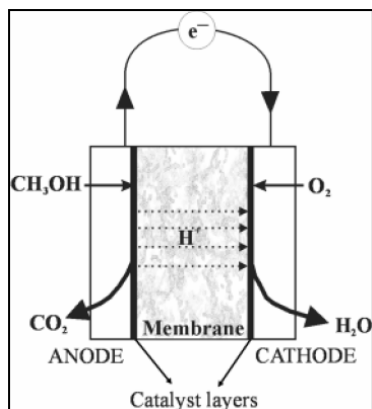
Obr. 5 Palivový článek firmy Ballard [9]

### 2.2.3 DMFC (Direct Methanol Fuel Cells) Přímé metanolové palivové články

Tyto rovněž poměrně novější palivové články nepotřebují čistý vodík, ale produkci elektronů a protonů umožňuje přímá katalytická reakce metanolu na anodě. Používají tedy jako přímé palivo vodný roztok metanolu. Elektrolytem je opět pevná membrána

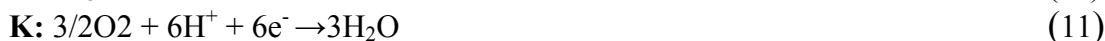


a fungují také podobně jako membránové palivové články. Protože katalytickou reakcí metanolu vzniká vedle oxidu uhličitého i menší množství oxidu uhelnatého, musí katalyzátor na anodě obsahovat vedle platiny obvykle další komponenty. Ty zajišťují oxidaci nebezpečného oxidu uhelnatého na uhlíčitý. U těchto článků nehrozí vysoušení membrány, protože je neustále zvlhčována z anodické strany vodou, tvořící podstatnou součást metanolového paliva. Nyní výzkum směřuje k výrobě přímo metanolových palivových článků, používajících místo membrány kapalný kyselý nebo alkalický elektrolyt. Jejich výroba by měla být levnější a jednodušší. [2]



Obr. 6 Palivový článek DMFC [7]

Rovnice popisující děje v článku.



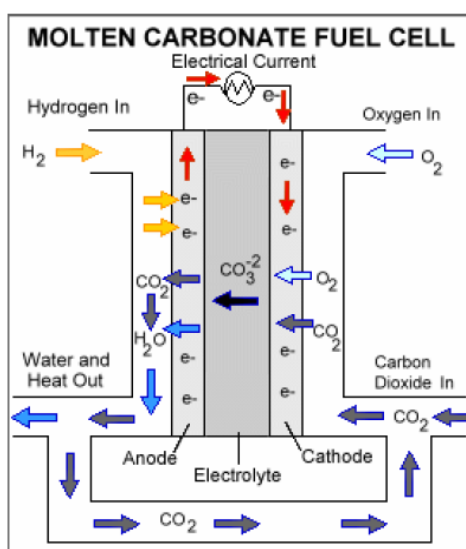
Společnost Toshiba, která je ve světě známá především výrobou elektroniky, se vrhla na zcela nové odvětví. Představila totiž dva zcela nové prototypy etanolových palivových článků s označením DMFC. Ty jsou určeny především pro mobilní telefony, MP3 přehrávače a další přenosný zařízení. Velkou výhodou těchto baterií je velká výdrž a to až 60 hodin provozu. Malá baterie s výkonem 100 mW je určen pro MP3 přehrávače. Další baterie s výkonem 300 mW je určena především pro harddiskové MP3 přehrávače s větším odběrem. U této varianty je obsah koncentrovaného metanolu 10 ml. Hmotnostně je na tom už o něco hůře a váží 270 g, rozměry 60 x 75 x 10 mm. Tento článek by měl vydržet až 60 hodin provozu. A jak se články obnovují či nabíjí? Stačí opět naplnit metanol zředěný s vodou. Bohužel však zatím větším problémem je velikost článků, který je hodně omezující. Toshiba však pracuje na menších rozměrech. [8]



Obr. 7 Využití DMFC článků v praxi [8]

#### 2.2.4 MCFC (Molten Carbonate Fuel cells) Články s tavenými karbonáty

Elektrolyt těchto článků, tvořený směsí tavených karbonátů alkalických kovů, je imobilizován v chemicky inertní keramické lithium amonium oxidové matici. Pohyblivými ionty jsou ionty karbonátové, procházející elektrolytem od katody k anodě. Díky vysoké pracovní teplotě nemusí používat drahé platinové katalyzátory, ani reformovací zařízení. Při používání nepřímých paliv jsou tato konvertována na vodík přímo uvnitř článku tzv. vnitřním reformováním. Provoz těchto článků nenarušují oxidy uhlíku, naopak oxid uhličitý může být používán jako součást paliva. Jako palivo mohou být tedy používány i produkty ze zplyňování uhlí. Je ale zapotřebí zlepšovat jejich odolnost proti sloučeninám síry. Oxid uhličitý, tvořící součást paliva, je využíván při katodické reakci, ale je zároveň produkován reakcemi na anodě. Pro účinný provoz článku je tedy zapotřebí zajistit transport tohoto plynu od anody ke katodě. Hlavní nevýhodou těchto článků je značné materiálové opotřebování, způsobené vysokými pracovními teplotami. Je zapotřebí volit pro jednotlivé komponenty článků materiály teplotně odolné a tedy i drahé. [2]



obr. 8 Palivový článek MCFC [6]

Rovnice popisující děje v článku



### 2.2.5 SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) Články s pevnými oxidy

Tyto články pracují vůbec při nejvyšší teplotě, nepotřebují tedy drahé katalyzátory, reformovací zařízení a jsou nejodolnější proti všem vlivům z nepřímých paliv. Mají o několik řádů vyšší odolnost než ostatní druhy článků proti sloučeninám síry a oxid uhelnatý může u nich dokonce sloužit jako součást paliva. Mohou tedy bez problémů používat palivo ze zplynování uhlí. Vysoké pracovní teploty umožňují těmto článkům vůbec nejvyšší účinnost. Na druhé straně jsou příčinou pomalého nastartování reakce a zvýšenou spotřebou teplotně izolačních materiálů. Hlavní nevýhodou je opět nízká odolnost konstrukčních materiálů vůči vysokým teplotám. Vývoj levných materiálů, odolávajících vysokým teplotám, je klíčovým problémem masového průmyslového využívání těchto článků. [2]

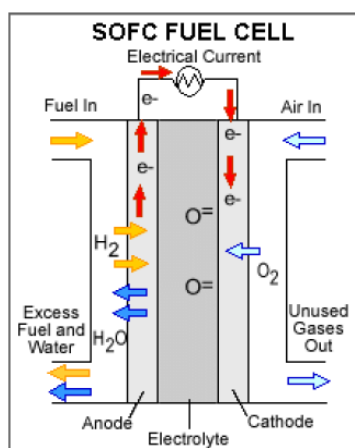
Příkladem využití tohoto typu článku může být produkt firmy VIOLET. Jeho parametry jsou 400mW/cm<sup>2</sup> a jeho hustota využití paliva je 15kW/litr.



obr. 9 Palivový článek firmy VIOLET

Rovnice popisující děje v palivovém článku





Obr. 10 Palivový článek SOFC [6]

### 2.2.6 AFC (Alkaline Fuel Cells) Alkalické palivové články

Jsou to jedny z prvních článků, široce používaných dlouhodobě v kosmickém výzkumu, i dnes. Pohyblivým iontem je u nich iont hydroxylový, procházející alkalickým elektrolytem od katody k anodě, tedy obráceně ve srovnání s kyselými články. Reakční voda vzniká také na anodické straně článku. Katodická redukce kyslíku probíhá lépe než u kyselých článků a proto nepotřebují používat na katodické straně v řadě případů drahé platinové katalyzátory. Nevýhodou těchto článků je jejich citlivost na oxid uhličitý, který reaguje s alkalickým elektrolytem za vzniku karbonátů. Proto alkalické články nemohou na rozdíl od ostatních druhů používat reformovaná paliva. Dokonce i reagující vodík a kyslík musí být před vstupem do článku zbaven oxidu uhličitého.

Jednotlivé typy článků byly objeveny v různou dobu. Nejstarší alkalické palivové články byly objeveny již v první polovině 19. století. V tab. 2 je uveden rok objevení jednotlivých článků [2]

Tab. 2 typy palivových článků a rok jejich objevení [3]

Typ palivového článku	Zkratka	Rok objevení
Alkalické palivové články	AFC	1839
Články s pevnými oxidy	SOFC	1928
Články s tavenými karbonáty	MCFC	1953
Přímé metanolové palivové články	DMFC	1944
Membránové palivové články	PEMFC	1992
Kyselé palivové články	PAFC	1986

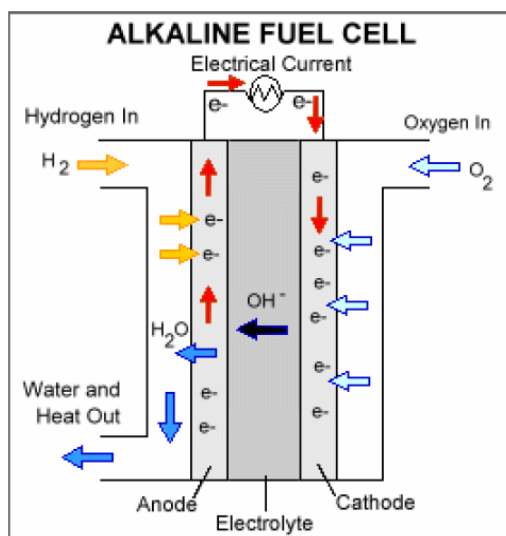
## 2.3 Alkalický palivový článek

### 2.3.1 Popis funkce Alkalického palivového článku

V palivovém článku dochází k přeměně chemické energie v elektrickou přímo a to s vysokou účinností, až 60%. Při činnosti palivového článku nedochází k degradaci chemické energie v teplo jak je tomu u tepelných strojů. Teplo vzniklé při spalování vodíku s kyslíkem je přesně definované rovnicí:

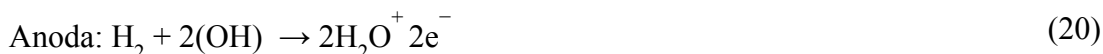


Toto teplo je v tepelném stroji využito s malou účinností 25 až 30%. V palivovém článku, probíhají dílčí reakce přímo na elektrodách soustavy. Tyto elektrody tímto získávají elektrický potenciál a celá soustava vykazuje elektromotorickou sílu. Reakcí kyslíku na elektrodě soustavy přechází tento za působení vody v hydroxylové ionty a elektroda získává kladný potenciál. Druhá elektroda na níž je přiveden vodík vykazuje záporný potenciál, získaný reakcí vodíku s uvedenými hydroxylovými ionty na vodu. Jelikož reakce proběhla na elektrodách elektrochemické soustavy, oddělených vodičem druhé třídy, nedojde k degradaci chemické energie v teplo, ale k její přeměně v energii elektrickou. Na obrázku 11 je vyobrazen alkalický palivový článek. [4]



Obr. 11 Alkalický palivový článek [6]

Děje na jednotlivých elektrodách je možno vyjádřit rovnicemi:



Tímto způsobem jsme získali elektrickou energii z AFC přímo z uvedené reakce chemickým spalováním kyslíku a vodíku bez omezení Carnotovým cyklem. Tuto energii můžeme vyjádřit součinem náboje (Q) a emsy (E) následující rovnicí:

$$A = Q * E = z * F * E \quad (23)$$

Emsy – poměr volné energie a teploty

z – počet elektronů uvolněných reakcí

F- Faradayův náboj 96,500 Coulombů = 26,8 Ah

V našem případě alkalického palivového článku z=4, E=1,23

A – 4 \* 96,500 \* 1,23 = 475 joule = 113,5 kcal

Získáme téměř stejné množství energie, avšak ve formě čisté elektrické energie. Při výpočtu jsme uvažovali teoretickou hodnotu emsy určenou z Gibbs – Helmholtzovy rovnice za předpokladu úplně vratných jevů na elektrodách. Dále jsme předpokládali, že nedochází k předávání tepla mezi elektrochemickou soustavou a okolím. Vzhledem k tomu, že na elektrodách článku probíhají i částečně nevratné děje a vzhledem k tepelným ztrátám, které vznikají v elektrochemické soustavě průchodem proudu je skutečná účinnost palivových článků nižší než udává předchozí vztah. [4]

### 2.3.2 Děje v palivovém článku

#### *Elektrodové děje*

Máme-li elektrochemickou soustavu tvořenou dvěma elektrodami ponořenou do roztoku elektrolytu, můžeme zjistit za bezproudového stavu rovnovážné potenciály  $E_r$  těchto elektrod. Podle toho, zda při průchodu proudu dojde ke změně potenciálu rozlišujeme polarizovatelné a nepolarizovatelné elektrody. Ideálně nepolarizovatelné elektrody neznáme, k ideálu se blíží elektrody druhého druhu. Z tohoto důvodu se tyto elektrody používají jako referenční, poněvadž se při proudovém zatížení udržují téměř konstantní potenciál. [4]

#### *Polarizace elektrod*

Polarizaci můžeme popsat jako změnu potencionálu elektrody při průchodu elektrického proudu. Polarizace může být způsobena přepětím, odporovou polarizací a smíšenou polarizací. Přepětí  $\eta$  je pro polarizaci určující tehdy, jestliže na elektrodě probíhá jediná elektrodová reakce a je dáno rozdílem mezi potenciálem elektrody E při průchodu proudu a rovnovážným potenciálem  $E_r$  elektrody za bezproudového stavu. [4]

$$\eta = E - E_r \quad (24)$$

Elektrodové reakce se skládají z několika dílčích jevů, které mohou zapříčinit přepětí na elektrodě. K těmto jevům patří přenos náboje na fázovém rozhraní elektroda-elektrolyt, předřazené nebo následné chemické reakce v elektrolytu nebo na elektrodě, rychlost pohybu

elektroaktivní látky k elektrodě, případně od elektrody a při vylučování kovu na katodě také rychlost začlenění vyloučených atomů kovu do krystalové mřížky.

Odporová polarizace je způsobena ohmickým odporem vrstvy málo vodivého elektrolytu, nebo málo vodivou vrstvičkou tuhé látky, která se tvoří na elektrodě. Příkladem jsou kovy v pasivním stavu.

Probíhají-li dva nebo více elektrodoových reakcí na elektrodě současně, mluvíme o smíšené polarizaci.

Hodnota elektrodoového potenciálu je závislá na velikosti protékajícího proudu. Abychom vyloučili velikost povrchu, vztahujeme procházející proud na plošnou jednotku elektrod a při grafickém znázornění vynášíme závislost potenciálu na proudové hustotě. Proudovou hustotu  $j$  udáváme v  $A \cdot cm^{-2}$  nebo v  $A \cdot m^{-2}$  a počítáme ze vztahu.

$$j = I/A \quad (25)$$

kde  $I$  je proud v ampérech,  $A$  je plocha elektrody v  $cm^2$  nebo v  $m^2$ . Podle toho, zda zjišťujeme anodickou nebo katodickou polarizaci, hovoříme o anodické proudové hustotě  $+I$  (značí se také  $I_a$ ), nebo o katodické proudové hustotě  $-I$  (značí se také  $I_k$ ). Změnu potenciálu elektrody při průchodu proudu vyjadřují polarizační křivky, které získáme vynesáním potenciálu  $E$  v závislosti na proudové hustotě  $i$ .

#### *Palivo pro alkalické palivové články*

Teoretický, kterákoli látka schopná chemické oxidace může být použita pro anodu palivového článku a podobně pro katodu může být použito jakékoli oksylichovadlo, které v dostatečném poměru může vyvolávat redukční reakci. Zatím jsou nejvíce propracovaná paliva plynná, užitá v přímém palivovém článku s tekutým elektrolytem, kde se zpravidla užívá vodíku jako paliva, jako oksylichovadlo je použito kyslíku. V případě použití znečištěného vodíku dochází k znehodnocování elektrolytu a tzv. otravě elektrod. Jako elektrolytu je obvykle použit koncentrovaný alkalický roztok, který se během činnosti článku zředí vodou, vznikají u záporné elektrody a proto musí být voda odváděna ze soustavy. Kromě vodíku jsou dnes již využívány tyto paliva: methan, CO, H<sub>2</sub>, uhlovodíky, průmyslové plyny, formaldehyd, uhlí, hydrazin. [4]

#### *Katalýza*

Reakční rychlost některých chemických reakcí závisí na přítomnosti látek, které se při reakci nespotebávají. Látky, mající schopnost měnit reakční rychlost, se nazývají katalyzátory a jejich vliv na reakční rychlost se nazývá katalýza. Názvy katalyzátor a katalýza vytvořil a zavedl Berzelius (1835), i když myšlenky o katalýze byly vysloveny již dříve. Otázkami katalýzy se zabýval také D. P. Konvalov (1884) a W. Ostwald (1888), který jako první zdůraznil skutečnost, že katalyzátor sice ovlivňuje reakční rychlost, ale nemá vliv na polohu

rovnováhy. To znamená, že u zvratných reakcí urychluje katalyzátor přímou i zpětnou reakci ve stejném poměru. Podle původní definice byla přisuzována katalyzátoru měnit jen rychlost reakce. Později se ukázalo, že existují reakce zejména v živých organismech, které by bez katalyzátorů vůbec neprobíhaly. U bočných reakcí bylo pozorováno, že určitý katalyzátor urychluje jen jednu z možných reakcí. Na základě pozorovaných skutečností můžeme definovat katalyzátor takto: [4]

Katalyzátor je látka, která může reakci vyvolat, měnit její rychlost a vést ji určitou cestou, ale není ho třeba uvádět ve výsledné formulaci chemické proměny. Pozitivní katalyzátory reakci urychlují, negativní katalyzátory reakci zpomalují. Negativní katalyzátory se nazývají inhibitory nebo též stabilizátory. [4]

Pro katalýzu je charakteristické, že velmi malá množství látky stačí na zreagování velkého množství látek. I když se stav a množství katalyzátoru nezmění neznamená to, že se reakce nezúčastní. Katalyzátor ovlivňuje průběh reakce účastí v jednotlivých dílčích pochodech chemického děje, po jeho skončení se však uvolňuje nezměněný. [4]

Podle toho, jestli je katalyzátor a reagující látky v jedné fázi nebo v různých fázích, rozlišujeme katalýzu homogenní a katalýzu heterogenní. Některé biologické vysokomolekulární katalyzátory jsou v koloidním stavu a nazývají se katalyzátory mikroheterogenní. [4]

#### *Elektrokatalýza*

Průběh elektrokatalýzy souvisí s předáváním náboje reaktantů při vzájemném působení soustavy elektroda-elektrolyt. V procesu anodového rozkladu nebo katodového slučování se jednotlivé náboje transformují na kovové ionty v elektrolytu a na elektrony ve vnějším elektrickém obvodu.

V elektrokatalýze, stejně jako u chemické katalýze je reakční rychlost závislá na katalické aktivitě katalyzátoru. [4]

#### *Funkce elektrokatalýzy*

Funkcí katalyzátoru je zvýšení rychlosti reakce nebo vyvolání reakce mezi reaktanty snížením bariéry nutné aktivační energie. Chemická katalýza bývá obvykle závislá na teplotě. Elektrokatalýza navíc bývá závislá na elektrickém poli mezi elektrodou a elektrolytem. Rozdíl potenciálu by měl být menší nebo roven 100mV.

Rozdíl mezi elektrokatalýzou a obvyklou chemickou katalýzou je rozlišení nosičů na obou polovinách reakce, jedné strany z oxidace a druhé strany redukce a rozdílného umístění reakcí a různých katalyzátorů. Tedy, místo přímé elektronové výměny mezi reaktantami v rozpouštědlo nebo adsorpci elektronů katalyzátorem, jsou elektrony nuceny putovat skrz vnější elektrický obvod a volná energie (napětí) se využije na užitečnou elektrickou práci. To přináší možnost využít dvou rozdílných katalýz: první určenou pro reakce na anodě a druhou pro reakci na katodě. [4]



### *Problém s CO<sub>2</sub>*

Ve vzduchu je asi 350 ppm CO<sub>2</sub>, který dýcháme. Běžně je přijímáno, že CO<sub>2</sub> je největší nevýhodou AFC článku. Ale je to opravdu Pravda? Karl Kordech, vynálezce prvních baterií a palivových článků na Union Carbide, US řekl, že již v roce 1970 je tento problém přeháněn. Přesto mýty o CO<sub>2</sub> stále přetrvávají. Současní vědci zjistili sérií kontrolních měření při užití čistých reaktantů a užitím nejmodernějších měřících technologií, že karbonová koncentrace roste během operací s CO<sub>2</sub>, který je obsažen v plynech. Ale nezjistili žádný důkaz, že CO<sub>2</sub> ovlivňuje elektrodový degradační proces. [6]

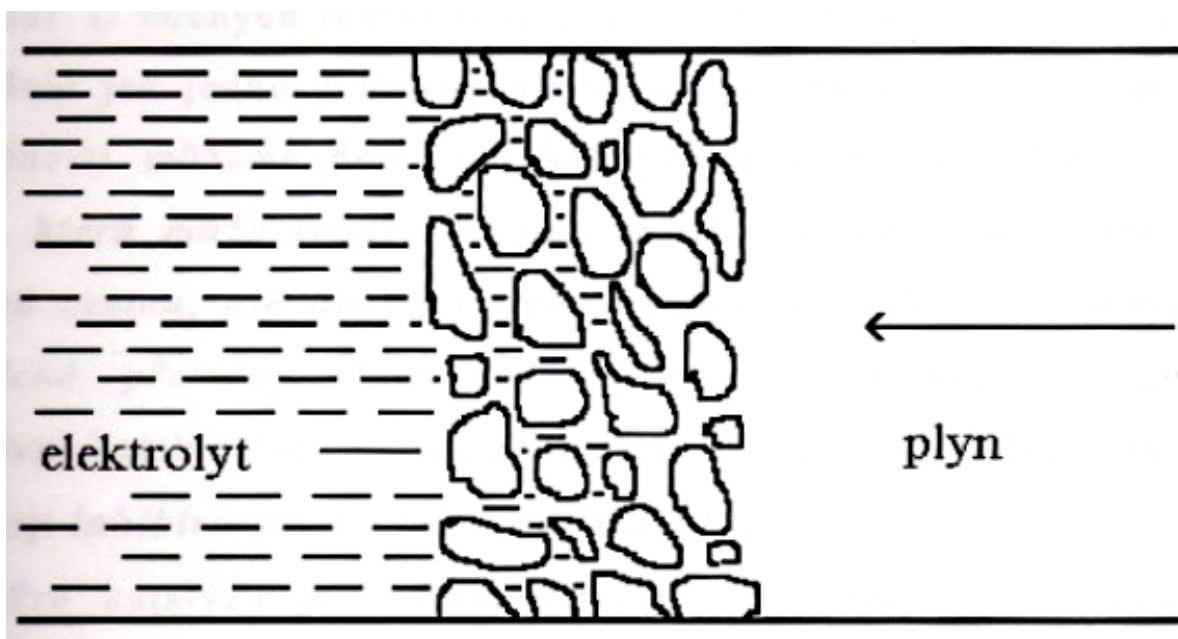
### *Elektrody alkalického palivového článku*

Při použití plynného paliva nastává zásadní problém v provedení tzv. plynové difúzní elektrody, která musí vhodným způsobem aktivovat příslušné plyny, aby došlo k elektrodovému ději. Není žádoucí souvislé pokrytí elektrody plynem, což např. nastávalo u prvních palivových článků. Které začátkem 19. Století objevil Ritter a Grove při pozorování elektrolýzy okyselené vody mezi platinovými elektrodami. Elektrodový děj musí probíhat prakticky na rozhraní třech fází: plynu, pevné elektrody a elektrolytu. Elektrody mají mít co nejvíce pórů, které jsou z části vyplněny plynem a z části elektrolytem. Velmi úzké póry se zaplňují elektrolytem, neboť kapilární vztlak je příliš velký. Naopak sirší se zaplňují plynem, neboť kapilární vztlak je příliš malý. Při správné funkci plynové elektrody musí být tlak plynu (Pg) v rovnováze s hydrostatickým tlakem (Ph) a kapilárním výtlakem (Pk). [4]

$$P_g = P_h + P_k \quad (26)$$

Vhodnou, tzv. homoporézní elektrodou pro funkci alkalického palivového článku s plyným palivem vyvinul profesor E. Justi. Tato elektroda se získá sintrováním práškovitého stlačeného kovu a následujícím vylouhováním. Tyto elektrody nemají ani příliš úzké, ani příliš široké póry, avšak vyžadují velmi přísně omezený pracovní tlak plynu. Schématický řez porézní elektrodou při její funkci v článku je patrný na obrázku 12

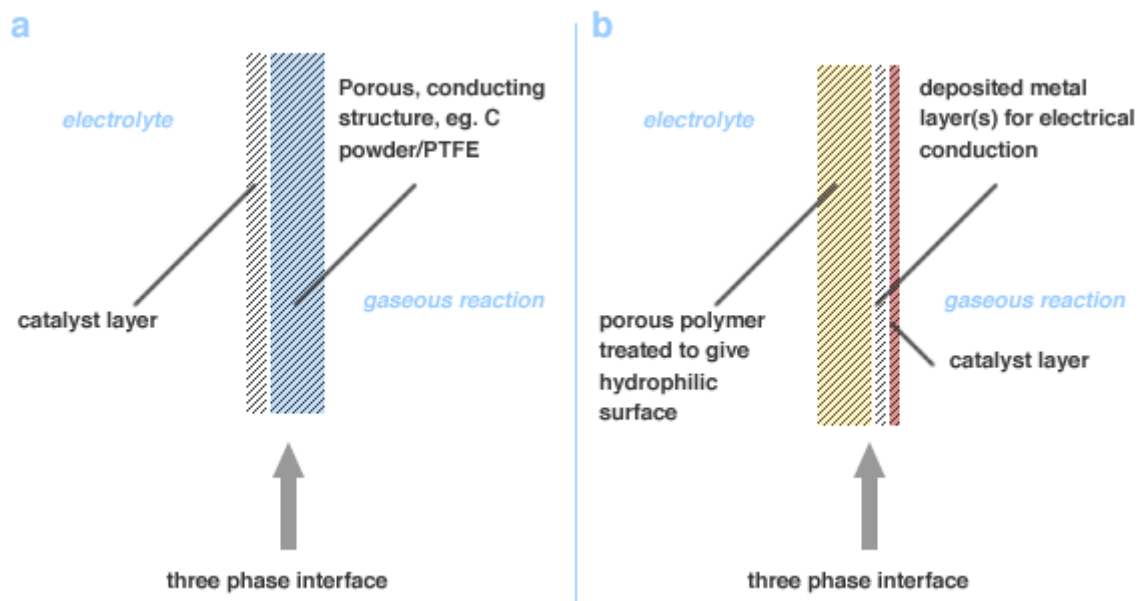
Hlavní problém realizace alkalického palivového článku je katalická aktivita elektrod, která je závislá především na jejich složení a technologickém zpracování. Elektrody musí obsahovat pevný vodivý základní skelet a aktivní mikroskelet katalyzátoru. [4]



Obr. 12 Schématický řez porézní elektrodou [4]

#### *Jiný typ elektrod*

Elektrody firmy AFC Energy byly navrženy, aby jejich výroba byla co nejlevnější, ale nepříznivě to neovlivňovalo operační efektivitu. Drahé kovy byly co nejvíce eliminovány a všechny materiály mají přinejmenším 50 let známe i jejich bezpečnost a prodává je více výrobců. Tyto elektrody jsou založeny na nových výhodných továrních materiálech které mají jedinečné vlastnosti požadované pro optimální operace a extrémně nízkou cenu. Základní materiál je složen z speciální vrstvy vyráběné z netkaného plastického materiálu, který je pokryt kovovou vrstvou. Tato základní vrstva je následně použita jako základ pro řadu důležitých materiálů které zahrnují katalyzátory a vodivé vrstvy. Tyto materiály jsou extrémně tenké a jsou velice přesně přidělány na substrát ve formě homogenní vrstvy. Úroveň přesnosti konstrukce tenké vrstvy je nutné dodržet pro kyslíkovou, vodíkovou a vodivou cestu elektrolytu. To má za následek vysokou efektivitu a extrémně nízkou cenu konstrukce elektrod, které jsou navržena pro zlepšení systému a implementována do něj. Typická tloušťka pro elektrody v Alkalickém palivovém článku je 1.5mm, zatímco elektrody AFC Energy mají tloušťku pouze 200 mikrometrů. [3]



Obrázek 13:a) Standartní plynová elektroda b) Struktúra elektrod nové generace pórových elektrod pro plynové reaktanty [3]

## 3 Praktická část

### 3.1 Popis pracoviště

Cela QC 200 od firmy ASTRIS

Technické údaje:

Model: QC 200

Konfigurace: jednoduchý článek

Aktivní plocha elektrody: max. 4,9 cm<sup>2</sup>

vzdálenost elektrod: 15 mm

množství elektrolytu: 200 ml

maximální proud: určeno elektrodou a typem procesu

pracovní teplota: -50 až 100 °C

materiál: epoxidová pryskyřice

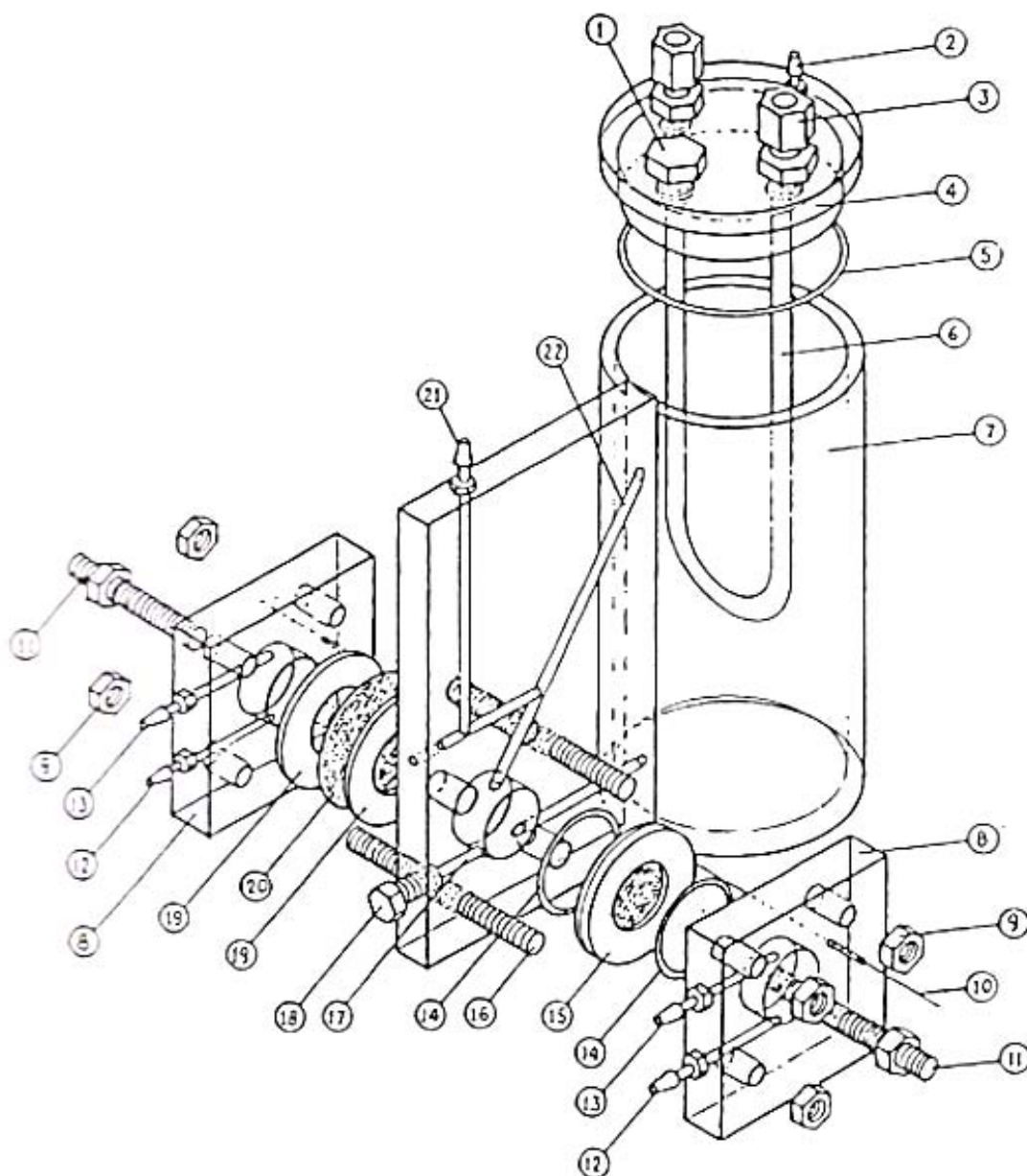
rozměry:      výška – 160 mm

                    délka – 150 mm

                    šířka – 75 mm

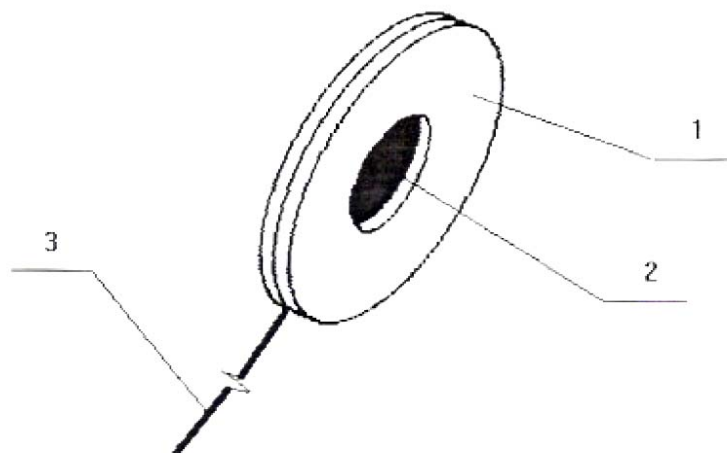
Obal článku je vyroben z epoxidové pryskyřice. Jednotlivé části článku jsou popsány v legendě. Plyný vodík se do plynové komory k anodě dopravuje v trubičkách pod mírným přetlakem. Odvod zbylého nezreagovaného plynného vodíku z prostoru plynové komory je realizován opět trubičkou, jejíž konec je ponořen do nádoby s vodou. Optimální tlak plynu vstupující do plynové komory se určuje empiricky. O správném tlaku plynného vodíku informuje velice pozvolné probublávání vycházejícího nezreagovaného vodíku. Přívod a odvod plynného kyslíku ke katodě je realizován obdobně s tím, že tlak vstupujícího plynného kyslíku je větší – tj. mohutnější probublávání zbylého nezreagovaného plynu. Vyhřívání elektrolytu je realizováno protékáním teplé vody kovovou trubicí ponořenou do rezonátoru elektrolytu. Optimální pracovní teplota článku je kolem 60°C. Kontinuální výměna – recyklace elektrolytu z rezervátoru do prostoru elektrochemických reakcí článku je řešena pomocí tlakového vzduchu, který se přivádí do oběžného systému elektrolytu. Rezervátor (nádobka) má objem na 2,2 l. Tak velké množství cyklujícího elektrolytu zajistí kontinuální provoz článku bez výměny elektrolytu, který se v průběhu měření znehodnocuje. Uvedení

článku do chodu znamená především zajistit přívod plynného kyslíku, vodíku a vody o teplotě 60°C. [4]



Obr. 21 Cela 1- zátka se závitem (slouží k nalévání elektrolytu ), 2- zátka se závitem (slouží k nalévání elektrolytu ), 3- ventil tlakového vzduchu, upevňovací šroub pro přívod a odvod teplé vody, 4- víko elektrolytového rezervátoru, 5- kruhové těsnění, 6- dílec teplovodního vytápění, 7- rezervátor elektrolytu, 8- plynová komora, 9- upevňovací šroub, 10- drátěná vývod elektrody, 11- upevňovací šroub, 12- výstup plynu, 13- vstup plynu, 14- kruhové těsnění, 15- elektroda rámečkem, 16- fixní nosný šroub, 17- prostor pro optimální umístění senzoru teploty elektrolytu, 18- krytovací šroub, 19- rámeček elektrody, 20- elektroda, 21- vstup tlakového vzduchu, 22- trubice pro oběh elektrolytu z prostoru elektrodového systému [4]

Na obrázku 22 je zakreslen rámeček pro elektrodu. Elektroda je realizována niklovou mřížkou, která je pokryta reaktivní látkou (na obrázku je značena číslem 2). Celá tato mřížka je vsazena do epoxidových rámečků, společně s drátem, přes nějž budeme měřit (epoxidový rámeček – číslo 1, drát – číslo 3).



Obr. 22 Kroužek s elektrodou, 1- epoxidový rámeček, 2- elektroda, 3- drátový vývod [4]

### 3.2 Výroba elektrody

Tab.2 druhy dopantů pro kladnou elektrodu

Označení vzorku	Použitý dopant	Navážky		
		0,084 mol C	0,0084 mol KMnO <sub>4</sub>	0,0084 mol dopant
		hmotnost [g]	hmotnost [g]	hmotnost [g]
C + MnO <sub>x</sub>	-	1	1,46	-
C + MnO <sub>x</sub> + Co	Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1	1,46	2,43
C + MnO <sub>x</sub> + Mn <sup>1</sup>	MnSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1	1,46	1,26
C + MnO <sub>x</sub> + Mn <sup>2</sup>	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1	1,46	2,09
C + MnO <sub>x</sub> + Zn	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	1,46	1,06
C + MnO <sub>x</sub> + Mg	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1	1,46	2,14

### 3.2.1 Příprava směsi

Záporná elektroda

Postup 1

Používá se uhlík chezacarb A (jemně mletý), k 0,6 gramů tohoto uhlíku se přidá směs H<sub>2</sub>O a iso-propyl-alkoholu namíchaná v poměru 2:1. Směs přidáváme do uhlíku, dokud nám nevznikne hustá pasta. Obvykle je to 0,3-0,4 ml. Do vzniklé pasty přidáme 1 ml 6% H<sub>2</sub>PtC<sub>16</sub>.

Postup 2

Opět použijeme uhlík chezacarb A (jemně mletý). 0,6g tohoto uhlíku smícháme se směsí H<sub>2</sub>O a iso-propyl-alkoholu namíchaná v poměru 2:1, až vznikne hustá pasta. V tomto případě přidáme katalyzátor, až na úplný závěr výroby. Po vysušení elektrody nanese na povrch elektrody tenkou vrstvu platiny (1 ml 6% H<sub>2</sub>PtC<sub>16</sub>).

Kladná elektroda

Redukcí KMnO<sub>4</sub> na uhlíkových sazích, připravíme katalytický materiál. Do 600 ml vroucí vody nasypeme dopant s příslušným typem uhlíku (Chezacarp A), a přivedeme k varu. Přidáme 3,96 g KMnO<sub>4</sub> (10% molárního množství sazi), které se rozpustí v 300 ml H<sub>2</sub>O. Směs, která vznikne po 5ti minutách varu, se odstaví, dekantuje, vyfiltruje a usuší při teplotě 80 °C. Po vysušení přidáme H<sub>2</sub>O a iso-propyl-alkohol namíchaný v poměru 2:1 (asi 0,5-0,6 ml), aby vznikla hustá pasta.

Rovnice redukce manganistanu draselného za vzniku Katalyzátoru MnO<sub>2</sub>



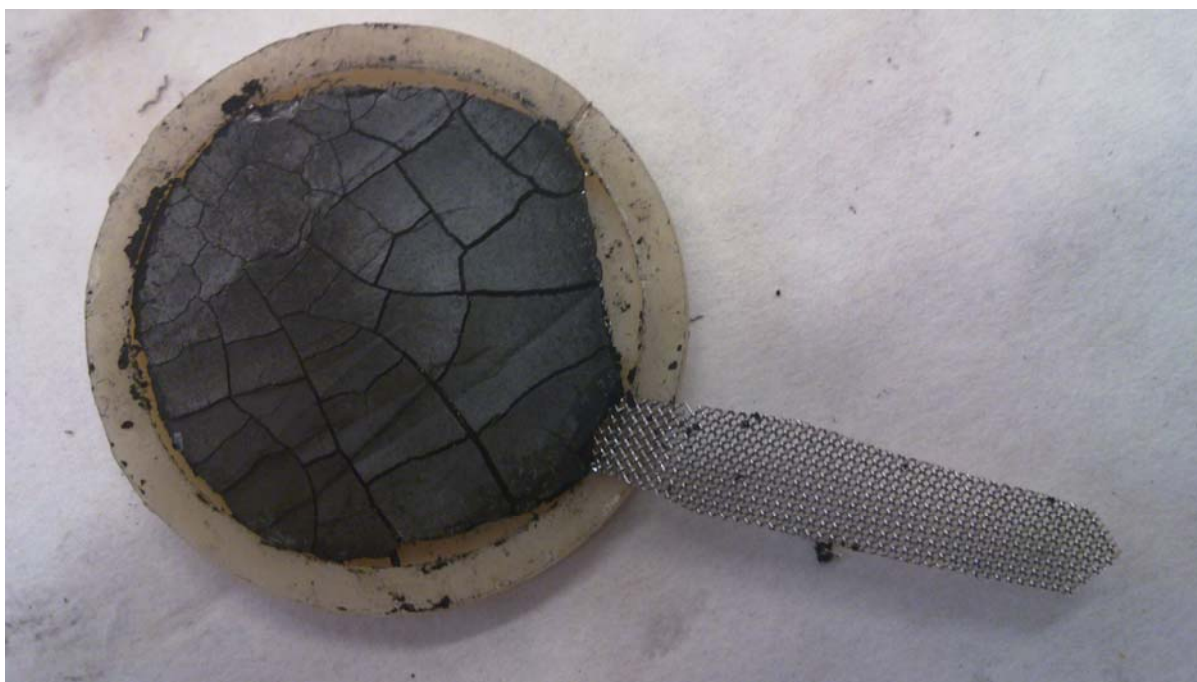
Množství reagujících látek bylo určeno tak, aby vlastní katalyzátor MnO<sub>2</sub> tvořil 10% z celkového molárního množství připravené hmoty.

### 3.2.2 Vysušení a dokončení elektrody

Před rozetřením pasty na niklovou mřížku ještě přidáme 1,4 ml 6 % PTFE (teflonu) do směsi. Nyní rozetřeme směs rovnoměrně po niklové mřížce, tato mřížka je už vystřižená do tvaru elektrody. Směs roztíráme, dokud nebude mít tloušťku do 3 mm. Nyní zahřejeme lis na 150-160 °C. Mřížku s rozetřenou směsí obalíme z obou stran alobalem a vložíme do rozehrátého lisu. Pak zvyšujeme tlak až do meze 1,4 tuny/cm<sup>2</sup>. Takto elektrodu necháme 40 minut. Po vysušení má elektroda tloušťku 1mm. Pokud by jsme elektrodu nenechali úplně vysušit, dojde k popraskání jejího povrchu a dokonce k odpadávání některých částí viz. Obr. 25.

Směs uhlíku, teflonu a H<sub>2</sub>O s iso-propyl-alkohol musíme namíchat v procentuálním poměru.

Aktivní materiál	60%
6% Teflon	13%
Isopropylalkohol	27%



Obr. 23 vysušená elektroda s poškozeným povrchem

### 3.3 Měření vzorků

#### 3.3.1 Příprava cely

Vysušenou a vystříženou kladnou elektrodu vložíme do rámečku viz. Obr 25 . Tento rámeček připevníme k cele šrouby. Stejný postup zopakujeme i pro zápornou elektrodu. Takto připravenou celu můžeme zapojit do elektrického obvodu. Do série připojíme odporovou dekádu a ampérmetr, paralelně pak voltmetr. K elektrodám připevníme přívody paliva. Kladná elektroda – vzduch, záporná elektroda – vodík. Dále do cely nalijeme 1 molární roztok KOH. Nyní je cela připravena k měření.



### 3.3.2 Výsledky měření

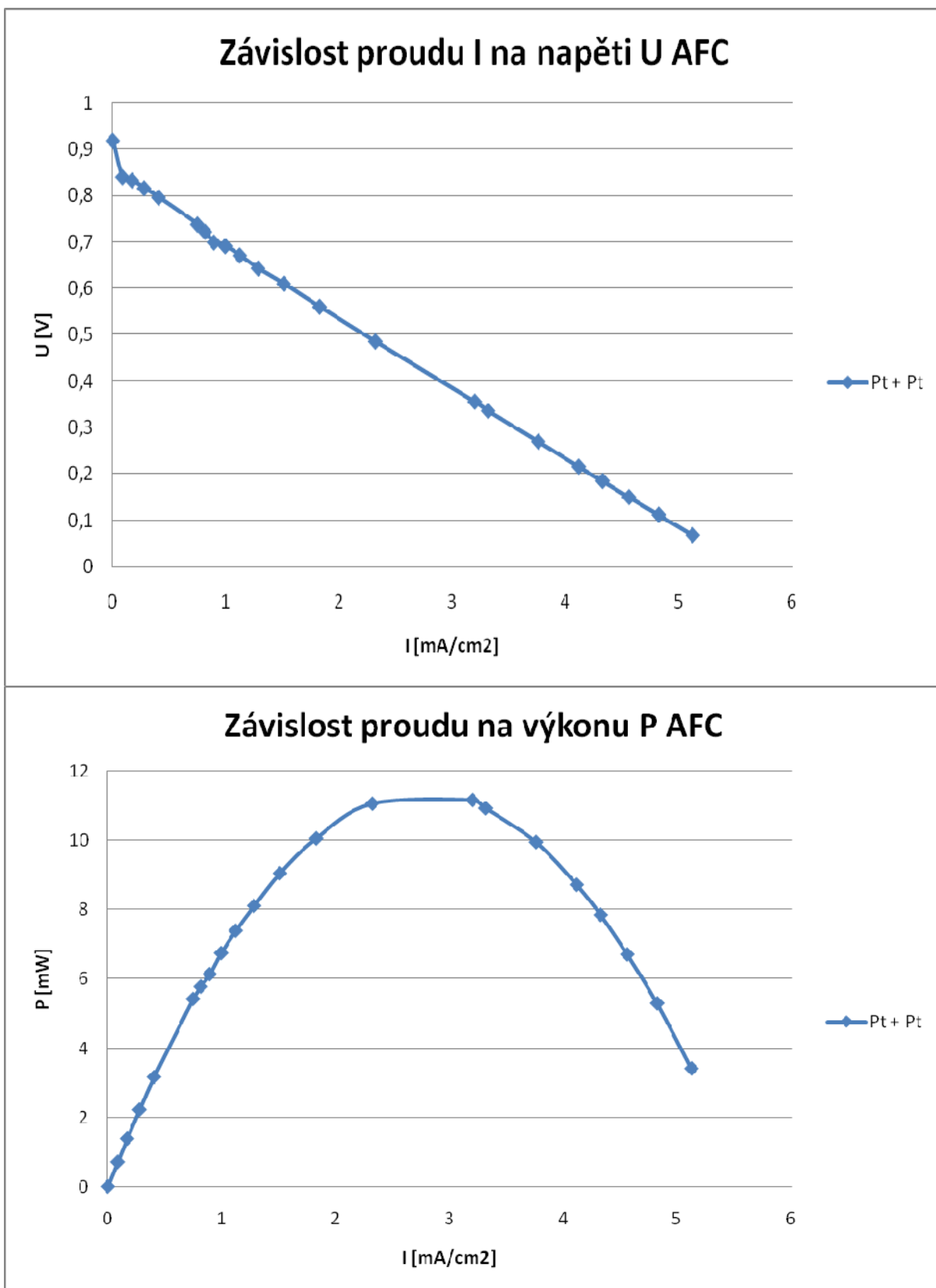
#### Vzorek 1

Zápornou elektrodu tvoří směs uhlíku chezacarbu A s 6%  $H_2PtC_{16}$ , která je na povrch elektrody nanášena nástřikem. Pro kladnou elektrodu je použit stejný materiál. Elektrolyt tvoří 1 molární KOH. Hodnoty množství katalyzátoru a dopantu jsou uvedeny v tab. 2.

S článkem jsem dosáhl největšího napětí 0,92 V. Nakrátko měl článek proud 50,19 mA. Největší výkon se pohyboval kolem 11 mW. Palivem pro zápornou elektrodu byl vodík. Pro kladnou elektrodu jsem použil vzduch. Měření probíhalo při teplotě elektrolytu 25°C.

Tab. 3 Naměřené hodnoty

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,92	0,01	0,611	14,8
0,841	0,85	0,561	17,91
0,834	1,67	0,486	22,73
0,817	2,72	0,356	31,33
0,797	3,97	0,336	32,49
0,739	7,33	0,27	36,82
0,723	7,99	0,216	40,32
0,7	8,76	0,185	42,38
0,692	9,74	0,15	44,67
0,672	10,99	0,112	47,24
0,644	12,58	0,068	50,19



Obr. 24 Graf závislosti proudu na napěti a výkonu, katalyzátor Pt

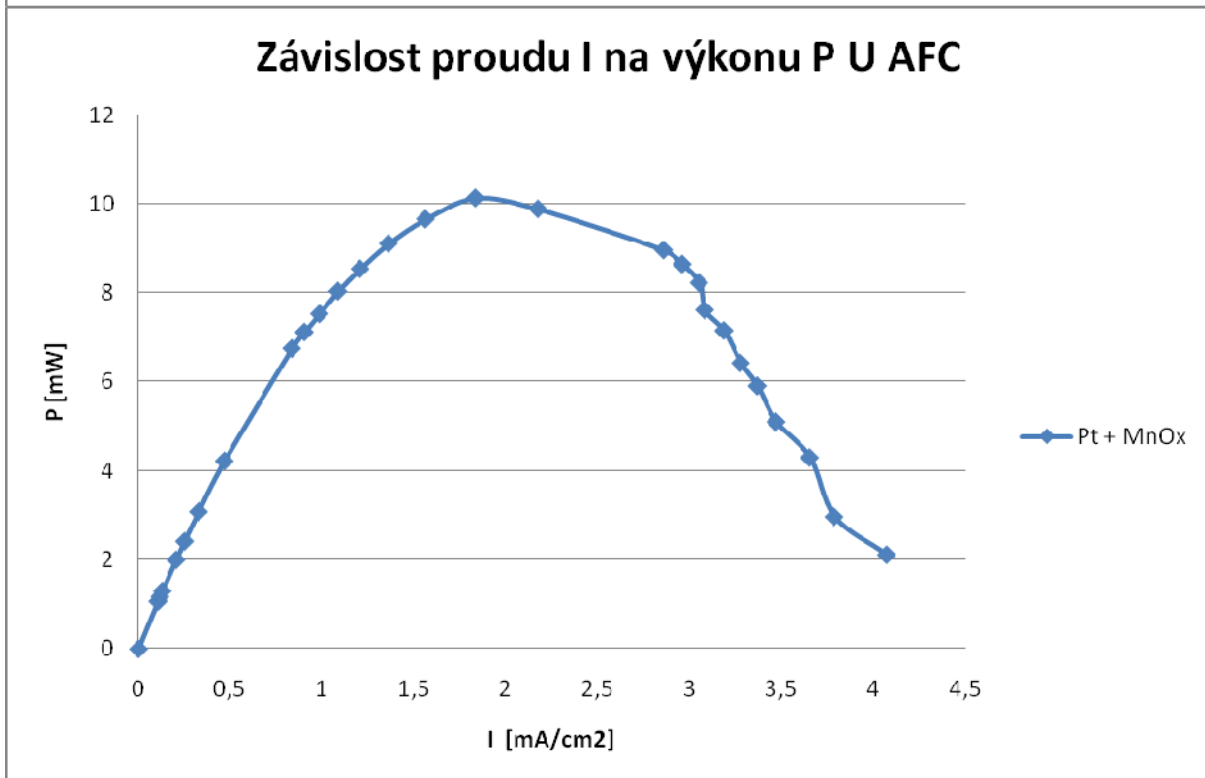
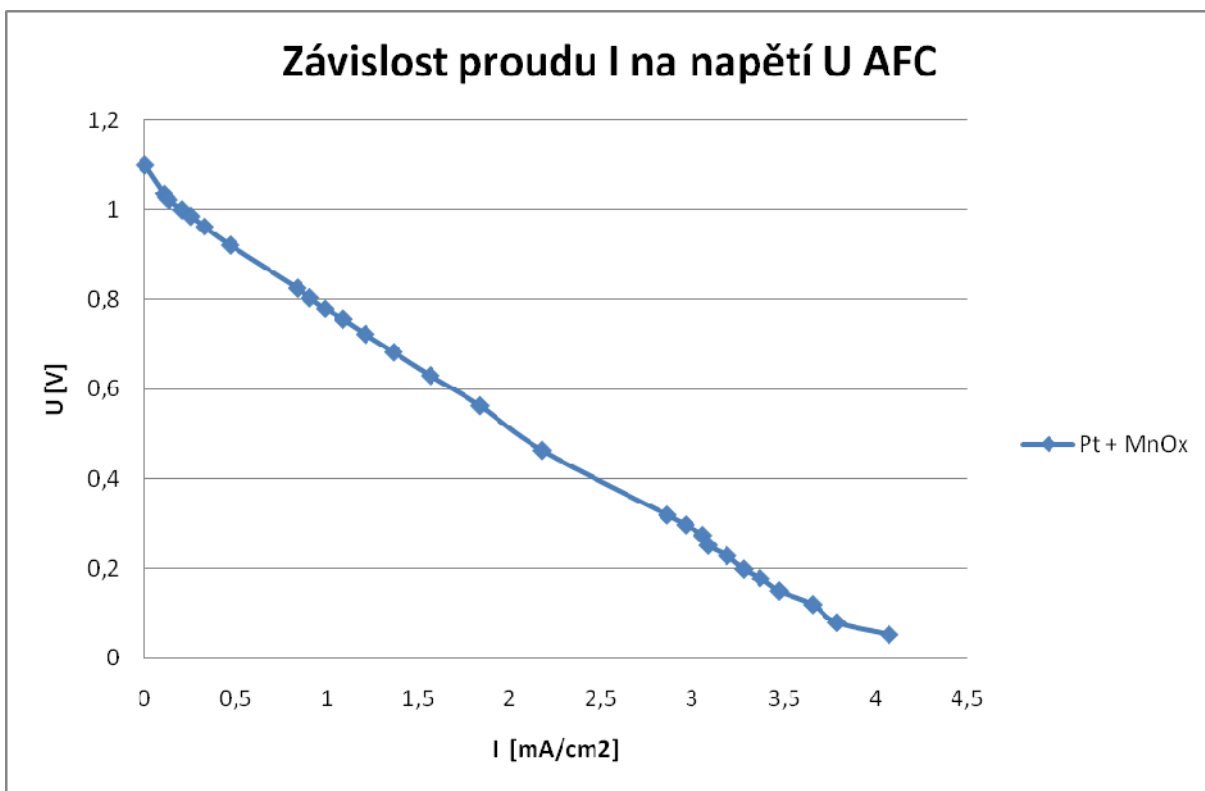
## Vzorek 2

Zápornou elektrodu tvoří směs uhlíku chezacarbu A s 6%  $H_2PtC_{16}$ , která je na povrch elektrody nanášena nástřikem. Kladná elektroda je směsí uhlíku chazacarbu A s katalyzátorem  $MnOx$ . Elektrolyt tvoří 1 molární KOH. Hodnoty množství katalyzátoru a dopantu jsou uvedeny v tab. 2.

S článkem jsem dosáhl největšího napětí 1,1 V. Nakrátko měl článek proud 39,9 mA. Největší výkon se pohyboval kolem 10 mW. Palivem pro zápornou elektrodu byl vodík. Pro kladnou elektrodu jsem použil vzduch. Měření probíhalo při teplotě elektrolytu 25°C.

Tab. 4 Naměřené hodnoty

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
1,1	0	0,805	8,84	0,298	29
1,036	1,03	0,78	9,65	0,275	29,9
1,028	1,14	0,756	10,63	0,252	30,2
1,022	1,27	0,723	11,81	0,229	31,22
1	2	0,683	13,33	0,2	32,11
0,986	2,45	0,631	15,3	0,179	33
0,963	3,2	0,564	17,96	0,15	34
0,922	4,58	0,464	21,3	0,12	35,8
0,826	8,17	0,32	28	0,08	37,1
				0,053	39,9



Obr. 25 Graf závislosti proudu na napětí a výkonu, katalyzátor Pt, MnOx

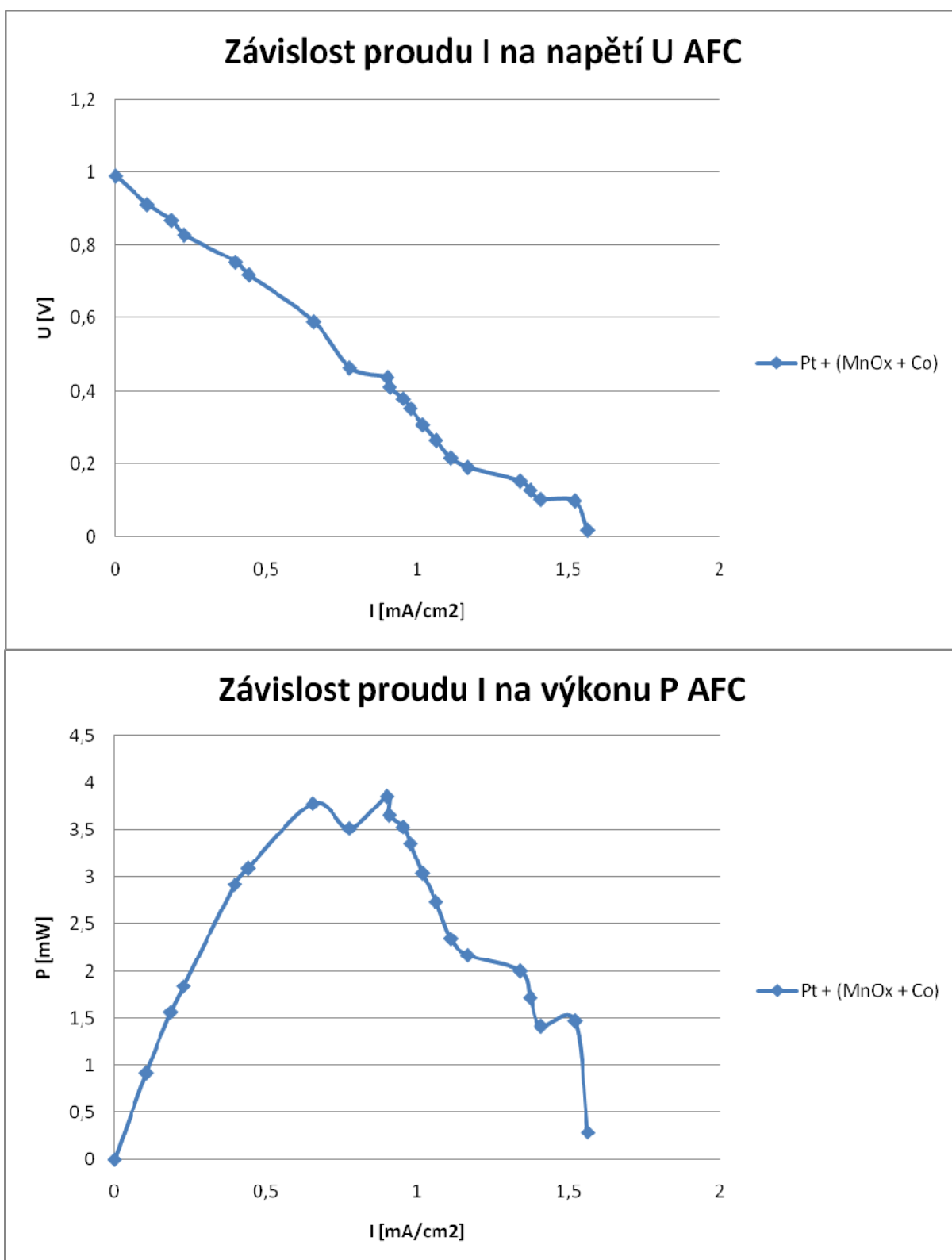
### Vzorek 3

Zápornou elektrodu tvoří směs uhlíku chezacarbu A s 6%  $H_2PtC_{16}$ , která je na povrch elektrody nanášena nástřikem. Kladná elektroda je směsí uhlíku chazacarbu A s katalyzátorem  $MnO_x + Co$ . Elektrolyt tvoří 1 molární KOH. Hodnoty množství katalyzátoru a dopantu jsou uvedeny v tab. 2.

S článkem jsem dosáhl největšího napětí 0,99 V. Nakrátko měl článek proud 15,3 mA. Největší výkon se pohyboval kolem 4 mW. Palivem pro zápornou elektrodu byl vodík. Pro kladnou elektrodu jsem použil vzduch. Měření probíhalo při teplotě elektrolytu 25°C.

Tab. 5 Naměřené hodnoty

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,99	0	0,464	7,58	0,216	10,86
0,912	1,01	0,438	8,81	0,19	11,42
0,869	1,8	0,412	8,88	0,153	13,11
0,829	2,22	0,379	9,32	0,128	13,44
0,753	3,88	0,351	9,56	0,103	13,78
0,718	4,31	0,306	9,95	0,099	14,88
0,59	6,41	0,264	10,38	0,019	15,3



Obr.26 Graf závislosti proudu na napětí a výkonu, katalyzátor Pt, MnO<sub>x</sub> + Co

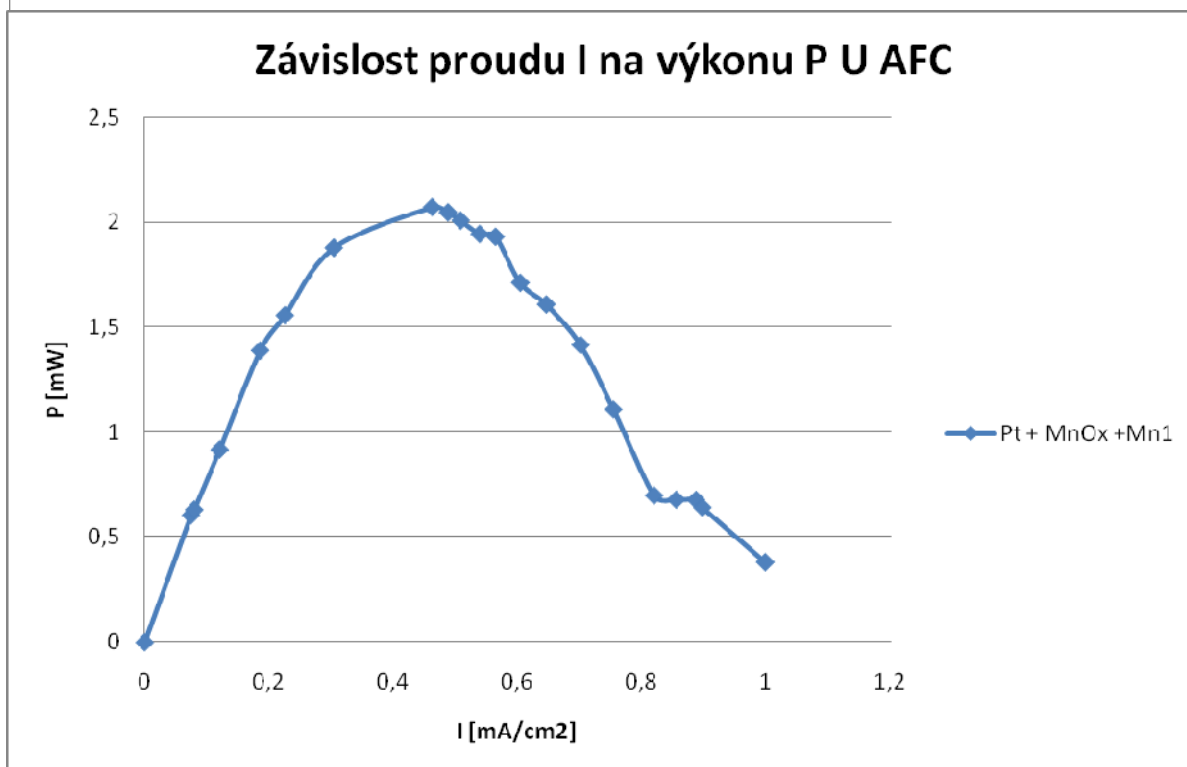
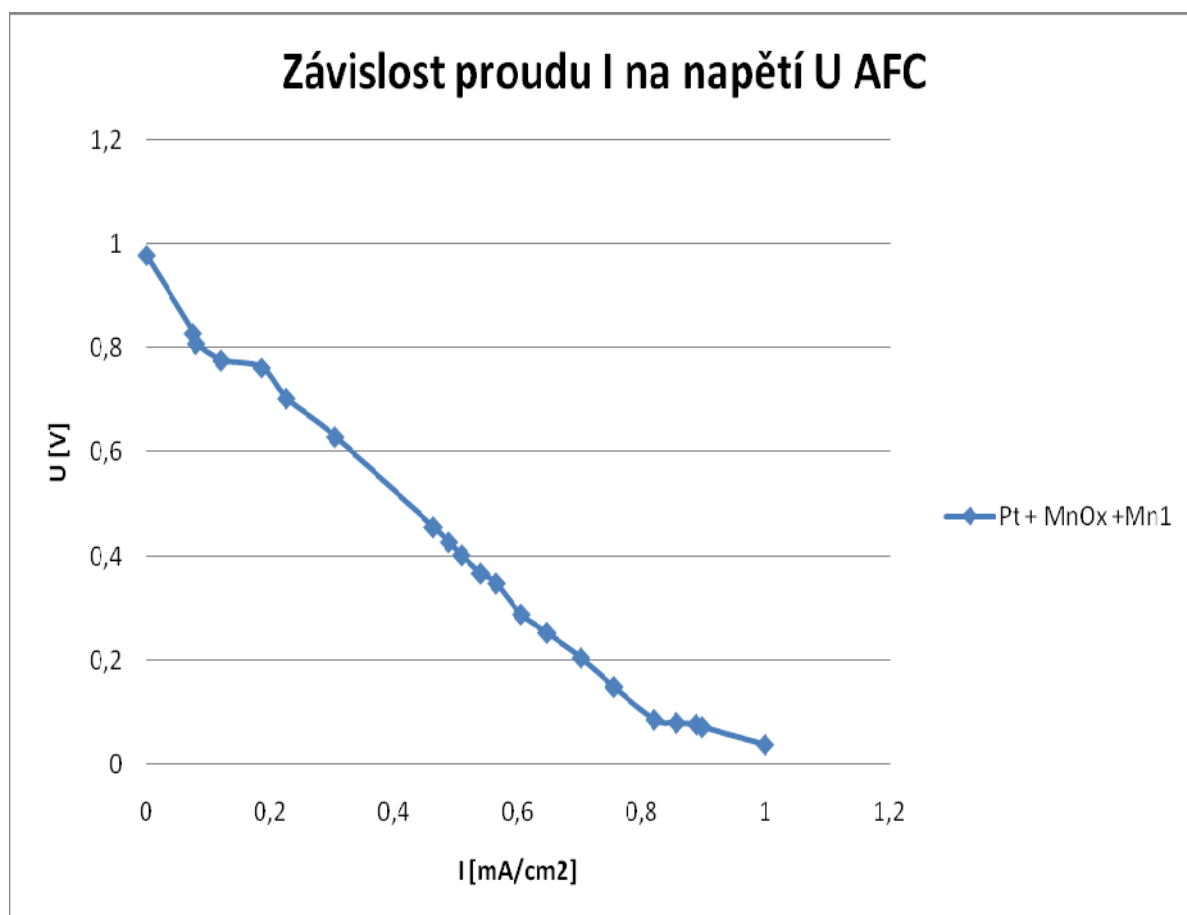
#### Vzorek 4

Zápornou elektrodu tvoří směs uhlíku chezacarbu A s 6%  $H_2PtC_{16}$ , která je na povrch elektrody nanášena nástřikem. Kladná elektroda je směsí uhlíku chazacarbu A s katalyzátorem  $MnO_x + Mn^I$ . Elektrolyt tvoří 1 molární KOH. Hodnoty množství katalyzátoru a dopantu jsou uvedeny v tab. 2.

S článkem jsem dosáhl největšího napětí 0,979 V. Nakrátko měl článek proud 9,78 mA. Největší výkon se pohyboval kolem 2 mW. Palivem pro zápornou elektrodu byl vodík. Pro kladnou elektrodu jsem použil vzduch. Měření probíhalo při teplotě elektrolytu 25°C.

Tab. 6 Naměřené hodnoty

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,979	0	0,457	4,53	0,206	6,87
0,829	0,73	0,428	4,78	0,15	7,39
0,809	0,78	0,403	4,98	0,087	8,03
0,777	1,18	0,368	5,28	0,081	8,38
0,763	1,82	0,349	5,53	0,078	8,69
0,704	2,21	0,289	5,92	0,073	8,79
0,63	2,98	0,254	6,33	0,039	9,78



Obr. 27 Graf závislosti proudu na napětí a výkonu, katalyzátor Pt, MnO<sub>x</sub> + Mn<sup>1</sup>



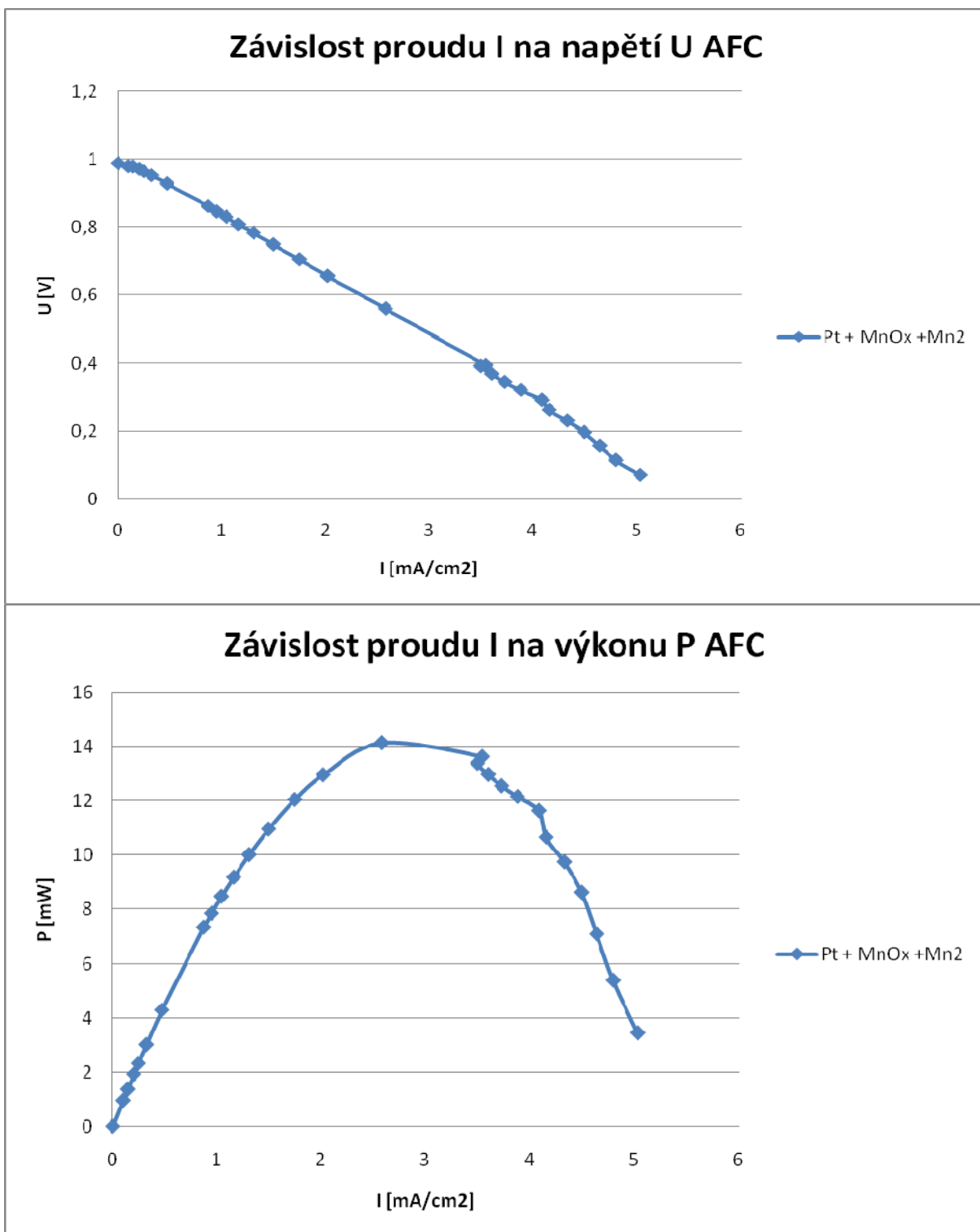
## Vzorek 5

Zápornou elektrodu tvoří směs uhlíku chezacarbu A s 6%  $H_2PtC_{16}$ , která je na povrch elektrody nanášena nástřikem. Kladná elektroda je směsí uhlíku chazacarbu A s katalyzátorem  $MnO_x + Mn^2$ . Elektrolyt tvoří 1 molární KOH. Hodnoty množství katalyzátoru a dopantu jsou uvedeny v tab. 2.

S článkem jsem dosáhl největšího napětí 0,988 V. Nakrátko měl článek proud 49,3 mA. Největší výkon se pohyboval kolem 14 mW. Palivem pro zápornou elektrodu byl vodík. Pro kladnou elektrodu jsem použil vzduch. Měření probíhalo při teplotě elektrolytu 25°C.

Tab. 7 Naměřené hodnoty

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,988	0,01	0,808	11,37	0,32	38,01
0,979	0,98	0,783	12,8	0,291	40,01
0,978	1,4	0,749	14,64	0,262	40,7
0,971	1,99	0,705	17,1	0,23	42,41
0,964	2,41	0,656	19,76	0,196	44,04
0,952	3,17	0,56	25,26	0,156	45,46
0,928	4,62	0,393	34,7	0,1146	47
0,861	8,53	0,391	34,25	0,07	49,3
0,846	9,29	0,368	35,26		
0,83	10,22	0,344	36,51		



Obr. 28 Graf závislosti proudu na napětí a výkonu, katalyzátor Pt, MnO<sub>x</sub> + Mn

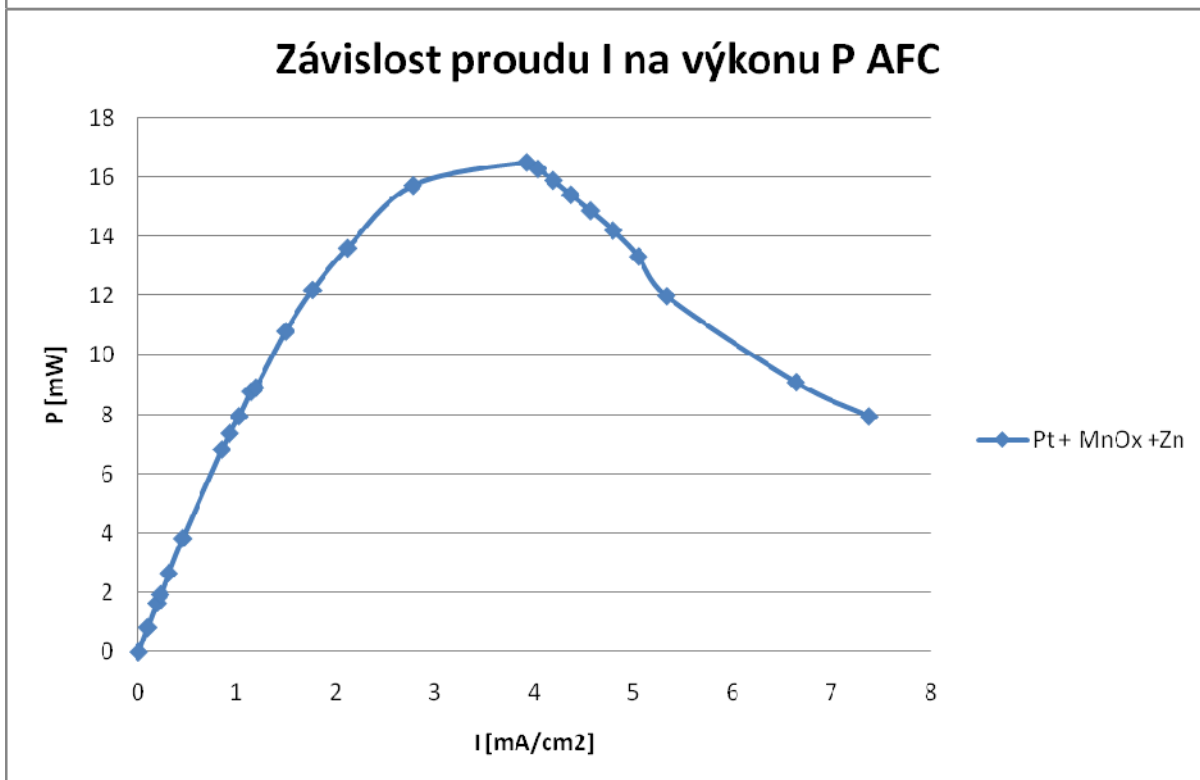
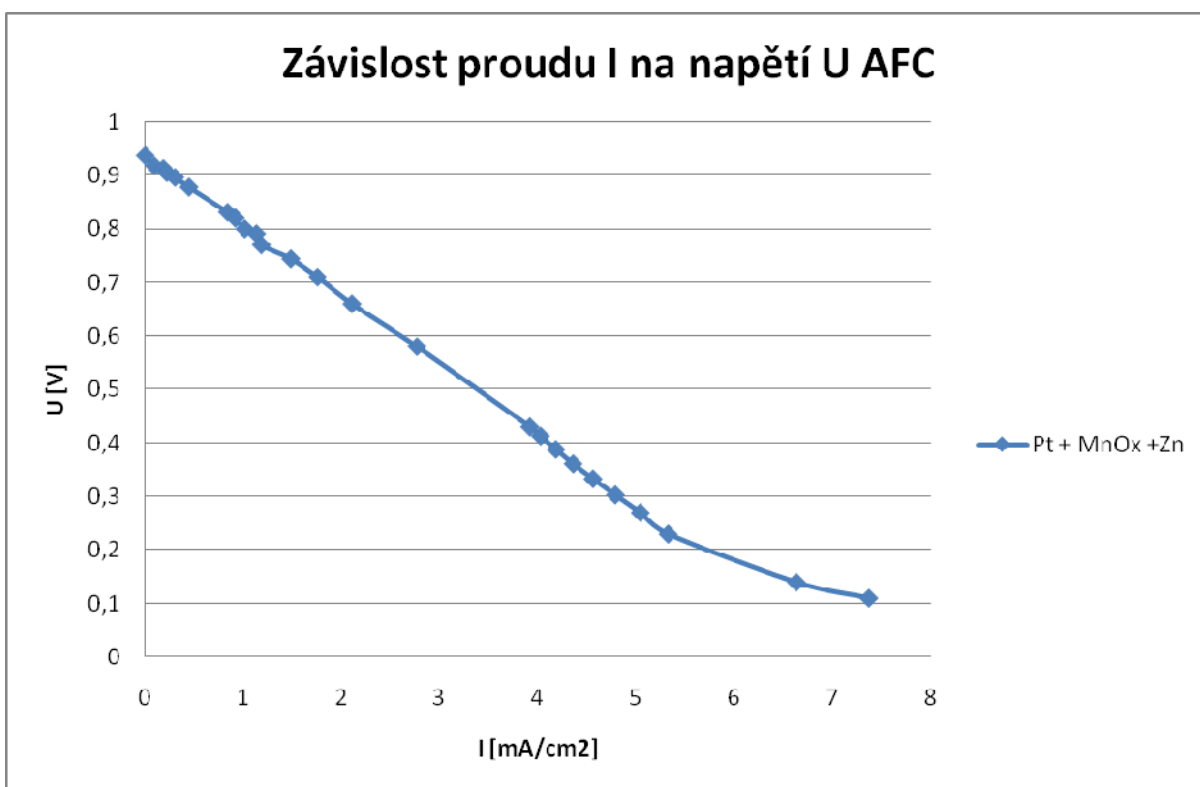
## Vzorek 6

Zápornou elektrodu tvoří směs uhlíku chezacarbu A s 6%  $H_2PtC_{16}$ , která je na povrch elektrody nanášena nástřikem. Kladná elektroda je směsí uhlíku chazacarbu A s katalyzátorem  $MnO_x + Zn$ . Elektrolyt tvoří 1 molární KOH. Hodnoty množství katalyzátoru a dopantu jsou uvedeny v tab. 2.

S článkem jsem dosáhl největšího napětí 0,937 V. Nakrátko měl článek proud 72,24 mA. Největší výkon se pohyboval kolem 16 mW. Palivem pro zápornou elektrodu byl vodík. Pro kladnou elektrodu jsem použil vzduch. Měření probíhalo při teplotě elektrolytu 25°C.

Tab. 8 Naměřené hodnoty

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,937	0	0,791	11,1	0,388	41
0,918	0,91	0,77	11,58	0,361	42,72
0,913	1,81	0,744	14,54	0,333	44,7
0,905	2,15	0,71	17,2	0,303	46,93
0,896	2,97	0,66	20,64	0,27	49,42
0,878	4,37	0,58	27,13	0,23	52,2
0,831	8,22	0,43	38,4	0,14	65
0,82	9	0,413	39,46	0,11	72,24
0,8	9,94				



Obr. 29 Graf závislosti proudu na napětí a výkonu, katalyzátor Pt, MnO<sub>x</sub> +Zn

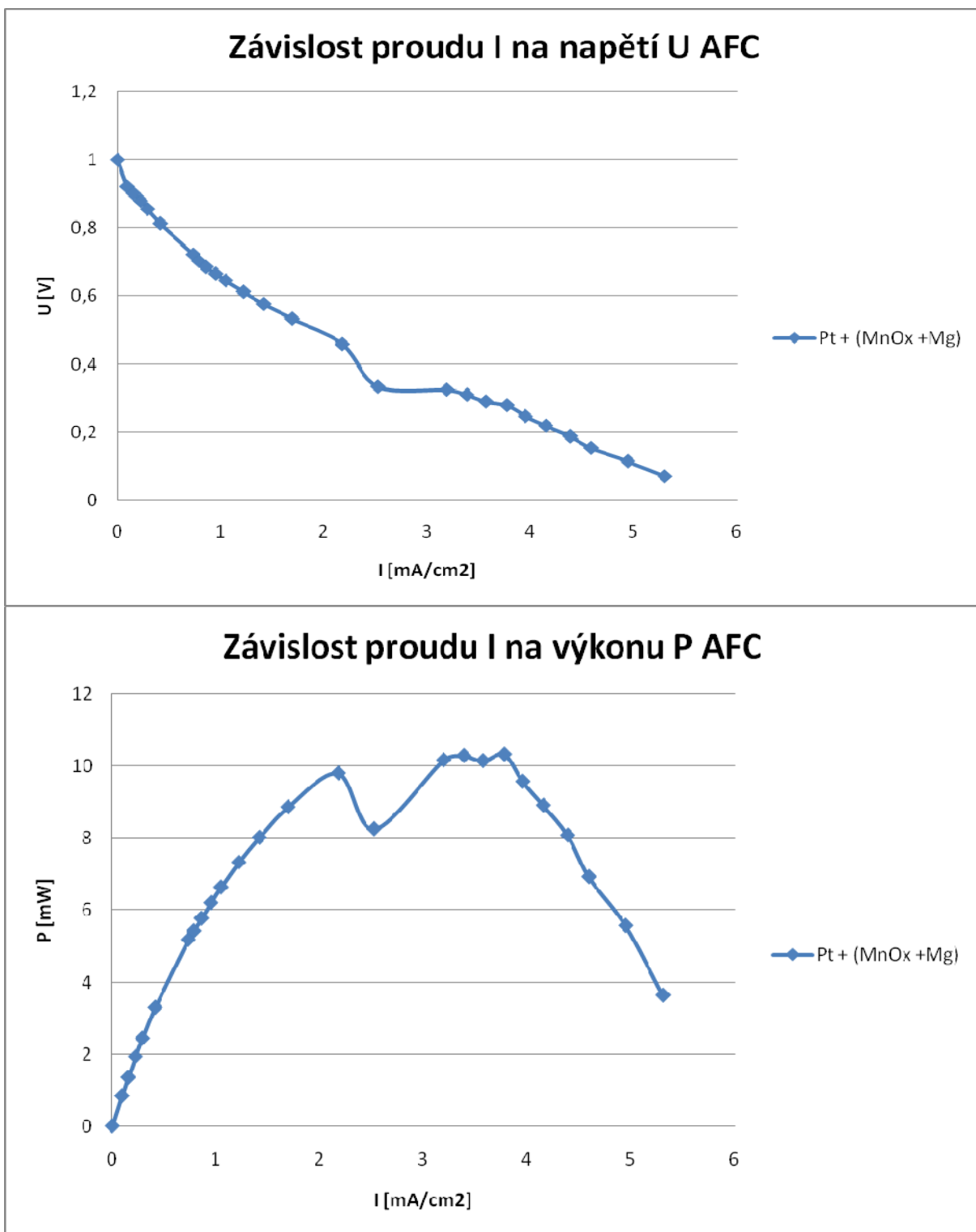
## Vzorek 7

Zápornou elektrodu tvoří směs uhlíku chezacarbu A s 6%  $H_2PtC_{16}$ , která je na povrch elektrody nanášena nástřikem. Kladná elektroda je směsí uhlíku chazacarbu A s katalyzátorem  $MnO_x + Mg$ . Elektrolyt tvoří 1 molární KOH. Hodnoty množství katalyzátoru a dopantu jsou uvedeny v tab. 2.

S článkem jsem dosáhl největšího napětí 1,001 V. Nakrátko měl článek proud 52 mA. Největší výkon se pohyboval kolem 10 mW. Palivem pro zápornou elektrodu byl vodík. Pro kladnou elektrodu jsem použil vzduch. Měření probíhalo při teplotě elektrolytu 25°C.

Tab. 9 Naměřené hodnoty

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
1,001	0,01	0,666	9,32	0,29	35
0,922	0,92	0,646	10,28	0,279	37,02
0,902	1,51	0,613	11,96	0,247	38,76
0,88	2,2	0,577	13,9	0,219	40,7
0,856	2,86	0,534	16,6	0,188	43
0,814	4,06	0,459	21,36	0,154	45
0,722	7,18	0,334	24,73	0,115	48,48
0,703	7,72	0,325	31,29	0,07	52
0,686	8,42	0,31	33,2		



Obr. 30 Graf závislosti proudu na napětí a výkonu, katalyzátor Pt, MnO<sub>x</sub> + Mg

## 4 Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumat děje v palivových článcích a prakticky změřit na Alkalickém palivovém článku od firmy ASTRIS. V této práci jsem prozkoumal děje v Alkalickém palivovém článku. Součástí práce bylo i průzkum trhu. Alkalické palivové články jsou nejstarší typy palivových článků, ale pro komerční použití jejich využití není tak velké jako u ostatních typů. Menší článek od formy ASTRIS dosahuje maximálního výkonu 2 kW. V praktické části práce jsem se věnoval shromáždění informací o průběhu měření na Alkalickém palivovém článku QC 200, který vyrobila již zmiňovaná firma ASTRIS. Věnoval jsem se také přípravě hmot pro měření na tomto článku a zprovoznění části článku. Při přípravě elektrod je důležité dodržet předepsané postupy. Obzvláště při vysoušení elektrody je nutné dodržet předepsaný čas vysoušení. Jinak dojde k porušení povrchu elektrody, nebo dokonce k odpadnutí materiálu elektrody od niklové mřížky. S tímto postupem jsem dosáhl téměř 100% výtěžnosti při výrobě. I povrch elektrod po měření zůstal nezměněn a neporušen. Různé katalytické materiály měly různou účinnost zrychlení reakce. Všechny vzorky měly podobné výstupní napětí, kolem 1V. Největší napětí jsem dosáhl se vzorkem 2 1,1V s katalyzátorem MnO<sub>x</sub>. Ovšem největší proud měl vzorek 6 s katalyzátorem MnO<sub>x</sub> +Zn 72 mA. U ostatních vzorků se proud pohyboval do 50 mA. Nejmenší proudy měly vzorky 3 a 4 tj. 15 a 10 mA. Tyto malé proudy mohly být způsobeny špatným dopantem, nebo nedostatečným množstvím dopantu. Také při výrobě referenční záporné elektrody byl zvolen postup nanesení platiny nástřikem, což není optimální. Nejperspektivnějším katalyzátorem se jeví MnO<sub>x</sub> +Zn, jež dosáhl největšího výkonu 16mW. Tento katalyzátor má předpoklad k dalšímu použití. Jemu i dalším se bude věnovat v dalším zkoumání.

## 5 Literatura

- [1] KOTEK, Luboš. *H2WEB* [online]. 15. 02. 2006 [cit. 2008-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://vodik.czweb.org/view.php?cislocclanku=2006021501>>.
- [2] Vedoucí projektu: Antonín Český, Spoluautoři: Ing. Josef Křepinský, Ing. Vladimír Cívín, Ing. Miroslav Bleha, CSc., Mgr. Jana Čejková, Spoluřešitelé: Ing. Miroslav Malý, CSc., Ing. Jaroslav Vích, Jindřich Pavelka CEA [online]. říjen 2003 [cit. 2008-11-16]. Dostupný z WWW: <<http://CEA.com/report3>>
- [3] AFC Energy plc, Unit 71.4 Dunsfold Park, Stovolds Hill, Cranleigh, Surrey, GU6 8TB [online]. 17.4. 2007 [cit. 2008-10-25]. Dostupný z www: <[www.afcenergy.com](http://www.afcenergy.com)>
- [4] VANĚK, Jiří. Katalické aktivní hmoty pro palivové články. [s.l.], 1995. 63 s. Diplomová práce.
- [5] Lithiové akumulátory velkých výkonů a jejich použití [online]. 2005 [cit. 2008-11-15]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26540](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26540)>.
- [6] PALIVOVÉ ČLÁNKY PRINCIP, VÝZNAM A POUŽITÍ. In HASAL, P. PALIVOVÉ ČLÁNKY. [s.l.] : [s.n.], 2000. s. 136.
- [7] Palivové články. In Palivové články. [s.l.] : [s.n.], 2002. s. 113.
- [8] Palivové články do MP3 přehrávačů s výdrží až 60 hodin [online]. 2009 [cit. 2008-11-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.mpx.cz/MP3-HARDWARE/Palivove-clanky-do-MP3-prehravacu-s-vydrzi-az-60-hodin.html>>.
- [9] Corporate Direction [online]. 2008 [cit. 2008-12-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.ballard.com/files/pdf/Spec\\_Sheets/Mark1020\\_ACS\\_-\\_SPC5101559-0B\\_Ver\\_3\\_.pdf](http://www.ballard.com/files/pdf/Spec_Sheets/Mark1020_ACS_-_SPC5101559-0B_Ver_3_.pdf)>.
- [10] Welcome to Valeswood Hydrogen Fuel Cells [online]. 2008 [cit. 2008-12-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.valeswood.com/>>.
- [11] We are full of energy [online]. 2008 [cit. 2008-11-24]. Dostupný z WWW: <[www.h-tec.com](http://www.h-tec.com)>.
- [12] ASTRIS energi [online]. 2008 [cit. 2008-12-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.astris.ca/home/home.php>>.



- [13] AFC Energy [online]. 2008 [cit. 2008-12-21]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.afcenergy.com/wp-content/uploads/2008/03/afc\\_annualreport\\_march\\_2008.pdf](http://www.afcenergy.com/wp-content/uploads/2008/03/afc_annualreport_march_2008.pdf)>.
- [14] ACME Tele Power [online]. 2008 [cit. 2008-12-12]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.acmetelepower.com/alkaline\\_fuel\\_cells.asp](http://www.acmetelepower.com/alkaline_fuel_cells.asp)>.