

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Dynamická analýza situace PEM článku pod kyslíkovým
krytem**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš ŠAŠEK**
Osobní číslo: **E12B0156P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Dynamická analýza situace PEM článku pod kyslíkovým krytem**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Z dostupné literatury sestavte rešerši o vlivu kyslíkového krytu na oxidační části PEM článku.
2. Proveďte detailní analýzu všech ovlivňujících fyzikálních a dynamických veličin ovlivňujících oxidační proces PEM článku s kyslíkovým krytem.
3. Proveďte měření s využitím digitálního oxymetru GMH s využitím různého stupně utěsnění celého krytu.
4. Na základě provedených měření definujte dynamické parametry saturace krytu kyslíkem a stanovte dynamický model chování celého systému.
5. Stanovte za daných podmínek optimální snímací periodu pro měřicí přístroj tak, aby byla definice dynamického děje co nejpřesnější.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Technická dokumentace k přístroji Greissinger GMH, stránky výrobce Greissinger (německý jazyk).
2. Materiály z předchozích DP a BP věnovaných podobné problematice.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Štekl, Ph.D.
Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská/diplomová práce je zaměřena na palivové články PEM, konkrétně na jejich vlastnosti, stavbu a velká část práce je také věnována dynamickým vlastnostem těchto článků.

Klíčová slova

Palivové články, PEMFC, výkon, jevy ovlivňující výkony palivových článků PEM, palivový článek s polymerní membránou

Abstract

The bachelor thesis presents the PEM fuel cells with their attributes, structure and main part of the theses describes about dynamic characteristics of the PEM cells

Key words

Fuel cells, PEMFC, performance, events affecting performance of PEMFC, proton exchange fuel cell

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne

Tomáš Šašek

Poděkování

Děkuji Ing. Pavlu Šteklovi, Ph.D. za odborné a velmi vstřícné vedení bakalářské práce, realizaci praktických měření, konzultace a poskytování cenných rad a připomínek ohledně obsahu a úpravy této práce. Zároveň bych rád poděkoval svým rodičům za veškerou podporu, kterou mi po celou dobu studia poskytovali.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
1 ÚVOD	9
2 PALIVOVÉ ČLÁNKY PEM	10
2.1 STRUKTURA PALIVOVÉHO ČLÁNKU PEM	11
2.1.1 <i>Membrane Electrode Assembly</i>	11
2.1.1.1 Polymerní membrána	11
2.1.1.2 Elektroda	12
2.1.2 <i>Katalytická vrstva</i>	12
2.1.3 <i>Difuzní vrstva</i>	14
2.1.4 <i>Bipolární desky</i>	15
3 DYNAMICKÉ VLASTNOSTI PEMFC A JEJICH MĚŘENÍ	16
3.1 TEORETICKÉ VLASTNOSTI	17
3.1.1 <i>Výkonnostní hierarchie v systému</i>	17
3.1.2 <i>Závislost výkonu na obsahu kyslíku v okolí článku</i>	17
3.1.2.1 Negativní účinky vysokého obsahu kyslíku v okolí článků	18
3.1.2.2 Uhlíková koroze	19
3.2 LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....	21
3.2.1 <i>Výkonnostní hierarchie v systému</i>	21
3.2.2 <i>Závislost výkonu na obsah kyslíku v okolí článku</i>	21
3.3 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....	27
4 ZÁVĚR	28
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	29
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

PEM Polymer Exchange Membrane

FC Fuel Cell

H Vodík

H⁺ Kationt vodíku

O Kyslík

H₂O Voda

e⁻ Elektron

SO₃⁻ Aniont oxidu sírového

Pt Platina

PTFE Polytetrafluoretylen

GDL Gas Difusion Layer

1 Úvod

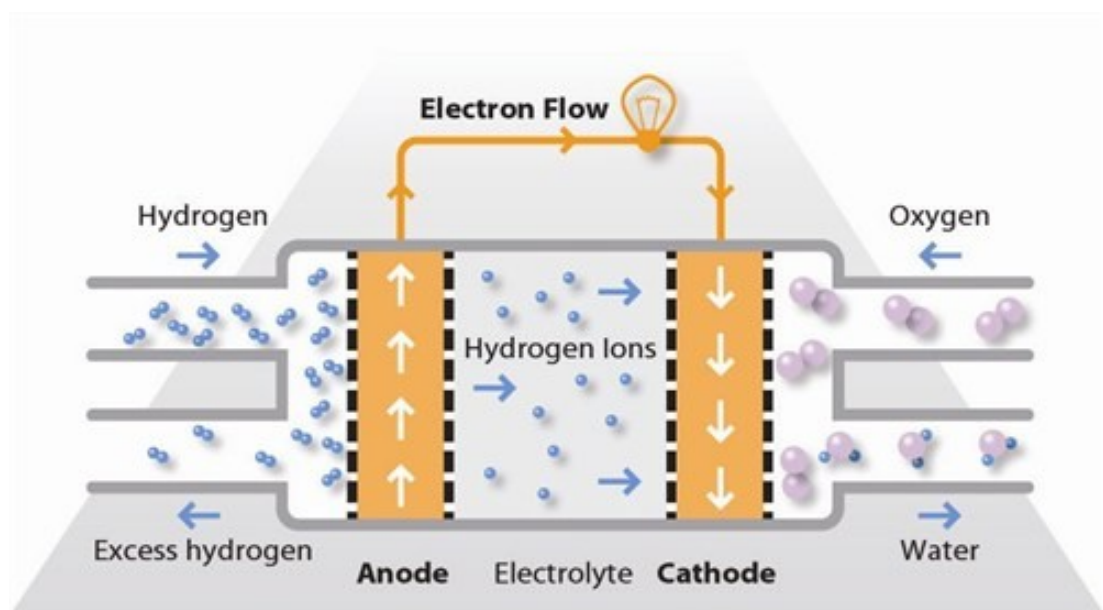
Předkládaná bakalářská práce popisuje palivové články PEM, tedy vodíkové palivové články, a jejich dynamické vlastnosti. Soudě podle historického vývoje se dá říci, že se v palivových člancích skrývá zdroj elektrické energie budoucnosti. Zejména vodíkové palivové články v sobě skrývají obrovský potenciál, jelikož jak je zmíněno dále, jsou konstrukčně velice jednoduché, tím pádem i nenákladné. Již dnes se vyskytuje jejich využití mimo laboratorní a výukovou oblast, konkrétně například v manipulaci s materiálem ve skladech ale i v automobilovém průmyslu, kde se využívají pouze vodíkové články. Vodíkové články se těší celkově největšímu spektru využití ve srovnání s jinými typy palivových článků.

Podle výroční zprávy serveru Fuel Cell Today [1] je na vodíkové články soustředěna největší pozornost jak průmyslového, tak akademického výzkumu. To má jak kladný, tak záporný dopad. Kladně se dá rozhodně hodnotit skutečnost, že se vývoji nových technologií pro PEM články daří vytvářet produkty s delší životností, větší odolností i vyššími výkony a nižší cenou. Naproti tomu velkou nevýhodou je fakt, že tyto články nevznikají podle žádných standardů, takže se vyvíjí články přímo pro jedno dané využití a technologie je tedy obtížně, nebo zcela neaplikovatelná v jiných podmínkách používání. Tento zápor by měla zmírnit automatická výrobní linka pro automobilový průmysl, která jelikož bude vyrábět tisíce kusů stejných článků, nepřímo donutí trh ke standardizaci.

2 Palivové články PEM

Význam zkratky PEM se objevuje ve dvou variantách, které jsou pouze jinými označeními stejného zařízení. Tyto zkratky jsou polymer electrolyte membrane a příhodnější proton exchange membrane. Zařízení PEMFC pracuje na vodní bázi, využívající polymerních membrán jakožto elektrolytu a elektrod na bázi platiny, které jsou blíže popsány v následujícím textu. Operující pod relativně nízkou teplotou, pod 100 °C, musí články PEM být napájeny pouze čistým vodíkem. [2]

Vodíkové palivo je zpracováno na anodě, kde se na povrchu platinového katalyzátoru separují elektrony od protonů. Protony dále procházejí skrze membránu na katodu, zatímco elektrony jsou hnány do vnějšího obvodu, čímž vzniká elektrický výstup palivového článku. Na katodové straně elektroda kombinuje protony a elektrony s atomy kyslíku a vytváří tak vodu, která tvoří jediný odpad z PEM článku. [3].



Obr. 2.1: Palivový článek PEM [2]

2.1 Struktura palivového článku PEM

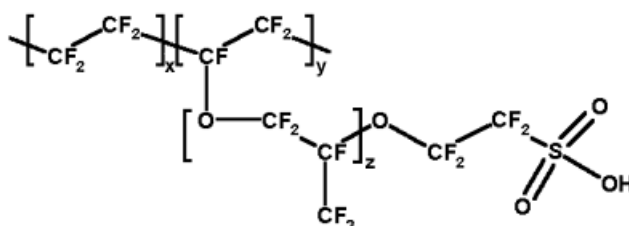
Bc. Petr Kadlec ve své práci dělí z hlediska konstrukce článku na individuální a skupinové [4], kde individuálními články se rozumí samostatně stojící zařízení a skupinovými několik samostatně stojících zařízení propojených do jednoho celku. Základem individuálních článků je sestava zvaná MEA (**M**embrane **E**lectrode **A**ssembly), která je vložena mezi dvě další vrstvy. V následujících odstavcích jsou jednotlivé komponenty těchto sestav popsány.

2.1.1 Membrane Electrode Assembly

Struktura MEA se skládá z membrány, která v palivových člancích plní zpravidla úlohu elektrolytu umístěného mezi dvě elektrody.[3]–[5]

2.1.1.1 Polymerní membrána

Polymerní membrána je středem palivového článku, který dělí na tzv. anodovou a katodovou část. Membrána je u PEM článků tvořena většinou z Nafionu[®], což je látka vytvořená z polytetrafluoroethylenu (dále PTFE), jinak známý pod názvem Teflon[®], obohaceného o kationty vodíku (H^+) a anionty oxidu sírového (SO_3^-). Membrána z tohoto materiálu ve své struktuře tvoří shluky iontových klastrů. Tyto shluky jsou silně hydrofilní, naproti tomu zbytek struktury je hydrofobní, tudíž jsou schopné zadržet vodu, čehož se využívá pro mobilizaci H^+ , které se mobilními stávají při dobré hydratizaci membrány. Za dobrou hydratizaci se považuje ideálně 20 molekul H_2O na jednu molekulu SO_3^- .



Obr 2.2: Strukturální vzorec Nafionu[®]

Na membrány jsou kladeny obecně následující nároky. Nutná je dostatečná iontová vodivost, chemická odolnost a stálost, zároveň teplotní odolnost (u PEM cca 130°C).

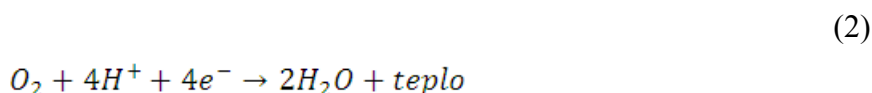
Dále se klade důraz na mechanickou pevnost materiálů, ta čím je větší tím umožňuje realizaci tenčí membrány a tím částečně i minimalizaci celého článku. V neposlední řadě se sleduje životnost membrány.

2.1.1.2 Elektroda

Na obou stranách membrány jsou umístěny elektrody, které jsou velice důležitou součástí palivových článků, jelikož na nich probíhají chemické reakce, které jsou fundamentální pro chod článku. Reakce probíhající na anodě, což je záporně orientovaná elektroda, se nazývá oxidace (1). U PEMFC při této reakci dochází k rozkladu paliva, kterým je vodík, na kladné ionty (H^+) a záporné elektrony.



Elektrony následně procházejí vnějším obvodem až na katodu. Katoda je kladně orientovaná elektroda, která přitahuje produkty oxidace na anodě, kladné ionty skrze membránu a elektrony jak bylo již řečeno přes vnější obvod, a následně je za spotřeby kyslíku redukuje na vodu a teplo (2).



Kyslík spotřebovávaný v redukcí na katodě nemusí být v čisté formě (O_2), článek je schopný využít i vzdušný kyslík.

Tímto procesem dochází k tvorbě elektrické energie ve vnějším obvodu. Síla této elektrické energie je závislá na rychlosti reakce, a z toho důvodu se při vývoji článku uvažuje o krocích, které by reakci urychlili. Mezi takové kroky patří zvýšení operační teploty článku, což je velice omezeno, plocha elektrod, jejichž zvětšení ovlivňuje proudovou hustotu a potažmo i výkon článku, a v neposlední řadě katalytické látky, které jsou silně závislé na ploše elektrod, jelikož jsou nanášeny právě na ně.

2.1.2 Katalytická vrstva

Tato vrstva hraje klíčovou roli v průběhu elektrochemických reakcí probíhajících v palivových člancích jakéhokoliv druhu právě proto, že reakce probíhají na ní. Jedná se o třífázové rozhraní, tedy místo styku reaktantů, elektrolytu a katalyzátoru. Z tohoto důvodu hraje velikost plochy elektrody velkou roli, pro účinnost katalytické vrstvy.

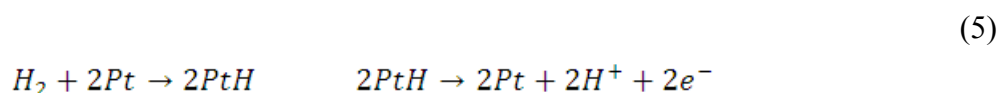
Katalyzátor je látka, která mění rychlost reakce, ale výsledný produkt nechává stejný jako by byl bez přítomnosti katalyzátorů. Nejprve reaguje první prvek (A) s katalyzátorem (K) a tvoří meziprodukt (X), jak popisuje rovnice 3. Další reakce následuje mezi druhým prvkem (B) a meziproduktem, která tvoří výsledný produkt a regenerovaný katalyzátor, což popisuje rovnice 4.



Katalyzovaná reakce sice vypadá složitěji než nekatalyzovaná reakce, která vypadá $A + B \rightarrow P$, nicméně je každá dílčí reakce za použití katalyzátoru několikanásobně méně energeticky náročná, tudíž je její průběh rychlejší.

U článků PEM se využívá jako katalyzátoru platina. Zejména pro svou velkou chemickou odolnost, také na sebe váže molekuly H a O. Platina je nanášena na matici z uhlíku, které je ještě před nanesením platiny potažena vrstvou z levnějších kovů, což má stejný efekt, jako by se využila čistá platina. Tento krok ovšem s sebou nese zvýšení náchylnosti ke znečištění například oxidem uhelnatým (CO), a proto se následně katalytická vrstva pokrývá vrstvou PTFE, která navíc zvyšuje její mechanickou pevnost, odolnost a zvyšuje také rychlost katalytického procesu.

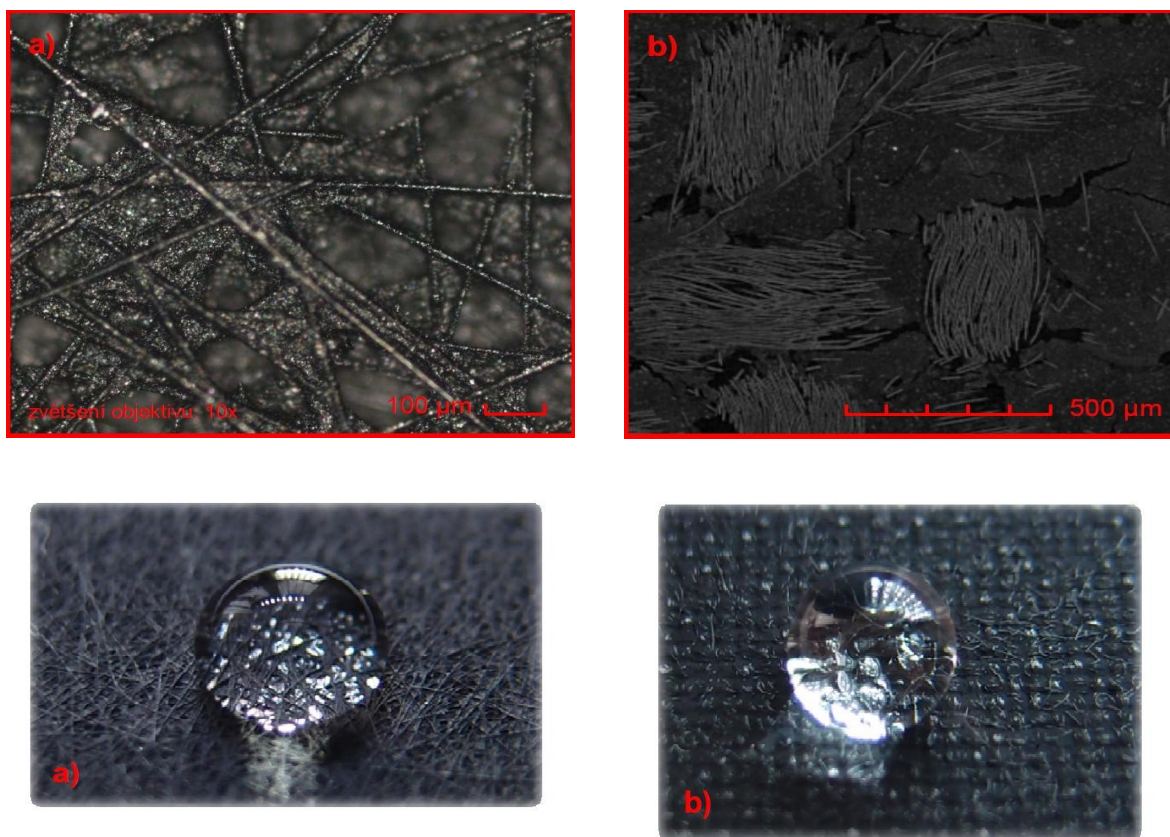
Katalyzovaná reakce probíhající na anodě PEM palivových článků je popsána v rovnici 5, kde PtH je hydrid platiny.



Z důvodu vysoké ceny je snaha platiny použít co nejméně je to možné, pro orientaci se cena platiny pohybuje kolem 904 Kč/g, a v dnešních člancích se díky technologiím výroby uvedených výše vyskytuje maximálně 1 mg platiny na 1 cm² plochy elektrody.

2.1.3 Difuzní vrstva

Difuzní vrstva, neboli Gas Diffusion Layer (dále jen GDL), zajišťuje rozvod plynů ke katalytické vrstvě. Tvoří ji pórovitá spletitá vrstva s velkým množstvím kanálků. Většinou jsou je tato vrstva složena z několika dílčích vrstev vláken, tkanin nebo papíru z uhlíku. Slouží i jako jeden z faktorů udržující vodní rovnováhu, konkrétně odvádí přebytečnou vodu tvořenou na katodě pryč, čímž zajišťuje dobré zavodnění membrány. K zajištění hydrofobních vlastností je opět vrstva potažena PTFE. Důležitá kritéria pro GDL jsou tedy mimo jiné dobrá prostupnost reakčních plynů, elektronová i tepelná vodivost. Následující obrázky byly pořízeny P. Kadlecem pomocí různé techniky a vlastnosti difuzních vrstev velmi dobře interpretují.

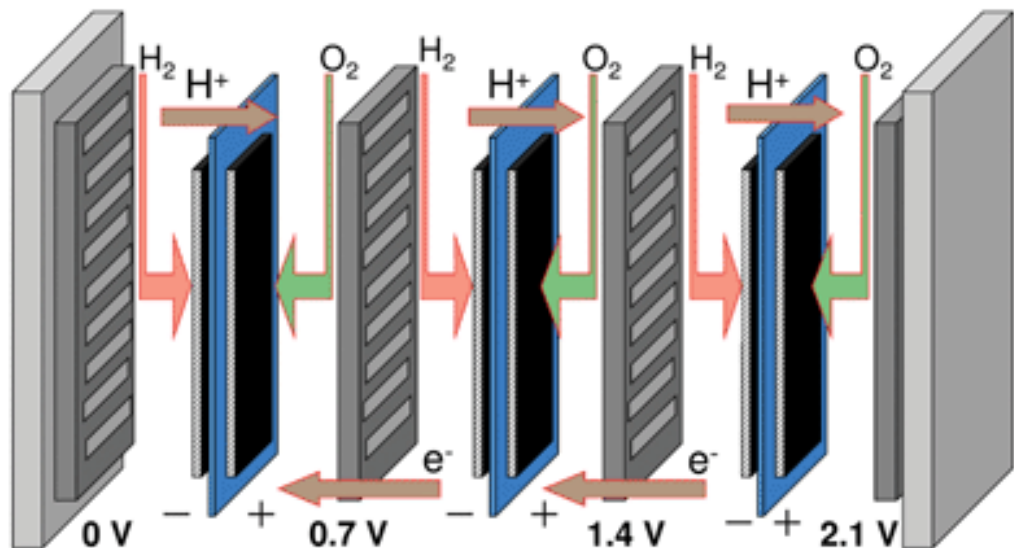


Obr 2.3: Fotografie znázorňující povrch hydrofobních uhlíkových materiálů [4]

- a) mikroskopická fotografie uhlíkového papíru
- b) tomogram povrchové vrstvy uhlíkové tkaniny

2.1.4 Bipolární desky

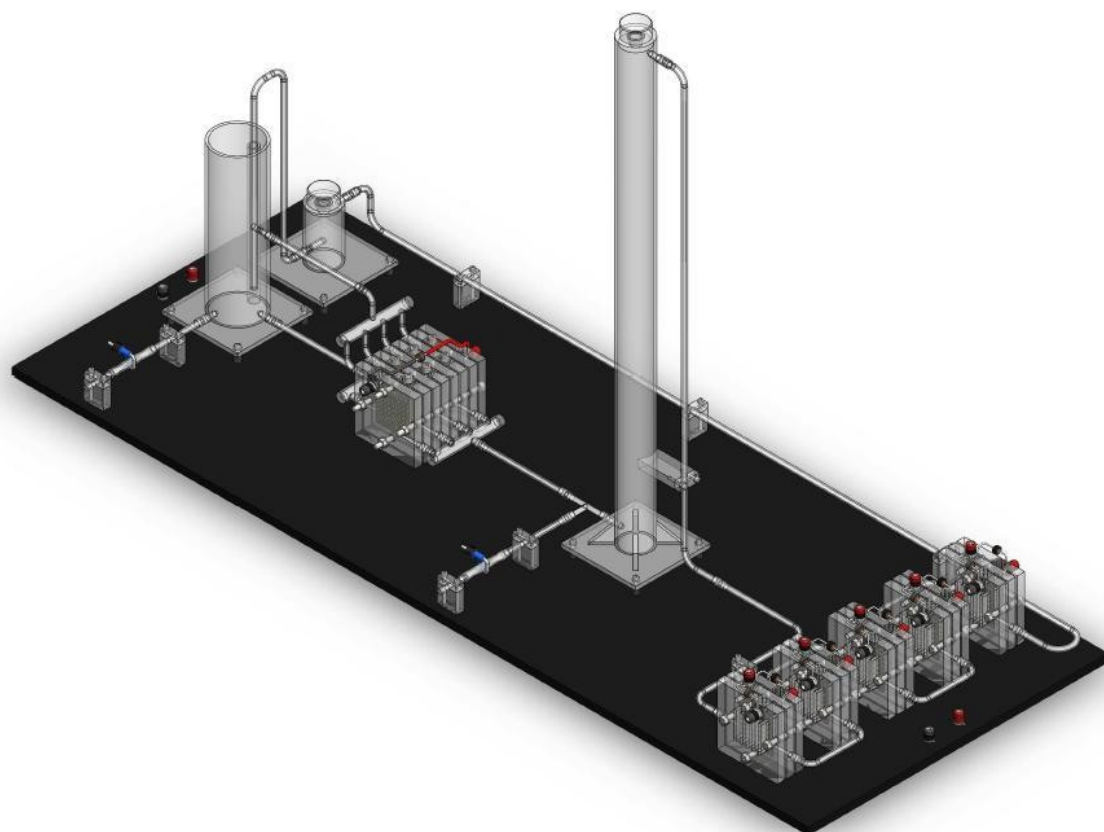
Další fundamentální část struktury palivového článku tvoří bipolární desky. Desky musí plnit tři základní úkoly. Prvním je rovnoměrný a plynulý rozvod plynů po katalytické vrstvě. Druhým úkolem desek je elektrické spojení obou elektrod a v neposlední řadě slouží k oddělování plynů. Hlavním aspektem ovlivňujícím podobu bipolárních desek je rozdíl tlaků mezi anodou a katodou. Dlouhé kanálky na povrchu článku s žádnými nebo málo četnými paralelními větvemi se hodí spíše pro větší rozdíly tlaků. Krátké kanálky jsou naopak výhodnější pro nižší úbytky tlaku, jejich nevýhoda oproti dlouhým kanálkům je horší odvod zkondenzované H_2O . Kromě těchto funkcí se dá bipolární deska použít pro spojování individuálních článků, například do série, jako popisuje následující *obrázek 1.3*, kde se jejich jednotlivé výkony poté sčítají.



Obr 2.3: Články spojené do série [6]

3 Dynamické vlastnosti PEMFC a jejich měření

V následujících odstavcích je popsáno chování palivových článků PEM při provozu jak naprázdno, tak i do zátěže. Kromě teoretických předpokladů tato kapitola obsahuje i laboratorní měření a jeho vyhodnocení. Hodnoty byly měřeny na systému, vyobrazeném na obrázku 3.1.

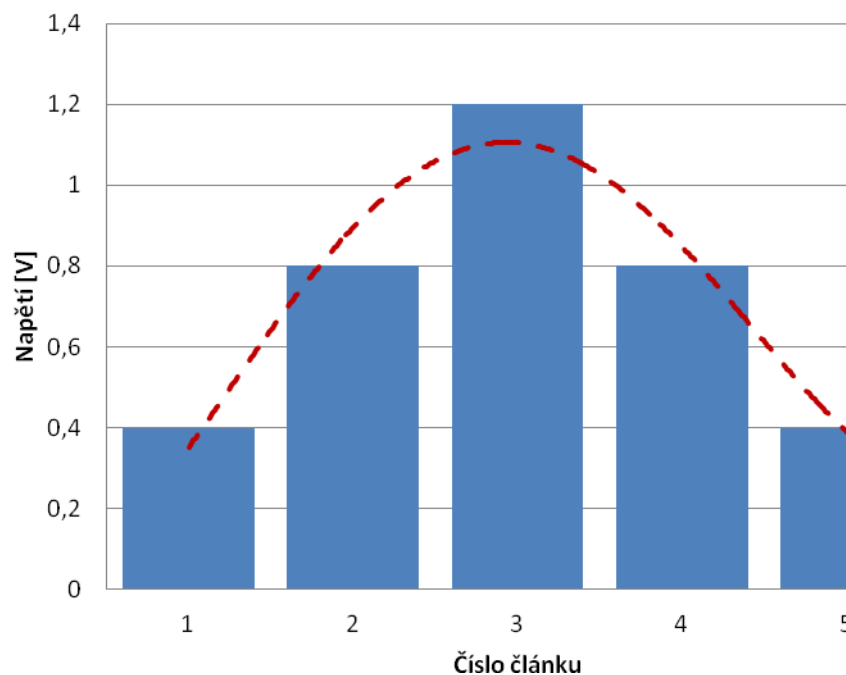


Obr 3.1: Model kompletního systému StaXX Exhibiton 3050 v izometrickém zobrazení [4]

3.1 Teoretické vlastnosti

3.1.1 Výkonnostní hierarchie v systému

Velká část této kapitoly se věnuje přesouvání výkonu mezi jednotlivými články zapojenými do série. Tento jev nastává při zatížení systému článků po určitou dobu, jejíž měření a vyhodnocení je popsáno v následujících kapitolách. Ve stavu běhu naprázdno tento jev nenastává, nastává pouze při provozu zatíženého systému a to protože zátěž spotřebovává elektrony produkované články, jak je popsáno výše, a tím spouští tento jev. Jde totiž o snižování koncentrace elektronů na krajních člancích, ve zkoumaném případě na člancích jedna a pět, a naopak zvýšení koncentrace ve středu systému, tedy na článku třetím. V důsledku těchto změn koncentrací by měly výkony jednotlivých článků odpovídat obrázku 3.2, tedy střední článek s nejvyšší hodnotou a články vzdalující se od něj s nižší a nižší hodnotou.



Obr. 3.2: Hierarchie článků v závislosti na jejich jednotlivém napětí

3.1.2 Závislost výkonu na obsahu kyslíku v okolí článku

Závislost výkonu palivových článků PEM na přísunu kyslíku je určitě prokazatelná, už jen z logiky věci se dá odvodit, že tato závislost existuje. Jak je popsáno výše, článek

zpracovává vodík a přes membránu tlačí jeho kationy, které spolu s elektrony hnanými do vnějšího elektrického obvodu na svém výstupu váže s molekulami kyslíku a tvoří vodu. Za předpokladu, že článku odepřeme přívod kyslíku, nebudou se kationty vodíku a elektrony na co navázat a to postupně zamezí jejich odvodu pryč z článku. Tomuto stavu článku se říká stav hladovění. Za běžných podmínek, tedy v tzv. atmosférickém režimu, se na katodu dostává dostatek kyslíku a provoz článku je tedy v normálu, článek je totiž schopen si kyslík navázat i ve vzdušné formě. Odpověď na vyvstávající otázku, zda zvýšení přísunu kyslíku zvýší výkon článků či nikoliv, je ano výkon se zvýší. Ve velkém množství článků je přívod kyslíku řešen společnou trubičkou, vedoucí skrze všechny články, kterou proudí kyslík přímo na místo spotřeby. V člancích sloužící pro výuku tato trubička instalována není, pravděpodobně z důvodu nadbytečnosti.

3.1.2.1 Negativní účinky vysokého obsahu kyslíku v okolí článků

Vyšší přívod kyslíku může mít ale také negativní účinky na palivové články, hlavně při opakovaném zapínání a vypínání zátěže. Před startem systému je totiž vzduch přítomen jak na katodě, tak na anodě ať už díky volnému vniku z okolí nebo prosakování přes membránu. Po přivedení vodíku na katodu nastává stav, kdy neokupuje celou plochu elektrody pouze vodík, ale také zmíněný vzduch, což vede k nezanedbatelnému rozdílu potenciálů v oblasti, kde vodík není přítomen. V důsledku se v těchto oblastech může objevit i tzv. uhlíková koroze, která je popsána níže, nebo vyvíjení kyslíku na katodě.

Podobný proces může proběhnout i při vypínání systému, s tím rozdílem, že dochází k nedostatku vodíku na straně katody. Oba tyto procesy vedou k nerovnoměrnosti distribuce plynů v článku, ale také k tzv. převrácení proudu [7].

Převrácení jednoho článku může vést ke snížení výkonu celého systému a v krajním případě dokonce i k nenávratnému zničení. Konkrétně poškozením a perforací systému MEA.

Příčin tohoto jevu je mnoho, opakované zapínání/vypínání, jak je již zmíněno výše, nehomogenní přísun plynů a jejich nerovnoměrná distribuce, vysychání membrány, zaplavení elektrod a další. V každém případě jsou ale následky stejné, polarizační křivka takto poškozených článků dosahuje velice rychle zkratového napětí. Tyto články mohou dosahovat záporného napětí, i když zbylé články systému pořád operují v kladných napěťových hodnotách. V závislosti na délce trvání a na velikosti záporného napětí může tento proces být označen za vratný nebo nevratný.

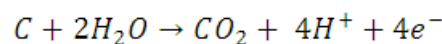
3.1.2.2 Uhlíková koroze

Uhlíková koroze je velkým problémem PEM palivových článků, zejména protože je velká část jejich vnitřní struktury tvořena uhlíkovými částmi. Uhlík je používán i přesto, že je známý svou nestabilitou v oblasti katody PEM článku, protože je jeho oxidace i tak velice malá. Start-stop používání (opakované startování a vypínání) tento jev ale výrazně zrychluje. V takovémto případě nastává na anodě k reakci zvané oxidační redukce, která vede k potenciálovému rozdílu až 1,4 V.

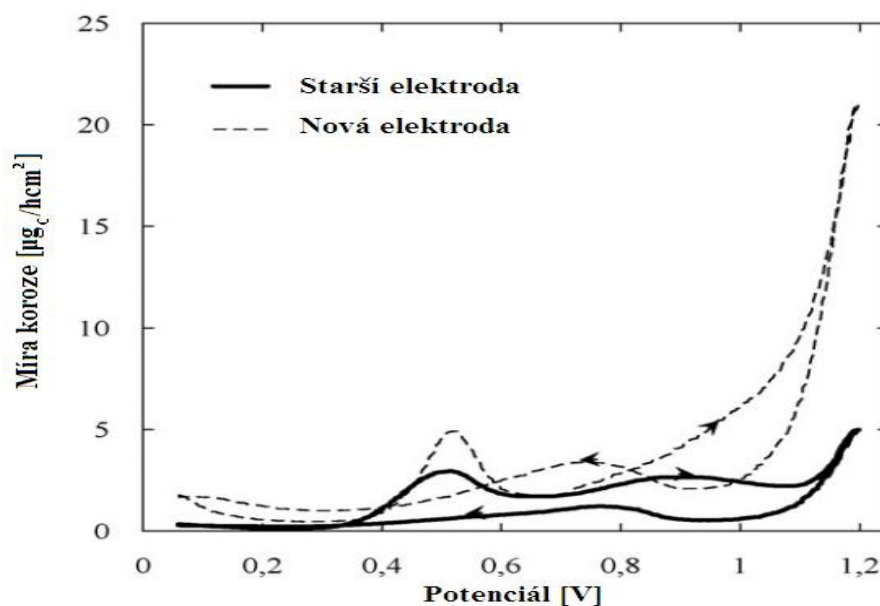
Při běžném provozu systému se ovšem uhlíková koroze nevyskytuje na anodě, ale pouze na katodě, kde může docházet k oxidaci uhlíku až na CO_2 (oxid uhličitý), což je ale závislé na morfologii uhlíku, za určitých okolností by mohlo dojít i k tvorbě fenolů, karbonylových sloučenin, éterů a dalších sloučenin. [8]

Reakce, které při tomto procesu probíhají, popisuje následující rovnice. Při dostatečném potenciálovém rozdílu může dojít k oxidaci uhlíku (C) na oxid uhličitý (CO_2) podle reakce (6) [9].

(6)

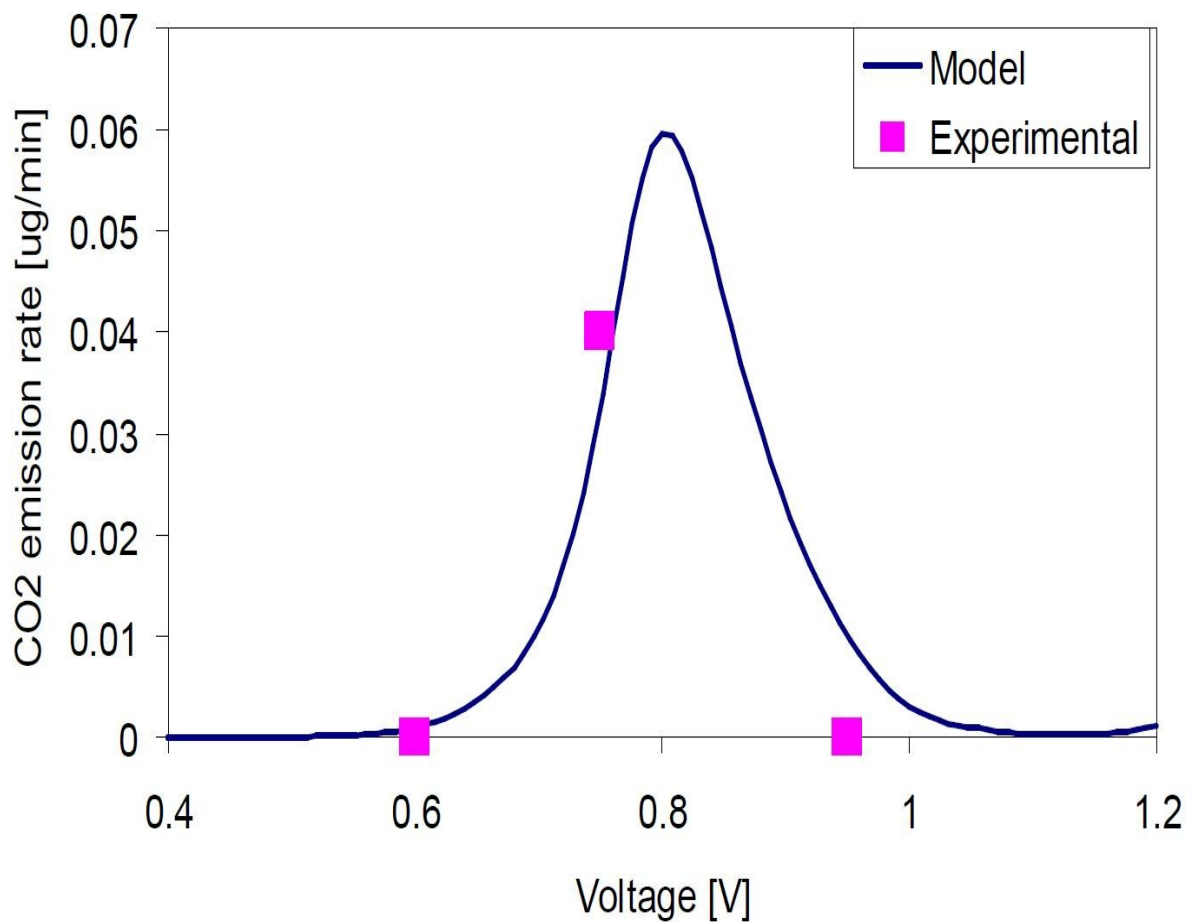


Následující graf znázorňuje míru koroze v závislosti na potenciálovém rozdílu a také porovnává reakce na tento jev v nové a starší elektrody.



Obr 3.3: Srovnání míry koroze při různých potenciálových rozdílech nové a starší elektrody [9]

Podle uvedených zdrojů [8], [9] je proces koroze nejrychlejší při výkonu kolem 0,8 V, kdy CO₂ emituje rychlostí až 0,6 µg/min. Kompletní výsledky, tedy jak naměřené tak vypočtené, lze sledovat na následujícím obrázku 3.4.



Obr 3.4. Závislost emisí CO₂ na napětí [8]

3.2 Laboratorní měření

Tato kapitola je věnována měření a ověření výše uvedených teoretických předpokladů. Pro názornost průběhu měření je využito tabulek i grafů, přičemž kompletní tabulky naměřených hodnot jsou k nalezení v přílohách.

3.2.1 Výkonnostní hierarchie v systému

Při zaznamenávání hodnot průběhu chodu článků, zaznamenaných v příloze, lze usoudit, že po určité době dojde k seřazení článků podle obrázku 3.1. K získání nejvyššího napětí třetímu článku stačí doba odpovídající v průměru necelé 1,5 hodině (1 h 24 minut), přičemž nejčastěji nahradí článek číslo 4, který se posune na úroveň druhého článku a obsadí tak společně druhou výkonnostní pozici. Podobně se chová dvojice článků jedna a pět, které ve výsledku obsazují pozici nejnižších výkonů. V průměru trvá prvnímu článku výkonově předehnat pátý 3,5 hodiny (3 h 36 minut). Tabulka 3.1 zobrazuje ukázkou hodnot zaznamenávaných pro toto měření.

Datum měření	Čas měření	Stav systému	Napětí systému	Sestupně seřazené články podle hodnot napětí				
25.7.2014	9:25	0	9,348	4	5	2	1	3
	9:30	1	2,158	4	3	2	5	1
	10:30	1	2,468	3	4	2	5	1
	13:30	1	2,582	3	4	2	5	1

Tabulka 3.1: Ukáзка dat naměřených dne 25.7.2014

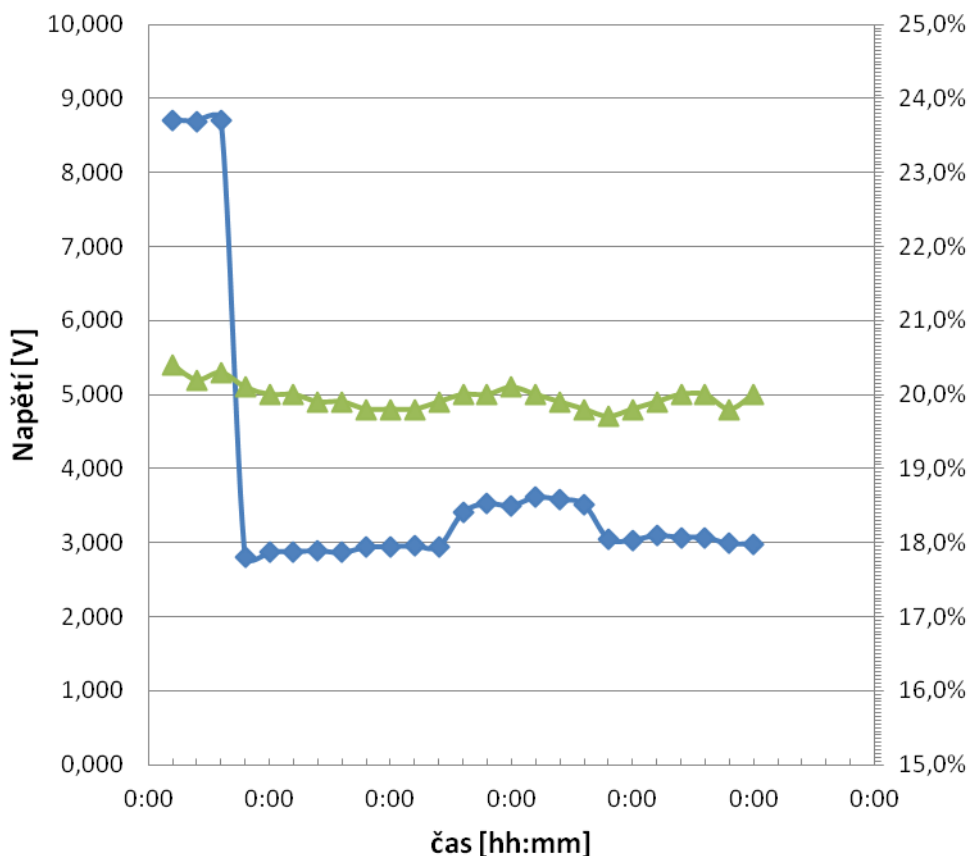
3.2.2 Závislost výkonu na obsahu kyslíku v okolí článku

Veškerá data použita pro následující vyhodnocování jsou umístěna v přílohách této bakalářské práce

Jak je popsáno výše, výkon článků je závislý na obsahu kyslíku ve svém okolí. Následující hodnoty jsou měřeny pouze ve dvou stavech, v atmosférickém a ve stavu bez přívodu kyslíku. Přetlakový stav, tedy stav pod kyslíkovým krytem, do kterého je přiváděn kyslík se naměřit nepodařilo z důvodu výskytu negativního jevu popsaného výše.

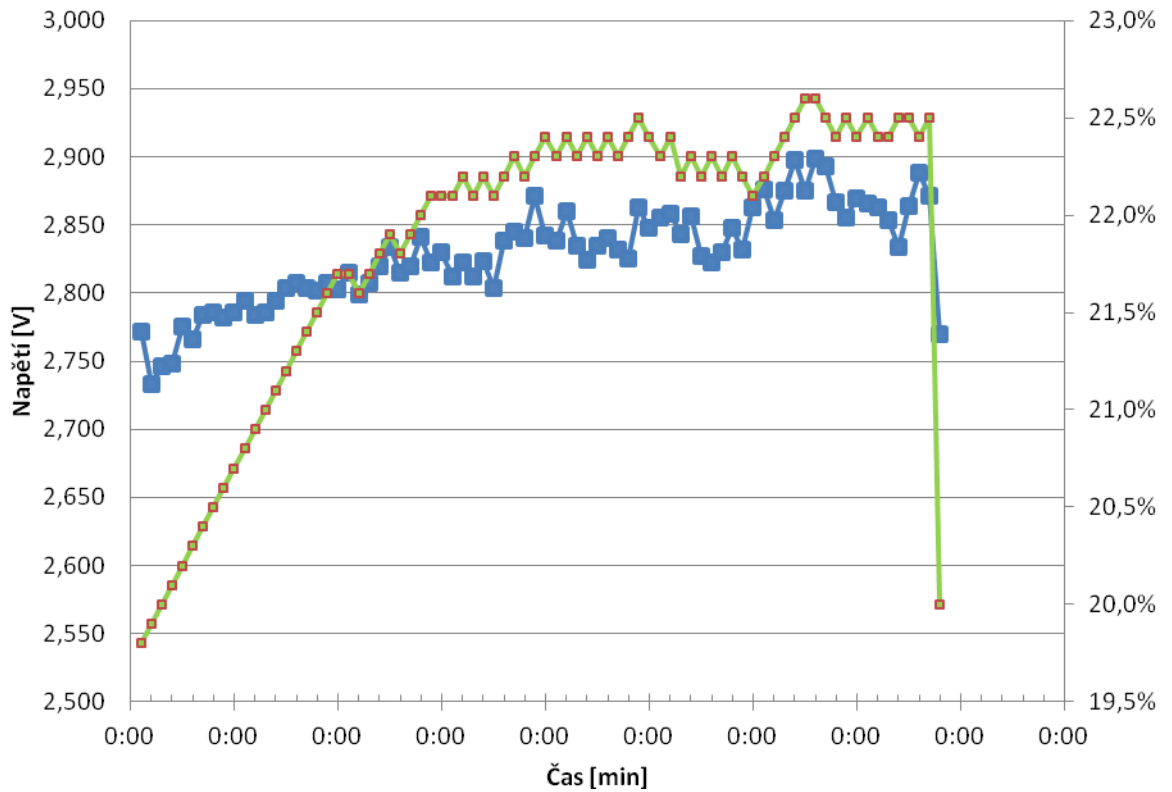
V atmosférickém stavu se systém choval i při měření podle teoretického předpokladu. Tento průběh je vyobrazen grafem 1, kde se nachází průběh napětí v závislosti na čase, přičemž první tři hodnoty jsou z provozu naprázdno a následující hodnoty jsou zaznamenány po připojení zátěže o hodnotě odporu přibližně 100 Ω . Dále je v grafu vynesena obsah kyslíku v průběhu měření.

Z grafu 1 je také vidět závislost obsahu kyslíku na napětí systému, když se obsah kyslíku zvýšil na hodnotu 20,1 %, napětí systému stoupl a sním obsah O_2 klesl, to díky tomu, že jej článek spotřeboval k výrobě svého odpadu, tedy H_2O .



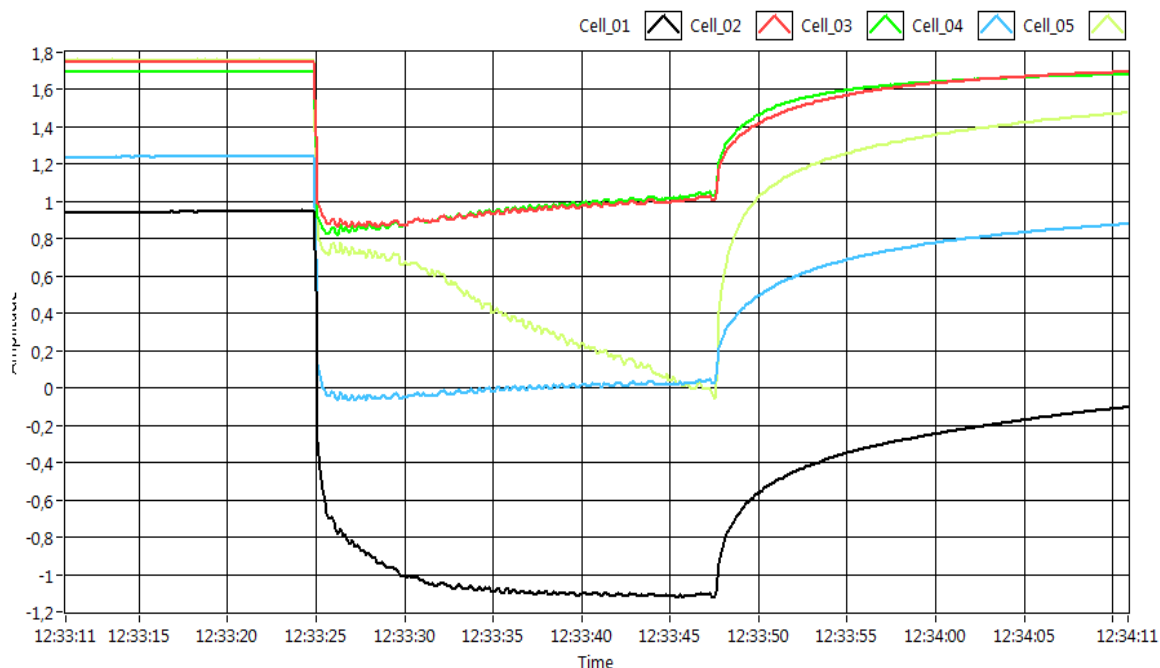
Graf 1: Závislost napětí systému na obsahu kyslíku v atmosférickém režimu provozu

Při měření postupného úbytku kyslíku, který byl spotřebováván systémem, se naměřené hodnoty chovaly opět podle teoretického předpokladu s jedinou výjimkou, kdy se při mírném průvanu do krytu dostal nový kyslík (cca 1:20 h), čímž se ovšem jen potvrdila citlivost palivových článků PEM na obsahu kyslíku ve svém okolí. Tuto závislost vyobrazuje graf 2, který prezentuje průběhy napětí i obsahu kyslíku v okolí systému palivových článků v závislosti na čase. Z tohoto grafu lze poznat jak je článek citlivý na změny obsahu kyslíku. Měřené hodnoty napětí jsou do grafu vyneseny jen při provozu se zátěží, jelikož hodnoty při provozu naprázdno by pouze snižovali vypovídací schopnost grafické prezentace výsledků měření.



Graf 3: Závislost napětí na obsahu kyslíku v okolí systému pod neúplně utěsněným kyslíkovým krytem

Jelikož se vyskytl chybový stav, při kterém se články 1,4 a 5 po připojení zátěže (cca 100 Ω) dostávaly se svými napětími do záporných hodnot, bylo rozhodnuto tento stav prozkoumat. Tento stav je zobrazen na obrázku 3.4, kde je jasně vidět, které články nabývají záporných hodnot.



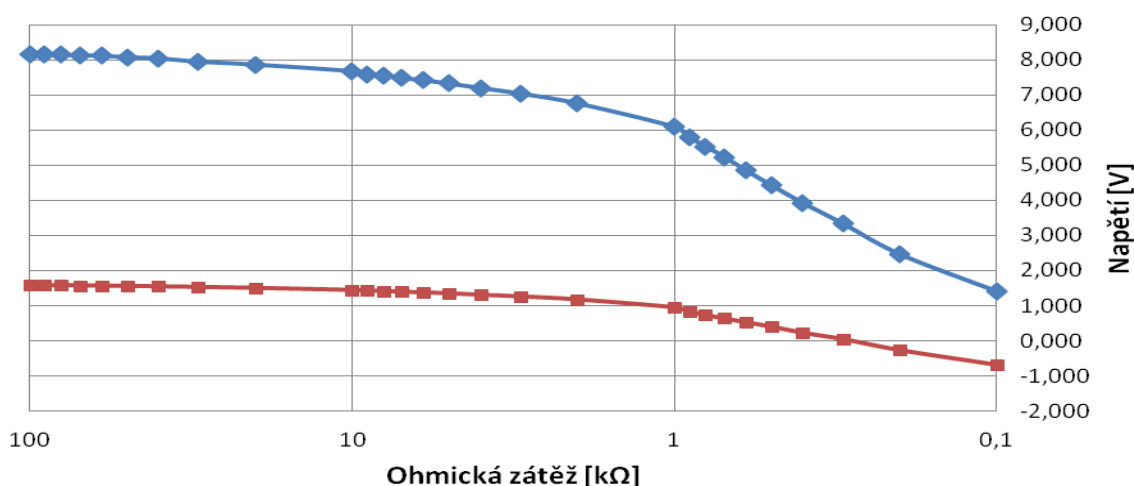
Obr 3.4: Chybový stav systému palivových článků

Po naměření stále záporných hodnot napětí těchto článků i po několika dnech se samovolně článek číslo 4 obnovil do svého původního stavu a fungoval nadále již normálně, ovšem články 5 a 1 se nadále držely v záporných hodnotách po připojení zátěže, a tak bylo rozhodnuto proměřit tento jev za použití odporové dekády, kdy byl systém zatížen sestupně zátěžemi o hodnotách 100 k Ω až na přibližnou hodnotu původní zátěže, tedy 100 Ω . Měření s nižší zátěží by nemělo smysl a navíc by bylo riskantní z důvodu možného nevratného poškození chybně fungujících palivových článků. Toto měření je zaznamenáno v tabulce 3.2 a graficky znázorněno v grafu 4.

Z těchto vizualizací měření je možné vysledovat, že při snížení hodnoty odporu zátěže na 10 k Ω a 1 k Ω trend klesání napětí systému i zkoumaného palivového článku číslo 1 výrazně zvýšil strmost svého klesání. Po překlopení hodnoty odporu pod 1 k Ω klesají obě napětí skoro exponenciálně.

Zátěž [kΩ]	Napětí systému [V]			Napětí článku 1 [V]		
	1. měření	2 měření	3. měření	1. měření	2 měření	3. měření
100	8,256	8,058	8,152	1,632	1,541	1,558
90	8,269	8,055	8,139	1,632	1,541	1,556
80	8,266	8,047	8,124	1,63	1,538	1,553
70	8,254	8,035	8,114	1,625	1,535	1,551
60	8,228	8,014	8,096	1,619	1,53	1,546
50	8,195	7,999	8,047	1,609	1,523	1,535
40	8,152	7,958	8,019	1,597	1,512	1,525
30	8,089	7,807	7,953	1,581	1,492	1,507
20	7,989	7,783	7,826	1,553	1,469	1,477
10	7,782	7,615	7,638	1,5	1,406	1,418
9	7,732	7,515	7,536	1,484	1,39	1,403
8	7,684	7,47	7,495	1,472	1,378	1,385
7	7,633	7,398	7,421	1,459	1,357	1,365
6	7,589	7,322	7,347	1,441	1,334	1,342
5	7,488	7,228	7,258	1,421	1,304	1,316
4	7,373	7,098	7,121	1,39	1,256	1,273
3	7,223	6,938	6,948	1,344	1,212	1,222
2	6,948	6,655	6,673	1,268	1,125	1,13
1	6,082	6,082	6,105	0,96	0,939	0,95
0,9	5,869	5,749	5,774	0,871	0,81	0,807
0,8	5,632	5,554	5,415	0,789	0,731	0,685
0,7	5,377	5,209	5,105	0,71	0,619	0,58
0,6	5,026	4,787	4,731	0,613	0,522	0,448
0,5	4,562	4,402	4,301	0,522	0,366	0,323
0,4	4,047	3,881	3,843	0,333	0,206	0,16
0,3	3,408	3,303	3,286	0,145	0,063	-0,051
0,2	2,382	2,507	2,499	-0,1	-0,316	-0,354

Tabulka 3.2: Záznam měření s odporovou dekádou



Graf 3: Závislost napětí systému na poklesu odporové hodnoty zátěže

3.3 Zhodnocení výsledků měření

Měření potvrdila všechny teoretické předpoklady, včetně nečekaných a překvapivých jevů jako uhlíková koroze, které se měření také věnovalo, i když nebyla provedena všechna měření k dokonalé analýze tohoto jevu.

Bohužel nebylo naměřeno chování palivových článků v utěsněném kyslíkovém krytu, které by dynamickou analýzu chování článků v různých režimech dovedlo do kompletně proměřeného stavu. Byl ovšem zachycen alespoň trend, jehož by se chování palivových článků mělo držet i při vyšších obsazích kyslíku pod utěsněným kyslíkovým krytem.

Měření věnující se hierarchii článku v závislosti na jejich napětí také potvrdilo teoretický předpoklad. Výše uvedený obrázek 3.2 vyobrazuje hodnoty, kterých články skutečně nabývaly. Toto uspořádání článků je zapříčiněno vyšším odběrem elektronů s rostoucí vzdáleností od středu systému.

4 Závěr

Palivové články PEM jsou rozhodně velice zajímavým alternativním zdrojem energie jak v mobilním, automobilovém, tak i průmyslovém využití. Jejich struktura je velice jednoduchá a provoz efektivní a levný. Neprodukují žádné emise, které by škodily životnímu prostředí, jediným odpadem je voda.

Nevýhodou PEM článků je pořád jejich pořizovací cena, ale hlavně fakt, že děje v nich probíhající nejsou ještě detailně popsány, v některých případech jde o děje, které provozu brání nebo jej dokonce znemožňují. Mezi tyto procesy patří v práci popsaná uhlíková koroze, tento jev by si zasloužil bližší zkoumání, na to ale v této práci již nebyl prostor.

V práci je popsána nejen struktura palivových článků PEM a zmíněná uhlíková koroze, ale také dynamické vlastnosti těchto palivových článků. Bylo naměřeno a popsáno chování systému palivových článků v atmosférickém režimu, v režimu s úbytkem kyslíku v okolí (hladovění) a byla zkoumána i výkonnostní hierarchie v tomto systému. Výsledkem těchto sledování a měření je potvrzení teoretických předpokladů. Tedy systém palivových článků je citlivý na obsah kyslíku ve svém okolí, i při atmosférickém režimu se zvýšení obsahu kyslíku v laboratoři projevilo zvýšením napětí systému a při režimu bez dodávky kyslíku se choval systém obdobně.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Fuel Cell Today and J. Matthey, “The Fuel Cell Industry Review,” 2013.
- [2] FuelCellToday(<http://www.fuelcelltoday.com/>), “Fuel cell basics,” 2012.
- [3] J. Larminie and A. Dicks, *Fuel cell systems explained*. 2003.
- [4] P. Kadlec, “Analýza provozních stavů palivového článku PEM,” Západočeská Universita Plzeň, 2014.
- [5] P. D. Aleš Pflug and Ing. Pavel Štekl, “Možnosti zvýšení výkonu palivového článku PEM,” 2012.
- [6] F. De Bruijn, “The current status of fuel cell technology for mobile and stationary applications,” pp. 132–150, 2005.
- [7] G. srl – S. del P. di Milano, “Effects of temporary reverse voltage on proton exchange membrane fuel cell performance,” <http://blog.genport.it/?p=93>, 2011. [Online]. Available: <http://blog.genport.it/>. [Accessed: 29-May-2015].
- [8] a. Pandey, Z. Yang, M. Gummalla, V. V. Atrazhev, N. Y. Kuzminyh, V. I. Sultanov, and S. Burlatsky, “A Carbon Corrosion Model to Evaluate the Effect of Steady State and Transient Operation of a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 160, no. 9, pp. F972–F979, 2013.
- [9] S. Maass, F. Finsterwalder, G. Frank, R. Hartmann, and C. Merten, “Carbon support oxidation in PEM fuel cell cathodes,” *J. Power Sources*, vol. 176, no. 2, pp. 444–451, 2008.

Přílohy

- **Příloha A**
 - **Tabulka hodnot zaznamenaných k ověření hierarchického uspořádání článků**
- **Příloha B**
 - **Tabulka hodnot zaznamenaných v atmosférickém režimu**
- **Příloha C**
 - **Tabulka hodnot zaznamenaných v režimu bez přísunu kyslíku**
- **Příloha D**
 - **Tabulka hodnot při zvýšeném přísunu kyslíku pod neutěsněným k. krytem**

Tabulka A

Datum měření	Čas měření	Na prázdko (0) / Do zátěže (1)	Celkové napětí [V]	Sestupně seřazené články podle velikosti napětí					Napětí prvního článku [V]
7.7.2014	8:50	0	9,508	5	4	3	2	1	
	8:53	1	1,997	4	3	5	2	1	0,045
	10:00	1	2,872	4	3	2	5	1	0,481
	11:00	1	2,848	4	3	2	5	1	0,481
	13:00	1	2,828	4	3	2	5	1	0,505
	16:00	1	2,901	4	3	2	1	5	0,490
8.7.2014	8:52	0	9,035	5	4	3	2	1	
	8:54	1	3,086	4	3	5	2	1	0,504
	10:00	1	3,185	4	3	5	2	1	
	11:00	1	3,085	4	3	2	5	1	
	12:00	1	3,154	4	3	2	5	1	
	13:00	1	3,076	4	3	2	5	1	
9.7.2014	8:50	0	9,104	5	2	4	1	3	
	8:52	1	3,065	4	3	5	2	1	
	9:00	1	2,843	4	3	5	2	1	
	10:00	1	2,988	4	3	2	5	1	0,478
	11:00	1	2,927	4	3	2	5	1	0,486
	13:00	1	2,871	4	3	2	5	1	
14.7.2014	13:00	0	9,532	5	4	3	2	1	
	13:05	1	1,847	4	3	2	5	1	-0,039
	14:30	1	2,482	4	3	2	5	1	0,236
18.7.2014	12:45	0	9,524	4	5	2	3	1	
	12:50	1	2,041	3	4	5	2	1	-0,011
	13:50	1	2,448	3	4	2	5	1	0,199
23.7.2014	12:30	0	9,317	5	4	2	1	3	
	12:30	1	1,792	3	4	2	5	1	-0,002
	13:00	1	2,382	3	4	2	5	1	0,208
	14:30	1	2,357	3	4	2	5	1	0,276
	15:30	1	2,413	4	3	2	5	1	0,375
25.7.2014	9:25	0	9,348	4	5	2	1	3	
	9:30	1	2,158	4	3	2	5	1	-0,011
	10:30	1	2,468	3	4	2	5	1	0,283
	13:30	1	2,582	3	4	2	5	1	0,428
	14:00	1	2,589	3	4	2	1	5	0,433
31.7.2014	12:15	0	9,058	4	3	2	5	1	
	12:20	1	1,792	4	3	5	2	1	-0,008
	13:20	1	2,175	3	4	2	5	1	0,201
8.8.2014	12:40	0	8,775	5	4	2	3	1	1,720
	12:50	1	1,765	4	3	2	5	1	0,023
	13:15	1	2,098	4	3	2	5	1	0,183
18.8.2014	8:54	0	9,404	5	4	2	1	3	
	9:00	1	1,471	4	3	2	5	1	-0,008
	9:05	1	1,471	4	3	5	2	1	0,109
	10:05	1	2,077	4	3	2	5	1	0,239

	10:05	1	2,077	4	3	2	5	1	0,239
	13:05	1	2,309	4	3	2	1	5	0,348
	14:30	1	2,318	4	2	3	1	5	0,343
19.8.2014	9:00	0	0,851	5	4	3	2	1	1,747
	9:01	1	2,284	3	4	5	2	1	0,278
	11:01	1	2,448	3	4	2	1	5	
	11:30	1	2,563	3	4	2	1	5	
	13:05	1	2,397	4	3	2	1	5	
	14:30	1	2,458	4	3	2	1	5	
21.8.2014	8:45	0	8,966	5	4	3	2	1	
	8:50	1	2,440	3	4	5	2	1	0,285
	12:30	1	2,512	4	3	2	5	1	0,375
	14:00	1	2,509	4	3	2	5	1	0,377
22.8.2014	9:00	0	8,889	5	4	3	1	2	
	9:05	1	2,483	3	4	5	2	1	0,277
	10:30	1	2,472	4	3	2	5	1	0,358
	11:05	1	2,694	4	3	2	5	1	0,417
	12:30	1	2,576	4	3	2	5	1	0,412
	13:05	1	2,672	4	3	2	5	1	0,389
	14:05	1	2,632	4	3	2	5	1	0,389
1.9.2014	9:30	0	8,875						
	9:30	1	2,003	4	3	2	5	1	0,109
	14:30	1	2,382	4	3	2	1	5	
3.9.2014	9:10	1	2,462	4	3	5	2	1	0,303
	11:40	1	2,589	4	2	3	5	1	0,389
	13:40	1	2,586	4	2	3	5	1	0,405
20.9.2014	8:40	0	9,488	4	5	2	3	1	
	8:40	1	1,416	4	2	3	5	1	0,022
	8:45	1	1,523	4	3	5	2	1	0,055
	9:45	1	2,206	4	3	2	5	1	0,257
22.9.2014	8:35	0	9,462						
	8:40	1	1,327	4	3	2	5	1	0,079
	15:40	1	2,178	4	3	2	5	1	0,336
23.9.2014	8:40	0	8,862	5	4	1	2	3	
	8:45	1	2,306	4	5	3	2	1	0,295
24.9.2014	10:40	1	2,408	4	2	3	1	5	
	15:40	1	2,418	4	2	3	1	5	0,318
25.9.2014	8:45	0	9,007	5	4	1	2	3	
	8:50	1	2,466	4	5	3	2	1	0,386
	14:30	1	2,387	4	2	3	5	1	0,368
29.9.2014	8:50	0	9,066	5	4	1	2	3	
	9:00	1	1,618	4	5	2	3	1	0,055
30.9.2014	15:00	1	2,451	3	2	4	5	1	0,377
	15:40	1	2,388	3	2	4	5	1	0,349
1.10.2014	9:30	0	9,137	5	3	4	1	2	1,786
	9:35	1	2,518	3	4	5	1	2	0,409
	11:35	1	2,569	4	3	2	5	1	0,407
	12:35	1	2,547	4	3	2	5	1	0,407

	14:35	1	2,567	4	3	2	5	1	0,417
	15:35	1	2,699	4	3	2	5	1	0,423
2.10.2014	11:10	0	9,032	5	4	1	2	3	
	11:10	1	2,659	5	3	4	2	1	0,378
	18:10	1	2,584	4	3	2	5	1	0,389
6.10.2014	9:40	0	9,648	4	5	2	3	1	1,836
	9:48	1	1,499	4	5	3	2	1	0,079
	15:35	1	2,432	3	4	2	5	1	0,356
7.10.2014	9:03	0	9,188	5	4	3	2	1	1,800
	9:06	1	2,415	3	4	5	1	2	0,327
	15:32	1	2,412	4	3	2	5	1	0,389
8.10.2014	8:55	0	8,997	5	4	2	1	3	
	9:00	1	2,413	3	4	5	2	1	0,358
	16:00	1	2,421	4	3	2	5	1	0,371
9.10.2014	8:40	0	9,007	5	4	1	2	3	
	8:40	1	2,387	4	5	3	2	1	0,323
	13:00	1	2,472	4	2	3	5	1	0,375
	18:00	1	2,413	4	2	3	5	1	0,368
16.10.2014	10:20	0	9,063	5	4	2	1	3	
	10:20	1	1,399	4	5	2	3	1	0,012
	11:20	1	2,178	4	5	3	2	1	0,208
	11:40	1	2,246	4	3	5	2	1	0,216
20.10.2014	9:50	0	9,178	5	4	1	2	3	
	9:55	1	1,648	4	5	2	3	1	0,079
21.10.2014	8:30	0	8,908	5	4	1	2	3	
	8:35	1	2,377	4	5	3	2	1	0,287
	13:15	1	2,433	4	3	2	5	1	0,367
22.10.2014	11:30	1	2,397	3	4	5	2	1	0,251
	13:30	1	2,485	3	4	2	5	1	0,360
23.10.2014	11:45	0	9,070	5	4	2	1	3	
	11:50	1	2,382	3	4	5	2	1	0,331
	13:50	1	2,479	4	3	2	5	1	0,366
4.11.2014	9:50	0	9,524	5	4	2	1	3	
	9:59	1	1,783	5	4	3	2	1	0,102
	15:20	1	2,548	3	4	2	5	1	0,321
5.11.2014	9:02	0	8,763	5	4	2	1	3	
	9:10	1	2,368	5	4	3	1	2	
	13:10	1	2,685	4	3	2	5	1	0,402
6.11.2014	10:15	0	9,376	5	4	2	1	3	
	10:20	1	2,437	5	4	3	2	1	0,354
	14:20	1	2,677	3	4	2	5	1	0,399
7.11.2014	12:50	0	8,961	5	4	1	2	3	
	12:55	1	2,674	3	5	4	1	2	
	13:25	1	2,685	3	4	5	2	1	0,417

	12:55	1	2,674	3	5	4	1	2	
	13:25	1	2,685	3	4	5	2	1	0,417
29.11.2014	8:20	0	9,002	5	4	2	1	3	
	8:26	1	1,816	4	5	2	3	1	0,092
	14:10	1	2,433	3	4	2	5	1	0,338
20.11.2014	11:50	0	8,931	5	4	2	1	3	
	12:30	1	2,485	3	4	5	2	1	0,407
26.11.2014	11:45	0	9,132	5	4	2	1	3	
	11:50	1	1,538	4	5	2	3	1	0,081
	12:50	1	2,225	4	3	2	5	1	0,236
	14:50	1	2,391	4	3	2	5	1	0,358
	15:10	1	2,405	4	3	2	5	1	0,358
27.11.2014	9:45	0	8,966	5	4	2	1	3	
	9:48	1	2,327	3	4	5	1	2	
	14:50	1	2,455	3	4	2	1	5	
1.12.2014	9:10	0	8,974	5	4	2	1	3	
	9:11	1	1,704	4	5	2	3	1	0,084
	15:35	1	2,389	4	3	2	1	5	
2.12.2014	8:40	0	8,905	1	4	5	2	3	
	8:41	1	2,427	4	5	3	1	2	
	8:50	0	2,424	4	3	5	1	2	
	9:30	1	2,509	3	4	5	2	1	
	14:10	1	2,582	3	4	2	5	1	
8.12.2014	8:56	0	9,429	5	4	2	1	3	
	9:06	1	1,682	4	5	2	3	1	0,099
	15:00	1	2,378	4	3	2	5	1	0,399
9.12.2014	8:30	0	8,905	5	4	1	2	3	
	8:30	1	2,468	4	5	3	1	2	
	14:00	1	2,503	3	4	2	1	5	
10.12.2014	12:05	0	9,501	5	4	2	3	1	
	12:10	1	2,548	3	4	5	2	1	
	12:40	1	2,592	3	4	2	1	5	
	16:10	1	2,672	3	4	2	1	5	
17.12.2014	9:02	0	9,007	5	4	1	2	3	
	9:05	1	2,782	5	4	3	1	2	
	15:05	1	2,682	3	4	2	1	5	
18.12.2014	10:40	0	9,027	5	4	1	2	3	
	10:40	1	2,659	4	3	5	1	2	
	12:40	1	2,687	4	3	2	5	1	
	13:40	1	2,682	4	3	2	5	1	
	17:40	1	2,687	4	3	2	1	5	
19.12.2014	8:26	0	9,172	4	5	1	2	3	
	8:30	1	2,674	4	5	3	1	2	
	9:30	1	2,668	4	3	5	2	1	
	12:30	1	2,689	4	3	2	5	1	
22.12.2014	8:50	0	8,932	5	1	4	2	3	
	8:55	1	1,892	4	5	2	3	1	
	10:55	1	2,423	4	2	5	3	1	

	12:55	1	2,652	4	3	2	5	1	
	14:55	1	2,672	4	3	2	5	1	
23.12.2014	8:35	0	8,931	5	4	1	2	3	
	8:45	1	2,482	4	5	3	2	1	
	10:10	1	2,587	4	3	5	2	1	
	12:10	1	2,597	4	3	2	5	1	
	13:10	1	2,679	3	4	2	5	1	
	14:10	1	2,642	3	4	2	5	1	
2.1.2015	9:20	0	8,829	5	4	1	2	3	
	9:40	1	3,018	4	5	2	3	1	
	10:40	1	3,222	4	5	2	3	1	0,481
	12:40	1	3,308	4	2	5	3	1	0,570
	13:40	1	3,334	4	2	5	3	1	0,601
5.1.2015	8:45	0	8,931	5	4	1	2	3	
	8:45	1	2,812	4	5	2	3	1	0,249
	9:45	1	3,248	4	5	2	3	1	0,448
	12:45	1	3,609	4	2	5	3	1	0,750
	13:45	1	3,548	4	2	3	5	1	0,692
	14:45	1	3,568	4	2	3	1	5	0,695
6.1.2015	8:50	0	8,796	5	4	1	2	3	
	8:55	1	3,555	4	5	1	2	3	
	10:55	1	3,621	4	5	2	3	1	
	12:55	1	3,606	4	2	5	3	1	
	13:55	1	3,739	4	2	5	1	3	
7.1.2015	8:55	0	8,798	5	4	1	2	3	
	8:55	1	2,422	4	5	2	1	3	
	9:55	1	2,621	4	3	2	5	1	
	13:55	1	2,548	4	2	3	5	1	
	14:55	1	2,579	4	2	3	1	5	
8.1.2015	8:40	0	8,936	5	4	1	2	3	
	8:45	1	2,442	4	5	3	1	2	
	9:45	1	2,621	4	3	2	5	1	
	12:45	1	2,509	4	3	2	5	1	
	14:45	1	2,627	4	3	2	1	5	
9.1.2015	10:40	0	8,928	5	4	1	2	3	
	10:40	1	2,488	4	5	3	1	2	
	12:40	1	2,687	4	3	2	5	1	
	15:40	1	2,558	4	3	2	5	1	
12.1.2015	9:50	0	9,467	5	4	2	1	3	
	10:05	1	1,978	4	5	2	3	1	0,089
	12:05	1	2,451	4	2	3	5	1	0,368
	13:05	1	2,485	4	3	2	5	1	0,422
	14:05	1	2,482	4	3	2	5	1	0,421
	14:45	1	2,516	4	3	2	5	1	0,407
13.1.2015	8:50	0	8,918	5	4	1	2	3	
	8:55	1	2,213	4	5	2	3	1	
	10:55	1	2,651	4	3	2	5	1	0,399
	12:55	1	3,621	4	3	2	5	1	0,445
	13:55	1	2,598	4	3	2	5	1	0,438

	14:55	1	2,589	4	3	2	5	1	0,442
14.1.2015	10:30	0	8,793	5	4	1	2	3	
	10:30	1	2,595	4	5	3	1	2	
	15:30	1	2,658	4	3	2	5	1	
15.1.2015	9:30	0	9,162	1	5	2	4	3	
	9:30	1	2,648	4	3	5	1	2	
	15:30	1	2,731	3	4	2	5	1	
16.1.2015	8:45	0	8,867	5	4	1	2	3	
	8:50	1	2,726	4	5	3	1	2	
	11:50	1	2,639	4	3	2	5	1	
	12:50	1	2,687	3	4	2	5	1	
	16:50	1	2,687	3	4	2	5	1	
19.1.2015	9:40	0	9,076	5	4	1	2	3	
	9:45	1	2,011	4	2	5	3	1	0,067
	11:45	1	2,582	4	2	3	5	1	0,412
	14:45	1	2,589	4	2	3	5	1	
20.1.2015	9:40	0	8,918	5	1	4	2	3	
	9:50	1	2,432	4	5	2	3	1	
	15:50	1	2,663	4	3	2	5	1	
21.1.2015	9:40	0	8,818	5	1	4	2	3	
	9:45	1	2,487	4	5	1	3	2	
	10:45	1	2,688	4	3	5	2	1	
	13:45	1	2,733	4	3	2	5	1	
	15:45	1	2,688	4	3	2	1	5	
22.1.2015	8:20	0	9,521	1	5	4	2	3	
	8:40	1	2,639	3	4	1	2	5	
	9:50	1	2,712	3	4	2	1	5	
	11:50	1	2,699	1	4	2	1	5	
	12:50	1	2,795	3	4	2	1	5	0,424
	13:50	1	2,733	3	4	2	1	5	0,413
23.1.2015	8:35	0	8,862	5	1	2	4	3	
	8:40	1	2,692	4	3	5	1	2	
	12:40	1	2,682	3	4	2	1	5	0,444
	13:40	1	2,692	3	4	2	1	5	0,423
	14:40	1	2,693	3	4	2	1	5	0,444
26.1.2015	8:40	0	9,022	5	1	4	2	3	1,705
	8:45	1	2,085	4	2	5	3	1	0,136
	11:45	1	2,658	4	2	3	5	1	0,425
	14:45	1	2,712	4	2	3	1	5	0,423
26.1.2015	9:15	0	8,832	5	4	1	2	3	
	9:20	1	2,526	4	5	3	2	1	0,279
	10:20	1	2,641	4	3	2	5	1	0,441
	12:20	1	2,742	4	3	2	5	1	0,471
	14:20	1	2,685	4	3	2	1	5	
	15:20	1	2,703	4	3	2	1	5	
28.1.2015	9:00	0	8,831	5	4	2	1	3	
	9:05	1	2,685	4	3	5	1	2	

	10:05	1	2,822	4	3	2	5	1	0,486
	12:05	1	2,779	4	3	2	5	1	0,458
	14:05	1	2,762	4	3	2	5	1	
	15:05	1	2,743	4	3	2	1	5	
29.1.2015	8:00	0	9,007	5	1	2	4	3	
	8:30	1	2,792	4	5	3	1	2	
	10:30	1	2,779	4	3	2	5	1	0,478
	15:00	1	2,769	4	3	2	5	1	
30.1.2015	11:15	0	8,946	5	1	4	3	2	
	11:20	1	2,802	4	3	5	1	2	
	12:20	1	2,798	3	4	2	5	1	
	13:30	1	2,792	3	4	2	5	1	
2.2.2015	12:00	1	2,652	3	4	2	1	5	
	14:00	1	2,779	3	4	2	1	5	
3.2.2015	11:25	0	9,249	5	1	4	3	2	
	11:30	1	2,782	3	5	4	1	2	
	13:30	1	2,782	3	4	2	5	1	
	15:30	1	2,779	3	4	2	5	1	
4.2.2015	8:30	0	8,942	5	1	4	2	3	
	8:30	1	2,782	5	4	3	1	2	
	11:30	1	2,812	3	4	2	5	1	0,456
	14:30	1	2,735	3	4	2	5	1	0,450
6.2.2015	9:25	0	9,208	5	1	4	2	3	
	9:30	1	1,728	4	2	5	3	1	0,001
	12:30	1	2,689	4	2	5	3	1	0,422
	14:30	1	2,728	4	2	3	5	1	
9.2.2015	9:20	0	9,241	5	4	2	1	3	
	9:30	1	1,789	4	2	5	3	1	
11.2.2015	10:30	0	8,839	5	4	1	2	3	
	10:30	1	2,672	4	3	5	1	2	
	13:30	1	2,782	3	4	2	5	1	0,470
	16:30	1	2,758	3	4	2	5	1	0,460
12.2.2015	8:30	0	8,832	5	1	4	2	3	
	9:00	1	2,917	4	3	5	1	2	
	11:00	1	2,812	3	4	2	5	1	
	15:00	1	2,816	3	4	2	5	1	
16.2.2015	10:55	0	9,015	5	4	2	1	3	
	11:00	1	1,993	4	5	2	3	1	0,099
	15:00	1	2,732	4	3	2	5	1	0,433
17.2.2015	9:35	0	8,448	5	4	2	1	3	
	9:40	1	2,669	4	5	2	3	1	0,297
	14:40	1	2,718	4	3	2	5	1	0,468
	18:00	1	2,673	4	3	2	5	1	0,415
19.2.2015	9:25	0	9,033	5	1	4	2	3	
	9:30	1	2,466	4	2	5	3	1	0,142
	14:30	1	2,782	4	3	2	5	1	0,458
	16:00	1	2,782	4	3	2	5	1	0,468
20.2.2015	10:10	0	8,912	4	5	1	2	3	

	10:15	1	2,779	4	5	1	3	2	0,479
	10:30	1	2,768	4	3	5	1	2	0,503
	13:30	1	2,835	4	3	2	5	1	0,446
	14:30	1	2,889	4	3	2	5	1	0,489
	15:30	1	2,900	3	4	2	1	5	
23.2.2015	10:45	0	8,763	5	2	4	1	3	
	11:00	1	2,055	4	5	2	3	1	0,084
	14:00	1	2,812	4	3	2	5	1	0,499
	18:00	1	2,692	4	3	2	5	1	0,452
25.2.2015	10:50	0	8,849	5	4	2	1	3	
	11:00	1	2,418	1	4	2	5	3	0,282
	17:00	1	2,798	4	3	2	1	5	
26.2.2015	9:15	0	8,836	5	1	4	2	3	
	9:20	1	2,833	4	5	3	1	2	
	13:20	1	2,735	4	3	2	5	1	0,443
	14:20	1	2,692	4	3	2	5	1	0,465
	16:20	1	2,792	4	3	2	5	1	0,448
27.2.2015	10:15	0	8,945	5	1	4	2	3	
	10:20	1	2,692	4	5	3	1	2	
	13:20	1	2,782	4	3	2	5	1	0,448
	14:20	1	2,812	4	3	2	5	1	0,458
2.3.2015	11:10	0	9,473	5	1	2	4	3	
	11:10	1	1,723	2	4	3	5	1	0,083
	13:10	1	2,582	4	3	2	5	1	0,366
	15:10	1	2,648	4	3	2	5	1	0,412
3.3.2015	13:00	0	9,183	5	4	3	2	1	1,795
	13:10	1	2,728	4	5	3	2	1	0,305
	14:10	1	2,812	4	3	2	5	1	0,442
	18:10	1	2,801	4	3	2	5	1	0,412
6.3.2015	10:50	0	9,424	5	2	1	4	3	
	11:00	1	2,408	4	5	2	3	1	0,226
	14:00	1	2,812	4	3	2	5	1	0,428
9.3.2015	9:00	0	8,544	1	5	2	4	3	
	9:10	1	2,382	4	5	3	2	1	
	14:10	1	2,482	4	3	2	5	1	
	17:10	1	2,650	4	3	2	5	1	
10.3.2015	9:50	0	8,876	5	1	2	4	3	
	9:50	1	2,761	4	5	1	3	2	
	14:50	1	2,769	4	3	2	5	1	
11.3.2015	9:00	0	9,027	5	1	4	2	3	
	9:00	1	2,988	4	3	5	2	1	
	11:00	1	2,708	3	4	2	5	1	
	17:00	1	2,764	3	4	2	5	1	
12.3.2015	9:10	0	8,773	5	1	2	4	3	
	9:15	1	2,842	4	3	5	1	2	
	14:15	1	2,782	3	4	2	5	1	
13.3.2015	9:00	0	9,244	5	2	1	4	3	
	9:00	1	2,729	3	4	5	2	1	

	13:30	1	2,825	3	4	2	5	1	
16.3.2015	13:10	0	9,578	4	5	2	1	3	
	13:15	1	2,033	4	5	2	3	1	0,660
	14:15	1	2,457	4	3	5	2	1	0,257
	16:15	1	2,640	4	3	2	5	1	
17.3.2015	15:50	0	9,137	5	1	4	2	3	
	16:00	1	2,748	4	5	3	2	1	
	18:00	1	2,792	4	3	5	2	1	
19.3.2015	9:15	0	8,888	5	1	2	4	3	
	9:15	1	2,682	4	5	3	1	2	
	15:15	1	2,803	3	4	2	5	1	0,438
20.3.2015	9:55	0	8,982	5	1	2	4	3	
	10:00	1	2,669	4	3	5	2	1	0,422
	13:00	1	2,742	3	4	2	5	1	
23.3.2015	10:55	0	9,233	5	4	2	1	3	
	11:00	1	1,992	4	5	2	3	1	-0,033
	13:00	1	2,647	4	3	2	5	1	0,369
	14:00	1	2,612	4	3	2	5	1	0,427
	14:30	1	2,701	4	3	2	5	1	0,456
	17:00	1	2,731	4	3	2	5	1	0,448
24.3.2015	12:40	0	9,106	5	1	4	2	3	
	12:40	1	2,982	4	5	3	2	1	0,489
	14:40	1	2,721	4	3	2	5	1	0,438
	15:40	1	2,741	3	4	2	5	1	0,417
26.3.2015	10:10	0	9,376	5	1	4	2	3	
	10:30	1	2,475	4	3	2	5	1	0,246
	16:30	1	2,718	4	3	2	5	1	0,445
27.3.2015	10:15	0	8,999	5	1	2	3	4	
	10:20	1	2,718	4	5	3	1	2	
	12:20	1	2875,000	4	3	2	5	1	
30.3.2015	11:00	0	8,854	5	1	4	2	3	
	11:05	1	2,488	4	5	3	2	1	0,145
	17:05	1	2,782	4	3	2	5	1	0,428
31.3.2015	10:40	0	8,908	5	1	4	2	3	
	10:45	1	2,682	4	5	3	2	1	0,453
	14:50	1	2,872	4	3	2	5	1	-0,457
1.4.2015	9:30	0	9,402	5	1	4	2	3	
	9:35	1	2,649	4	5	3	2	1	0,403
	15:00	1	2,768	4	3	2	5	1	0,448
2.4.2015	11:45	0	8,878	5	1	4	2	3	
	11:50	1	2,682	4	3	5	2	1	0,433
	12:00	1	2,695	3	4	5	2	1	0,448
	12:30	1	2,784	3	4	2	5	1	1,461
	17:30	1	2,803	3	4	2	5	1	0,445
3.4.2015	10:55	0	8,798	5	1	4	2	3	
	11:00	1	2,794	4	3	5	2	1	0,456
	12:00	1	2,804	4	3	5	2	1	0,489
	13:00	1	2,881	4	3	2	5	1	0,481

	13:30	1	2,772	4	3	2	5	1	0,489
7.4.2015	13:00	0	9,312	5	4	2	1	3	
	13:05	1	1,799	4	5	2	3	1	0,018
	15:30	1	2,583	4	3	2	5	1	0,368
8.4.2015	10:25	0	8,899	5	2	4	1	3	
	10:30	1	2,636	4	5	3	2	1	0,168
	14:30	1	2,769	4	3	2	5	1	0,428
	16:30	1	2,927	4	3	2	5	1	0,458
9.4.2015	10:10	0	8,915	5	4	1	2	3	1,720
	10:10	1	2,792	4	5	3	2	1	0,456
	16:10	1	2,822	4	3	2	5	1	0,465
10.4.2015	10:55	0	8,898	5	4	1	2	3	
	10:55	1	2,802	4	3	5	2	1	0,412
	12:55	1	2,884	3	4	2	5	1	0,433
	13:55	1	2,902	3	4	2	5	1	0,422
	14:55	1	2,882	3	4	2	5	1	0,448
13.4.2015	10:55	0	9,221	5	4	2	1	3	
	11:00	1	2,208	4	2	5	3	1	0,088
	12:00	1	2,623	4	3	2	5	1	0,298
	16:00	1	2,718	4	3	2	5	1	0
14.4.2015	8:55	0	8,938	5	4	2	1	3	
	9:00	1	2,517	4	5	3	2	1	0,178
	10:00	1	2,762	4	3	2	5	1	0,303
	16:00	1	2,792	4	3	2	5	1	0,422
	18:00	1	2,782	4	3	2	5	1	0,418
16.4.2015	10:55	0	9,338	4	2	4	1	3	
	11:00	1	2,182	4	5	2	3	1	0,086
	17:00	1	2,815	4	3	2	5	1	0,448
17.4.2015	10:30	0	8,000	826	5	2	1	4	3,000
	10:30	1	2,782	4	3	5	1	2	0,463
	15:30	1	2,787	3	4	2	5	1	0,422
24.4.2015	9:13	0	9,407	4	5	2	1	3	
	9:45	0	8,691	4	5	2	1	3	
	9:50	1	2,529	4	5	3	2	1	0,178
	16:30	1	2,782	4	3	2	5	1	0,433
28.4.2015	10:20	0	8,994	5	4	2	1	3	
	10:25	1	2,699	4	3	5	2	1	0,448
	12:25	1	2,761	3	4	2	5	1	0,437
	18:25	1	2,768	3	4	2	5	1	0,492
30.4.2015	9:35	0	8,898	5	2	4	1	3	
	9:35	1	2,763	4	3	5	2	1	0,423
	10:00	1	2,802	3	4	5	2	1	0,488
	11:00	1	2,742	3	4	2	5	1	0,417
	13:00	1	2,789	3	4	2	5	1	0,407
4.5.2015	12:55	0	9,122	4	5	2	1	3	
	13:00	1	2,331	4	3	5	2	1	0,234
	15:00	1	2,721	3	4	2	5	1	0,405
	17:00	1	2,692	3	4	2	5	1	0,458

5.5.2015	9:45	0	9,071	5	1	2	4	3	
	9:50	1	2,762	4	5	3	2	1	0,278
	12:50	1	2,568	3	4	2	5	1	0,392
	13:50	1	2,682	3	4	2	5	1	0,399
	14:50	1	2,642	3	4	2	5	1	0,401
7.5.2015	9:55	0	9,338	5	4	1	2	3	
	10:00	1	2,392	4	3	2	5	1	0,098
	14:00	1	2,581	4	3	2	5	1	0,407
	16:00	1	2,692	3	4	2	1	5	
11.5.2015	9:08	0	8,946	5	4	2	1	3	
	9:10	1	1,996	4	3	5	2	1	0,036
	10:10	1	2,442	4	3	2	5	1	0,232
	13:10	1	2,546	4	3	2	5	1	0,412
13.5.2015	12:30	1	9,488	4	5	2	1	3	
	12:35	1	1,782	4	3	2	5	1	0,023
	15:35	1	2,654	4	3	2	5	1	0,399
14.5.2015	9:55	0	8,954	5	2	4	1	3	
	10:00	1	2,664	4	3	5	2	1	0,406
	14:00	1	2,697	4	3	2	5	1	0,422
15.5.2015	9:40	0	8,918	5	4	2	1	3	
	10:00	1	2,669	4	3	5	2	1	0,442
	14:00	1	2,682	4	3	2	5	1	0,422
18.5.2015	11:30	0	9,317	5	4	2	1	3	
	11:30	1	1,814	4	3	2	5	1	0,026
	13:30	1	2,579	4	3	2	5	1	0,411
	16:30	1	2,592	4	3	2	5	1	0,480
19.5.2015	9:50	0	9,081	5	4	2	1	3	
	10:00	1	2,669	4	3	2	5	1	0,493
	14:00	1	2,772	4	3	2	5	1	0,428
20.5.2015	9:15	0	8,941	5	4	2	1	3	
	9:20	1	2,672	4	3	5	2	1	0,412
	10:20	1	2,682	4	3	2	5	1	0,422
	12:20	1	2,772	4	3	2	5	1	0,428
	13:20	1	2,702	4	3	2	5	1	0,409
21.5.2015	13:25	0	8,999	2	5	4	1	3	
	13:25	1	2,669	4	3	5	2	1	0,402

Příloha

B

Datum měření	Čas měření	Na prázdko (0) Do zátěže (1)	Celkové napětí [V]	Sestupně seřazené články podle velikosti napětí					Napětí prvního článku [V]	Obsah kyslíku v okolí
22.5.2015	11:10	0	8,707	5	2	4	1	3		20,4%
	11:15	0	8,688	5	2	4	1	3		20,2%
	11:15	0	8,707	5	2	4	1	3		20,3%
	11:20	1	2,811	4	3	5	2	1	0,412	20,1%
	11:28	1	2,873	4	3	5	2	1	0,415	20,0%
	11:30	1	2,876	4	3	5	2	1	0,415	20,0%
	11:35	1	2,889	4	3	5	2	1	0,430	19,9%
	11:40	1	2,865	4	3	5	2	1	0,433	19,9%
	11:45	1	2,934	4	3	2	5	1	0,448	19,8%
	11:50	1	2,94	4	3	2	5	1	0,445	19,8%
	12:00	1	2,955	4	3	2	5	1	0,433	19,8%
	12:10	1	2,945	4	3	2	5	1	0,435	19,9%
	12:18	1	3,406	4	3	2	5	1	0,573	20,0%
	12:20	1	3,526	4	3	2	5	1	0,586	20,0%
	12:22	1	3,496	4	3	2	5	1	0,575	20,1%
	12:30	1	3,611	4	3	2	5	1	0,608	20,0%
	12:34	1	3,579	4	3	2	5	1	0,583	19,9%
	12:40	1	3,513	4	3	2	5	1	0,611	19,8%
	12:46	1	3,051	4	3	2	5	1	0,481	19,7%
	12:50	1	3,034	4	3	2	5	1	0,465	19,8%
	12:53	1	3,095	4	3	2	5	1	0,476	19,9%
	12:54	1	3,070	4	3	2	5	1	0,473	20,0%
	12:55	1	3,067	4	3	2	5	1	0,471	20,0%
	13:00	1	2,986	4	3	2	5	1	0,450	19,8%

Příloha C

Datum měření	Čas měření	Na prázdno (0) Do zátěže (1)	Celkové napětí [V]	Sestupně seřazené články podle velikosti napětí					Napětí prvního článku [V]	Obsah kyslíku v okolí článků
22.5.2015	13:36	1	2,927	4	3	2	5	1		20,9%
	13:40	1	2,835	4	3	2	5	1		21,0%
	13:41	1	2,764	4	3	2	5	1		21,1%
	13:42	1	2,817	4	3	2	5	1		21,2%
	13:43	1	2,825	4	3	2	5	1		21,3%
	13:44	1	2,830	4	3	2	5	1		21,4%
	13:45	1	2,850	4	3	2	5	1		21,5%
	13:47	1	2,830	4	3	2	5	1		21,6%
	13:50	1	2,912	4	3	2	5	1	0,405	21,7%
	13:52	1	2,911	4	3	2	5	1	0,420	21,8%
	13:54	1	2,924	4	3	2	5	1	0,425	21,9%
	13:55	1	2,913	4	3	2	5	1	0,422	22,0%
	13:56	1	2,916	4	3	2	5	1	0,438	22,1%
	13:58	1	2,911	4	3	2	5	1	0,405	22,0%
	14:00	1	2,915	4	3	2	5	1	0,417	22,1%
	14:05	1	2,894	4	3	2	5	1	0,420	22,0%
	14:10	1	2,896	4	3	2	5	1	0,415	21,9%
	14:11	1	2,871	4	3	2	5	1	0,417	21,7%
	14:12	1	2,843	4	3	2	5	1	0,407	21,6%
	14:13	1	2,822	4	3	2	5	1	0,402	21,5%
	14:14	1	2,824	4	3	2	5	1	0,405	21,4%
	14:15	1	2,796	4	3	2	5	1	0,410	21,1%
	14:18	1	2,832	4	3	2	5	1	0,412	21,2%
	14:19	1	2,841	4	3	2	5	1	0,403	21,0%
	14:20	1	2,756	4	3	2	5	1	0,420	20,9%

Dynamická analýza situace PEM článku pod kyslíkovým krytem

Tomáš Šašek 2015

14:26	1	2,843	3	4	2	5	1	0,425	20,6%
14:27	1	2,815	3	4	2	5	1	0,415	20,7%
14:29	1	2,843	3	4	2	5	1	0,417	20,8%
14:31	1	2,848	3	4	2	5	1	0,420	20,9%
14:32	1	2,786	3	4	2	5	1	0,412	21,0%
14:33	1	2,836	3	4	2	5	1	0,412	21,2%
14:34	1	2,843	3	4	2	5	1	0,422	21,1%
14:39	1	2,835	3	4	2	5	1	0,415	21,1%
14:46	1	2,825	3	4	2	5	1	0,420	21,2%
14:48	1	2,771	3	4	2	5	1	0,417	21,1%
14:50	1	2,787	3	4	2	5	1	0,417	21,2%
14:51	1	2,786	3	4	2	5	1	0,415	21,1%
14:52	1	2,776	3	4	2	5	1	0,399	21,2%
14:54	1	2,815	3	4	2	5	1	0,405	21,3%
14:57	1	2,789	3	4	2	5	1	0,387	21,4%
14:58	1	2,807	3	4	2	5	1	0,405	21,3%
14:59	1	2,746	3	4	2	5	1	0,417	21,2%
15:00	1	2,810	3	4	2	5	1	0,402	21,1%
15:01	1	2,825	3	4	2	5	1	0,417	21,0%
15:02	1	2,772	3	4	2	5	1	0,397	20,9%
15:03	1	2,835	3	4	2	5	1	0,410	20,8%
15:04	1	2,789	3	4	2	5	1	0,398	20,7%
15:08	1	2,769	3	4	2	5	1	0,412	20,8%
15:09	1	2,803	3	4	2	5	1	0,407	20,9%
15:10	1	2,807	3	4	2	5	1	0,407	21,0%
15:12	1	2,745	3	4	2	5	1	0,415	21,2%
15:13	1	2,790	3	4	2	5	1	0,405	21,3%
15:14	1	2,756	3	4	2	5	1	0,402	21,4%

Příloha D

Datum měření	Čas měření	Na prázdko (0) Do zátěže (1)	Celkové napětí [V]	Sestupně seřazené články podle velikosti napětí					Napětí prvního článku [V]	Obsah kyslíku v okolí článků
25.5.2015	11:55	1	2,772	4	3	5	2	1	0,293	19,8%
	11:59	1	2,733	4	3	5	2	1	0,277	19,9%
	12:01	1	2,746	4	3	5	2	1	0,287	20,0%
	12:02	1	2,748	4	3	5	2	1	0,275	20,1%
	12:03	1	2,775	4	3	5	2	1	0,265	20,2%
	12:04	1	2,766	4	3	5	2	1	0,850	20,3%
	12:05	1	2,784	4	3	5	2	1	0,282	20,4%
	12:06	1	2,786	4	3	5	2	1	0,303	20,5%
	12:07	1	2,782	4	3	5	2	1	0,300	20,6%
	12:08	1	2,786	4	3	5	2	1	0,298	20,7%
	12:09	1	2,794	4	3	5	2	1	0,285	20,8%
	12:10	1	2,784	4	3	5	2	1	0,282	20,9%
	12:11	1	2,786	4	3	5	2	1	0,315	21,0%
	12:12	1	2,794	4	3	5	2	1	0,310	21,1%
	12:13	1	2,804	4	3	5	2	1	0,313	21,2%
	12:14	1	2,807	4	3	5	2	1	0,293	21,3%
	12:15	1	2,804	4	3	5	2	1	0,318	21,4%
	12:16	1	2,802	4	3	5	2	1	0,285	21,5%
	12:17	1	2,807	4	3	5	2	1	0,320	21,6%
	12:19	1	2,803	4	3	5	2	1	0,301	21,7%
	12:20	1	2,815	4	3	5	2	1	0,308	21,7%
	12:21	1	2,799	4	3	5	2	1	0,030	21,6%
	12:22	1	2,807	4	3	5	2	1	0,321	21,7%
	12:23	1	2,820	4	3	5	2	1	0,330	21,8%
	12:24	1	2,834	4	3	5	2	1	0,333	21,9%
	12:25	1	2,815	4	3	5	2	1	0,315	21,8%

Dynamická analýza situace PEM článku pod kyslíkovým krytem

Tomáš Šašek 2015

12:28	1	2,820	4	3	5	2	1	0,320	21,9%
12:32	1	2,841	4	3	5	2	1	0,326	22,0%
12:35	1	2,822	4	3	5	2	1	0,303	22,1%
12:37	1	2,830	4	3	5	2	1	0,305	22,1%
12:44	1	2,812	4	3	5	2	1	0,331	22,1%
12:45	1	2,822	4	3	5	2	1	0,308	22,2%
12:46	1	2,812	4	3	5	2	1	0,328	22,1%
12:48	1	2,823	4	3	5	2	1	0,313	22,2%
12:49	1	2,804	4	3	5	2	1	0,328	22,1%
12:50	1	2,838	4	3	5	2	1	0,321	22,2%
12:53	1	2,845	4	3	5	2	1	0,326	22,3%
12:59	1	2,840	4	3	5	2	1	0,315	22,2%
13:00	1	2,871	4	3	5	2	1	0,326	22,3%
13:05	1	2,842	4	3	5	2	1	0,310	22,4%
13:09	1	2,838	4	3	5	2	1	0,326	22,3%
13:14	1	2,860	4	3	5	2	1	0,313	22,4%
13:18	1	2,835	4	3	5	2	1	0,308	22,3%
13:19	1	2,824	4	3	5	2	1	0,313	22,4%
13:21	1	2,835	4	3	5	2	1	0,308	22,3%
13:22	1	2,840	4	3	5	2	1	0,305	22,4%
13:24	1	2,832	4	3	5	2	1	0,310	22,3%
13:26	1	2,825	4	3	5	2	1	0,343	22,4%
13:30	1	2,863	4	3	5	2	1	0,326	22,5%
13:31	1	2,848	4	3	5	2	1	0,321	22,4%
13:34	1	2,855	4	3	5	2	1	0,328	22,3%
13:35	1	2,858	4	3	5	2	1	0,318	22,4%

Dynamická analýza situace PEM článku pod kyslíkovým krytem

Tomáš Šašek 2015

13:39	1	2,856	4	3	5	2	1	0,315	22,3%
13:41	1	2,827	4	3	5	2	1	0,315	22,2%
13:45	1	2,822	4	3	5	2	1	0,318	22,3%
13:54	1	2,830	4	3	5	2	1	0,305	22,2%
13:59	1	2,848	4	3	5	2	1	0,323	22,3%
14:05	1	2,832	4	3	5	2	1	0,313	22,2%
14:06	1	2,863	4	3	5	2	1	0,326	22,1%
14:08	1	2,876	4	3	5	2	1	0,310	22,2%
14:09	1	2,853	4	3	5	2	1	0,308	22,3%
14:12	1	2,875	4	3	5	2	1	0,328	22,4%
14:18	1	2,898	4	3	5	2	1	0,326	22,5%
14:22	1	2,875	4	3	5	2	1	0,320	22,6%
14:27	1	2,899	4	3	5	2	1	0,323	22,6%
14:30	1	2,893	4	3	5	2	1	0,318	22,5%
14:35	1	2,867	4	3	5	2	1	0,321	22,4%
14:37	1	2,855	4	3	5	2	1	0,315	22,5%
14:40	1	2,869	4	3	5	2	1	0,321	22,4%
14:49	1	2,866	4	3	5	2	1	0,321	22,5%
14:50	1	2,863	4	3	5	2	1	0,312	22,4%
14:55	1	2,853	4	3	5	2	1	0,318	22,4%
14:56	1	2,834	4	3	5	2	1	0,321	22,5%
15:00	1	2,864	4	3	5	2	1	0,323	22,5%
15:01	1	2,888	4	3	5	2	1	0,331	22,4%
15:03	1	2,871	4	3	5	2	1	0,308	22,5%