

Metoda měření termálního profilu katexu PEM palivového článku pomocí prostředí NI LabView

P.Štekl¹, J.Dejmek¹

¹ Katedra teoretické elektrotechniky, Fakulta elektrotechnická, ZČU v Plzni,
Univerzitní 26, Plzeň

E-mail : steklp@kte.zcu.cz, dejmek@kte.zcu.cz

Anotace:

Článek pojednává o vývoji automatizovaného počítačového kompletu pro proměřování termálního profilu katexových membrán. Tyto membrány jsou podstatnou součástí palivových článků typu PEM a výrazným způsobem determinují jeho parametry, životnost a účinnost. Je zde dále popsána jak platforma hardware, ta i část programového vybavení, který celý systém řídí a v reálném čase sbírá a měří potřebná data. Součástí článku jsou i technická schémata, fotografie a některé detailní vysvětlující teoretické vzorce.

ÚVOD

Palivové články jsou v současné době určitým fenoménem zejména v souvislosti s rozvojem diskuze alternativních zdrojů energie. Vlastní palivový článek je ve své podstatě elektrochemický zdroj, kterému do klasické koncepce chybí autonomní zásoba elektrolytického materiálu, která je zde nahrazena dodávaným palivem.

Redoxní děj se u tohoto typu článku nahrazuje v podstatě klasickou katalytickou reakcí, která je realizována za různých provozních podmínek. Jedna z nejvýraznějších základních termodynamických veličin ovlivňujících tento katalytický děj je teplota. Zatímco teplotní děje provázející vlastní katalytický, povrchový a difúzní děj na vnitřní sendvičové membránové konstrukci článku s PEM membránou jsou teoreticky velmi obtížně extrapolovatelné, praktická měření mohou v této oblasti přinést nečekané a hodnotné výsledky.

Tento příspěvek je zaměřen na výzkum a zejména praktickou realizaci proměřování termálního profilu celé konstrukce PEM článku. Cílem tohoto směru experimentální práce je získání rozsáhlých datových souborů vhodných pro sekundární analýzu a tvorbu simulačních modelů rozvoje termálního profilu celé konstrukce PEM článku.

Užitím klasických postupů, využívajících digitální multimetry a osciloskopy, lze relativně snadno dosáhnout potřebné přesnosti naměřených dat a reprodukovatelnosti experimentu. Opětovné zapojení celého měřicího řetězce nebo následné zpracování naměřených dat off-line je časově velice náročné, nepraktické a při převodu dat do jiné digitální podoby mohou vznikat chyby. Tento způsob měření je tedy dosti pomalý, neefektivní a v praxi překonaný.

V současnosti existuje řada metod zefektivnění a zkvalitnění experimentální práce hlavně v oblasti měření. Jako příklad lze uvést použití měřicích přístrojů komunikujících s PC pomocí sériových sběrnic RS-232C či USB. Tento metodický postup se může jevit efektivnější, v případě použití více připojovacích vstupů z různých typů přístrojů ale dochází často k nekompatibilitě vstupních a

výstupních datových souborů, popřípadě k složitějšímu kompilování dat do výsledného protokolu. Problémy to tedy také zcela neodstíní.

Pro tyto případy je ideálním řešením volba komplexního měřicího systému, kombinujícího dostatečnou přesnost samostatných přístrojů, unifikovaný HW a SW umožňující paralelní analýzu více měřených veličin v reálném čase. To vše navíc v moderním grafickém objektovém programovém prostředí, které je dokonale schopné obsluhovat více typů specializovaného hardware a zpracovat všechna přijatá data.

Pro potřeby experimentálních měření byl zvolen grafický modulární systém LabView, produkt americké firmy National Instruments. Důvodů pro tuto volbu bylo několik. Prioritně lze uvést skvělou tradici, vynikající podporu, příznivé ekonomické aspekty a dále i velký rozsah měřicích vstupů, jednoduché objektové grafické programovací prostředí s podporou analýzy a záznamu paralelních datových toků v reálném čase.

SYSTÉM LABVIEW

Práce v systému LabView má svá specifika a je velmi odlišná od klasického programování, kde je třeba si všechno navrhnout a naprogramovat pro konkrétní případ pomocí jednoduchých výrazových prostředků. LabView je naproti tomu velmi komplexní nástroj, obsahuje stovky předdefinovaných funkcí a funkčních bloků a ty je možné pouhou drobnou úpravou přizpůsobit dané aplikaci.

Jedná se o grafický programovací nástroj, kde definice jednotlivých kanálů, proměnných, konstant a dalších objektů provádíme pomocí předdefinovaných grafických objektů, kde měníme převážně jednotlivé předdefinované parametry. V námi využitě nejnovější verzi tohoto nástroje LabView 8.21 byly velmi zajímavě implementovány nové funkce zejména z oblasti analýzy a simulace, které bude možné v budoucnu následně také využít.

DVĚ OKNA LABVIEW

Základní výraznou diferencí mezi LabView a jinými programovacími prostředky (například objektové vizuální projekty MS Visual Basic a jiné) lze jednoznačně spatřovat ve zcela odlišné filozofii návrhu aplikace včetně algoritmu. Tato na první pohled odlišná koncepce tvorby kódu je dána především metodikou využívající dvou pracovních oken a zcela odlišnou filozofií návrhu celé aplikace.

První okno je určeno pro návrh designu grafické aplikace. Lze tu definovat viditelné objekty jako jsou kontrolky, displeje, tlačítka a další ovládací prvky.

V tomto okně lze definovat i skupiny objektů různých tvarů jako jsou tlačítka, ovládací prvky nebo různé typy displejů. Lze tu také vytvářet i celý design virtuálního přístroje včetně stínování a okrajů.

Přestože toto okno nemá přímý vliv na funkci algoritmu programu, pro jeho ovládání a například manuální vstupy je zcela klíčové, aby design byl jednoduchý a principiálně velmi podobný skutečným přístrojům. Je zde i určitá možnost vytvářet i estetickou stránku aplikace, která je například pro neprogramátorsky založeného uživatele velmi příjemná a usnadňuje velmi výrazně práci s danou aplikací.

Druhé okno disponuje zcela jinými výrazovými prvky a je zaměřeno na tvorbu kódu, který má ovšem charakter grafického diagramu pospojovaných objektů, kde funkčnost a řízení jednotlivých objektů definujeme pomocí různobarevných spojnic a symbolů ve tvaru ikon. Přestože se může na první pohled zdát změt' ikon triviální, není tomu tak. Každá ikona má zpravidla i svojí hlubší interpretaci, má své vstupy i výstupy, definiční rámce a toto všechno je přehledně vyjádřeno pomocí čar různých barev, provedení a různé tloušťky.

Každý symbol, každá barva i typ daného objektu symbolizuje některou jeho vlastnost a přestože je tento styl programování velmi rychlý a intuitivní, není snadné vytvářet okamžitě rozsáhlé aplikace s využitím cyklů a podmínek. Je samozřejmé, že systém LabView má velmi propracovanou nápovědu typu kontextové i celkové, a je doplněn o značný počet ilustrativních příkladů ze všech oborů, které lze pomocí jeho funkcí řešit.

Přestože jsou obě okna aplikace od sebe funkčně i koncepčně značně vzdálená a pracuje se v nich s jinými nástroji v nástrojových bankách (toolboxech) existuje na první pohled zcela zřejmá vazba mezi grafickým ztvárněním aplikace a jeho algoritmickou interpretací. Tato provázanost se pak odráží v celkovém pojetí aplikace a lze tak vytvořit velmi efektivní a funkčně i vizuálně dokonalý objekt pro řešení dané konkrétní aplikace.

MĚŘICÍ SYSTÉM - HARDWARE

Pro náhradu měřicího systému složeného ze samostatných měřicích přístrojů bylo nutné nejprve navrhnout a posléze i realizovat vhodnou virtuální alternativu. Protože systém LabView je koncipován jako systém orientovaný na podporu hardware stejné firmy, byla vybrána zásuvná modulární měřicí karta NI PCI-6229, která disponuje následujícími technickými specifikacemi:

16 analogových vstupních kanálů (režim DI, 32 SE),
4 výstupní kanály s rozlišením 16-bitů (833 kS/s),
48 digitálních kanálů (48 DIO) – logika TTL,
2 čítače s rozlišením 32-bitů – logika TTL,
2 DMA kanály
rozlišení převodníku karty – 16 bitů,
vzorkovací rychlost – 250 kS/s,
napěťový rozsah max. -10 V až +10V,
napěťový rozsah min. -200 až +200 mV.

K tomu, aby tato měřicí karta mohla splňovat všechny požadavky, které s sebou přinášelo řešení daného projektu, bylo třeba ji rozšířit o modul přídatné svorkovnice NI SCB-68, kde probíhalo vlastní připojování čidel. Tento modul se k měřicí kartě připojoval pomocí stíněného kabelu opět z produkce firmy National Instrument (NI SHC-98 - EPM).

Měřicí komplex doplňoval standardní počítač třídy PC (AMD Athlon 1900+, 512MB RAM, 80GB HDD) doplněný o LCD panel 19" AOC. Jako operační systém na tomto počítači byl použit systém Microsoft Windows XP doplněný o Service Pack 2. Poslední součást měřicího řetězce a vlastní snímače byly realizovány pomocí deseti polovodičových teplotních čidel NTC (Vishay NTC Termistor 2381 640) [2].

Tato čidla byla umístěna do metakrylátového krytu vlastního tělesa palivového článku tak, aby plošně pokryla předpokládaný tepelný projev vlastní redoxní elektrochemické reakce a zároveň aby s dostatečnou přesností informovala o průběhu vývoje teplotního profilu na membráně článku. Celý měřicí systém ještě kromě předmětného palivového článku se zásobníky plynů doplňovala i odporová dekáda a přídatný laboratorní zdroj (LPS-303) pro realizaci vlastního proudového zatížení čidel.

MĚŘICÍ SYSTÉM - SOFTWARE

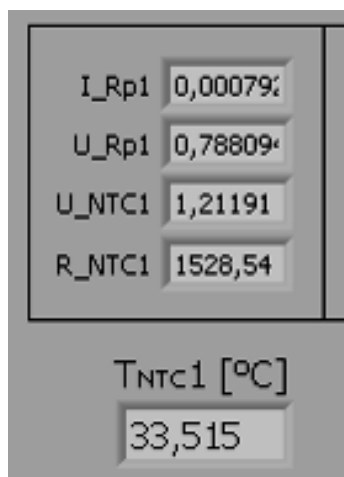
Největší přínos daného řešení spočívá jednoznačně v přípravě měřicího a řídicího programu pomocí grafického programovacího nástroje LabView.

Jako základní požadavky lze definovat snímání daného počtu kanálů (reprezentujících jednotlivá čidla) a jejich okamžitého zpracování. Vzhledem k tomu, že daná karta NI PCI-6229 neumožňuje odečítat všechny kanály AI simultánním způsobem,

bylo třeba věc řešit s využitím vzorkovacího systému SH. Vzhledem k nízké periodě vzorkování jednotlivých kanálů ($f = 10 \text{ Hz}$) bylo možno tento systém s tímto vybavením zcela uspokojivě realizovat a takto získaná data se blížila principem snímání reálnému paralelnímu snímání.

Dalším krokem bylo naprogramování dané aplikace. Obsluha jednotlivých kanálů byla realizována pomocí expresních funkcí obsluhy celé karty prostřednictvím daného ovladače. Bylo tedy zapotřebí pouze přeprogramovat parametry jednotlivých kanálů, definovat napěťové úrovně a vyřešit přepočtové koeficienty pro rozšířenou Stein-Hartovu rovnici pro vlastní čidla typu NTC.

Virtuální kanál zde koresponduje se skutečným měřicím kanálem a jeho zpracování probíhá v druhém okně s algoritmem. V prvním okně jsou potom zobrazovány aktuální hodnoty měření pro každý kanál a tedy i pro každé čidlo.



Obr. 1: Výstup systému

Prvním krokem při přípravě programu byla definice snímání dat pomocí ovladače karty NI PCI-6229 a modulu ovladače – *analog input* a *analog output*. Výstupní data z těchto dvou objektů bylo třeba pro každý kanál analyzovat a provést jejich sjednocení do jednoho datového toku pro potřeby zobrazení a posléze i uložení pro další analýzu. Vzhledem ke způsobu vlastního zapojení čidel zde byl použit u každého kanálu objekt dělení a posléze i další objekt pro výpočet koeficientů vlastních polovodičových čidel NTC realizovaný pomocí vloženého skriptu kompatibilního s jazykovou normou programu Matlab z produkce firmy MathWorks.

Výsledné datové toky konkrétních měřených kanálů (odpovídajících kanálů AI) je třeba následně ještě vizuálně zobrazit a pomocí jejich grafické reprezentace v okně návrhu designu aplikace je převést na údaje virtuálních digitálních přístrojů.

EXPERIMENTÁLNÍ PEM FC SYSTÉM

V současné době asi nejvýznamnější a do jisté míry i prvořadou snahou vědeckých pracovníků a vědeckých kolektivů zabývajících se konkrétními technologiemi palivových článků je vytvoření finálního a funkčního teoretického modelu pro každý daný konkrétní typ palivového článku a dané technologie.

Tyto funkční teoretické modely a jejich dílčí modifikace mají za úkol věrně simulovat a dále i popsat nejen principiální probíhající elektrochemické reakce, ale také poskytnout data o chování systému při změně vstupních a výstupních parametrů, dále například při změně reakčních podmínek a v rámci stanovení spolehlivosti a životnosti systému s ohledem na popis procesu degradace jednotlivých částí. Samotná konstrukce funkčního teoretického modelu se bude v první řadě potýkat především s problémem řešení sdružené fyzikální analýzy komplexní struktury této technologie, protože v případě modelu jednotlivých procesů či dějů nelze dosáhnout ani obecného popisu principu. Je proto nutné kombinovat zákonitosti fyzikální chemie, chemické kinetiky, povrchových katalytických dějů, termodynamiky, fyziky kapalin a plynů a je zde třeba vzít v úvahu i kvantové jevy pro elementární stavební prvky.

Při analýze nových a teoreticky ne zcela známých systémů lze postupovat formou experimentálního měření chování systému a kombinací takto získaných výsledků a z teoretických předpokladů je možné vytvořit prvotní, většinou numerický model. Výsledky je pak možné po důkladném teoretickém rozboru a následné axiomatice analýze jednotlivých elementárních prvků podrobit numerické analýze a zajistit tak maximální přesnost výstupů s použitím měřených datových sad. Naměřená data lze pak různě interpolovat a podrobovat je korelační analýze a je možné se tak přiblížit skutečné fyzikální podstatě probíhajících dějů.

Důvodů pro návrh a vytvoření experimentálního systému je několik. V první řadě se jedná o vytvoření rozsáhlého a zároveň uceleného datového souboru, ze kterého lze čerpat data pro další analýzu teplotního chování článku.

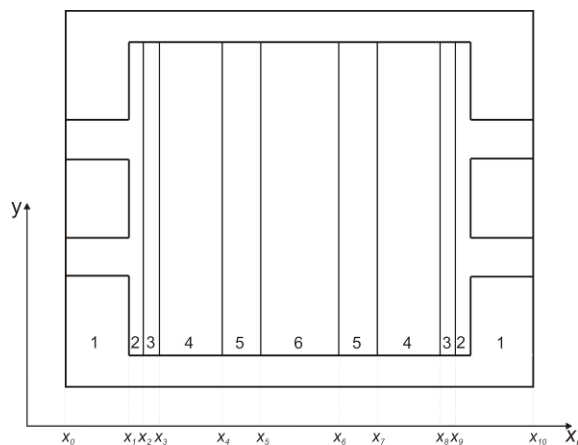
Mezi další důvody lze zahrnout i přípravné práce pro vytvoření automatizovaného měřicího systému pro měření dalších charakteristik uvedeného palivového článku. Praktické otestování vlastností měřicího systému přinese v budoucnu užitek ve formě snadné modifikace parametrů měřicího řetězce s cílem aplikace nových požadavků na experimentální systém. Do budoucna se počítá zejména s proměřováním fyzikálních parametrů PEM článků při vyšším zatížení, proměřování tlakových závislostí a simultánního měření komplexních vlastností

systému jako je pracovní teplota, tlak, čistota použité vodní náplně a některé další parametry.

TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY

Měření teplotního profilu u PEM článku není kvůli jeho složité struktuře jednoduchá záležitost. Pro modelové pochopení celého principu je nutné analyzovat a popsat fyzikálně-chemické principy a mechanismy jednotlivých komponent. Dále je třeba popsat chování na fyzikálním rozhraní jednotlivých povrchů membránové technologie a tím získat komplexní termální model. Pro pochopení celého systému je také třeba sestavit a popsat modelové chování jednotlivých komponent, protože u jednotlivých částí dochází díky vnitřním a vnějším vlivům k degradaci, která není lineární funkcí času a závisí na množství zatím ne zcela objasněných aspektů.

Tento postup předpokládá v první řadě volbu principiální konstrukce teoretického modelu na základě jednoduše analyzovatelného fyzikálně-chemického jevu. Naším primárně zvoleným cílem je získání termálního profilu celé sendvičové struktury článku. Modelový systém se skládá z vnějšího fixačního materiálu tvořeného průhledným organickým sklem na bázi polymethylmetakrylátu. Vnitřní struktura celého sendviče je tvořena kovovými sběracími elektrodami ve tvaru pravoúhlé kovové sítě, vrstvami uhlíkového materiálu pro difúzi plynu (GDL), vrstvou karbonizované platinové černi s aktivním uhlíkem a uprostřed je vlastní membrána PEM (Proton Exchange Membrane) například typu Nafionu 117 (s kyselými sulfoskupinami).



Obr. 2: Schéma složení PEM FC

Na Obr. 2 je znázorněno ideální rozložení vrstev u Reversible PEM FC. Důležité je definovat ideální stav technologie a reakčních přenosů, tedy průběh elektrochemické reakce, která bude za stejných podmínek probíhat oběma směry se stejnými

reakčními rychlostmi a se stejnými provozními charakteristikami.

Číslice charakterizují použité materiály a jejich funkci v rámci systému. 1) Kryt z polymethylmetakrylátu; 2) Rozvodný systém plynného paliva a oxidovadla (H_2 , O_2); 3) Niklový elektrodový sběrač elektronů, uvolněných při katalýze; 4) GDL pro H_2 a O_2 plyn; 5) Karbonizovaná platinová vrstva s aktivním katalyzátorem (Pt, Pd) pro H_2 katalýzu; 6) Polymerová iontoměničová membrána typu Nafion;

Teplotní závislost

Teplotní závislost celé sendvičové struktury modelového PEM článku je zatím proměřována pouze z pohledu komplexního pojetí celé struktury, tedy bez započítání koeficientů zvýšení tepelné a následně i elektrické vodivosti kovové sítě u svodové elektrody a u vlastní membrány a katalytické platinované vrstvy.

Zatímco vliv teploty na vodivost kovového materiálu je víceméně jasný a podléhá stejným zákonitostem jako u obyčejného vodiče, lze jej tedy rámcově popsat na základě odvození vodivosti z Ohmova zákona jako funkci $I/R = f(T)$. Vliv teploty na katalytickou vrstvu a posléze i na membránu je ve všech směrech složitější.

Částečným směrem pro řešení alespoň části tohoto problému je vhodné použití teorie vycházející z Nernstovy redoxní rovnice, kde lze vyjádřit uvedený vliv termodynamické teploty na průběh redoxního děje na obou stranách membrány podle základního vztahu:

$$U_M = \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \ln \left[\frac{[H^+]_{RED}}{[H^+]_{OX}} \right] \quad (1)$$

Kde:

U_M [V] je rovnovážné napětí na membráně článku
 R je univerzální plynová konstanta ($R \cong 8.3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T [K] je termodynamická teplota membránového systému ($T = t + 293,15$)

z je úhrnný náboj zkoumaného iontu, v případě H^+ je $z = 1$

F je Faradayova konstanta ($F \cong 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$)

Kromě povrchového katalytického jevu se zde dostáváme i k problému řešení teplotní závislosti difúze a ani funkční předpis pro teplotní závislost difúzního koeficientu na teplotě nebude jednoznačným řešením problému. Pracujeme-li s vodíkem jako s plynem, je vyjádření teplotní závislosti difúze tohoto plynu na teplotě odvoditelné. Jiná situace však nastává, když do hry vstoupí kapalná vrstva smáčecí vody, která je jednak

vhodným vodivostním prvkem ale zároveň je i produktem katalytické reakce na membráně a stává se tak posléze i odpadním produktem. Nelze tedy opominout ani bilanční rovnice a kinetiku takto udané redoxní reakce. Všechny tyto teoretické aspekty budou podrobeny teoretické analýze v okamžiku existence dostatečného množství dat, aby mohly být provedeny simulace celkového děje v PEM článku.

V budoucnu bude třeba proměřit vliv teploty a případně i tlaku na rychlost difúzního děje na vlastní membráně i na katalytické vrstvě s platinou.

V případě katalytické vrstvy by se dala uvažovat i rovnice popisující povrchovou aktivitu katalyzátoru. Tato problematika zahrnuje například i problematiku kinetiky povrchového děje a statistické jevy při obsazenosti katalyticky aktivních center na povrchu katalyzátoru.

V první části práce bude celý PEM článek řešen komplexně a teprve v následujících studiích bude podrobena zkoumání i dynamika jednotlivých vrstev a dějů na nich probíhajících.

MĚŘICÍ SYSTÉM

Prezentovaná část systému s palivovým PEM článkem a dále měřicím modulem NI PCI-6229 je součástí připravovaného automatizovaného systému, určeného pro kompletní monitoring, analýzu a následné vyhodnocení vstupních a výstupních výsledků. Data jsou určena pro ověření teoretických předpokladů o chování systémů využívající iontoměničové membrány. Z výsledků je možné optimalizovat konstrukční řešení či pro daný typ membrány a konstrukce volit optimální parametry paliva.

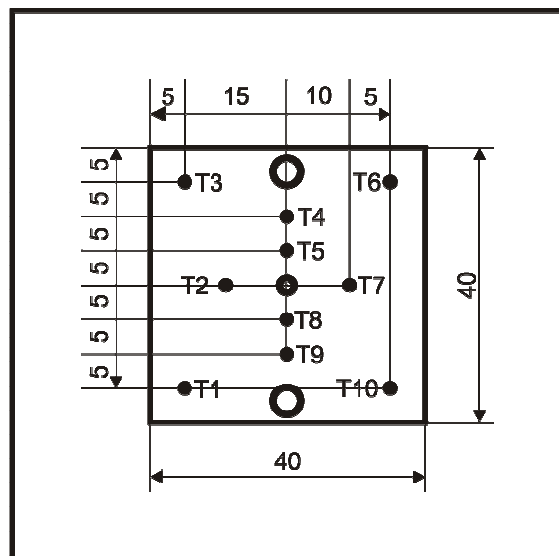


Obr. 3: Ilustrativní obrázek použitého PEM FC

Základním prvkem systému byl zvolen PEM palivový článek německé firmy H-Tec. Důvodem byla relativně nízká cena zařízení, kdy v případě poškození zařízení nenastává významnější ekonomická újma. Tím je dána možnost zatěžovat zařízení nad rámec maximálních parametrů a získat tak data běžnými způsoby nedosažitelná. Další výhodou je rozebíratelná konstrukce, umožňující snadnou implementaci teplotních senzorů [2] do vnitřní konstrukce systému.

Na Obr.3 je ilustrační fotografie použitého PEM palivového článku firmy H-Tec. Specifikace [1]

Na Obr. 4 je zobrazena matice měřicích bodů. Je zřejmé, že výstupní hodnoty z termistorových čidel nebudou přesně charakterizovat teplotní rozložení, tudíž je nezbytné přistupovat k naměřeným hodnotám spíše jako k počátečním experimentálním nástřelům v danou chvíli informativnímu charakteru. Pro získání dostatečně přesného termálního profilu by bylo podle našich odhadů vytvořit termistorovou síť pokrývající celý katex palivového článku v přibližné vzájemné vzdálenosti čítající 2 mm. Na plochu 4 x 4 cm by bylo nutné použít 400 termistorových čidel. Tento požadavek je v danou chvíli nerealizovatelný. Tuto drobnou nepřesnost měření lze částečně eliminovat spojením reálných hodnot a teoretického předpokladu šíření tepla v elementu katexu.



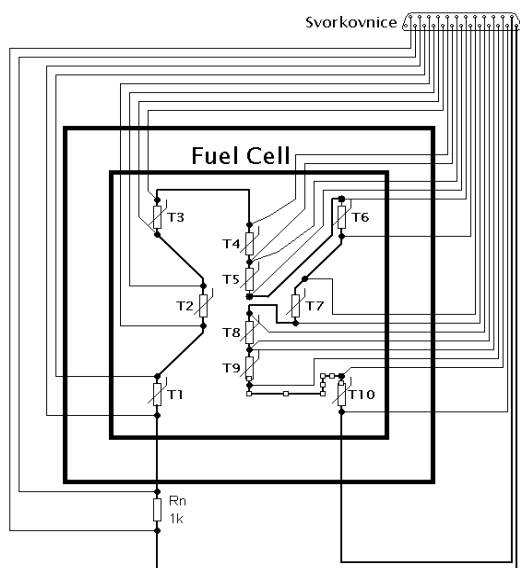
Obr. 4: Rozložení měřicích bodů

Fyzická konstrukce vnějšího fixačního prvku použitého palivového článku dovoluje dle Obr.3 nasadit polovodičové teplotní senzory do vnitřní části konstrukce. V první fázi projektu byly termistorové senzory umístěny přímo na povrchu GDL. Toto řešení se ukázalo jako nevhodné. Závažným problémem byly vystupující vodiče senzorů, způsobující nejen změny v teplotním rozložení, tj. šíření tepla po těle povrchu vodičů, ale mající i vliv

na rozložení koncentrace paliva, přicházejícího ke GDL. Proto bylo nutné u získaných dat počítat s drobnou aditivní odchylkou, způsobenou právě tímto vlivem. Navíc zjevně právě tyto vlivy neumožňovaly přesnou opakovatelnost měření, tím dostává experiment a celý systém poněkud negativní ohodnocení.

Určitý pozitivní faktor použitého řešení lze spatřit v modifikovatelnosti rozložení sensorového pole, a to ve svém důsledku umožňuje získat nová data. Toto řešení bylo použito k získání prvotních experimentálních dat, použitých v příspěvku. Připravovaný systém se dále modifikuje, na Obr.4. je zobrazeno nové sensorové rozložení.

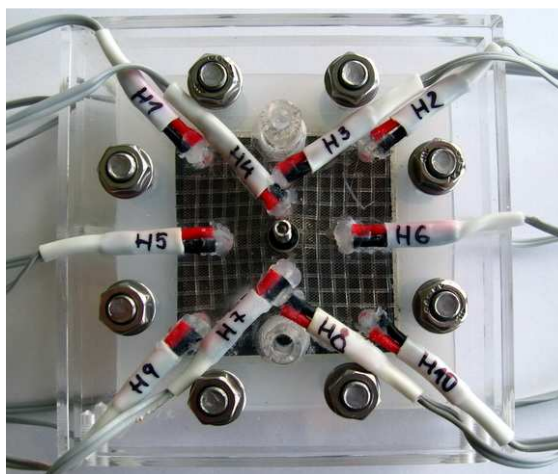
Konstrukce je zapuštěna do vnějšího ochranného obalu z polymethylmetakrylátu, senzory se dotýkají elektrodového sběrače elektronů. Toto řešení sice neumožňuje měnit rozložení sensorového pole, ale umožňuje přesnou opakovatelnost teplotního snímání právě z důvodu stabilního uložení. Jako významný vedlejší kladný efekt tohoto řešení byl shledán právě přenos exotermní energie skrz tento kovový elektronový sběrač, protože vytváří spojitý odrazový profil teplotního pole na membráně a GDL.



Obr. 5: Detail zapojení senzorů na FC

Na Obr. 5. je zobrazeno přesné schéma zapojení sensorického pole. Vývody senzorů jsou zapojeny do svorkovnice NI SCB-68 měřicí karty NI PCI-6229, která zajišťuje měření a převod jednotlivých signálů a také napájení jednotlivých termistorů. Zároveň je stejným způsobem realizován i odečet vstupní / výstupní napěťové charakteristiky. Je vhodné vyzvednout efektivitu navržené koncepce měření, mající za výsledek zjednodušení a zefektivnění celého systému. Jako vhodný zjednodušený příklad si lze představit náročnost odečítání těchto

charakteristik při použití klasickými multimetry. Je zapotřebí většího měřicího prostoru, náročnějšího postupu při odečítání hodnot (buďto metodou hardwaru či obslužného personálu) a tak i opakovatelnost je mnohem náročnější.



Obr. 6: Realizace zapojení senzorů na FC

Obrázek Obr. 6. Znázorňuje fyzickou realizaci druhé verze měřicího systému s termistorovými čidly. V příloze na konci článku jsou znázorněna navržené blokové schéma finální verze systému (Obr. 10.).

NAMĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY

Publikovaná naměřená data a z nich sestavené grafické charakteristiky jsou výsledkem první testovací verze celého měřicího systému. Tyto naměřené hodnoty a výstupní charakteristiky odpovídají teoretickému předpokladu o chování článku..

Zajímavý výsledek přináší charakteristika na Obr.7, zobrazující klesající hodnotu pro rozkladné napětí PEM elektrolyzáru. Potvrzuje předpoklad změny účinnosti elektrolytické reakce způsobené změnou , který vychází z prvního Faradayova zákona:

$$V = \frac{R \cdot I \cdot T \cdot t}{F \cdot p \cdot z} \quad (2)$$

kde:

V je teoretická produkce plynného vodíku [cm²];

$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$ je univerzální plynová konstanta;

p [Pa] je okolní tlak;

$F = 96485 \frac{C}{mol}$ je Faradayova konstanta;

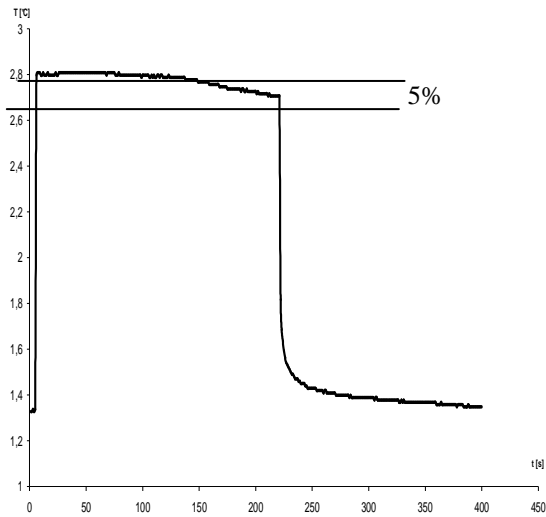
T [K] je okolní termodynamická teplota;

I [A] je elektrický proud;

t [s] je čas reakce;

z je počet uvolněných valenčních elektronů na reagující molekulu.

Při změně reakční teploty prostředí o 20°C lze numericky stanovit změnu efektivity. Srovnávacím kritériem je zde doba potřebná pro vytvoření 20 cm³ plynného vodíku. Pro $T_1=(30+273,15)^\circ\text{C}$ je $t_1=738$ s. Pro $T_2=(50+273,15)^\circ\text{C}$ je $t_2=640$ s. Proud je pro oba případy 2,5 A. Výsledná změna účinnosti po přepočtu: $\eta_1 = 84,07\%$ a $\eta_2 = 89,09\%$

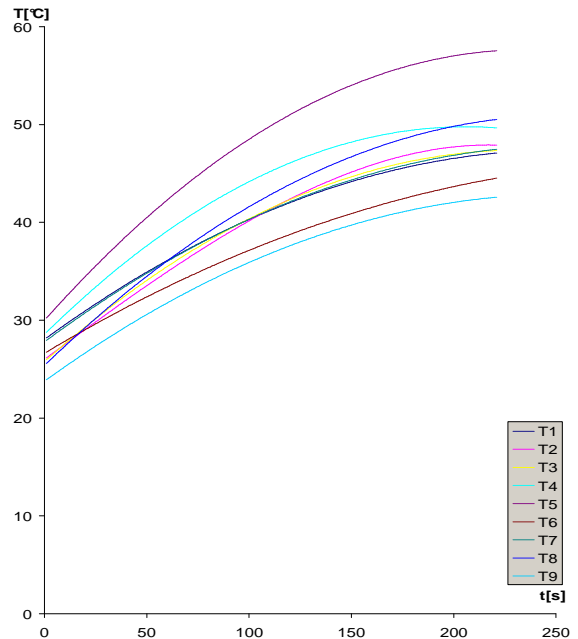


Obr. 7: Celkový průběh $t = f(U_e)$

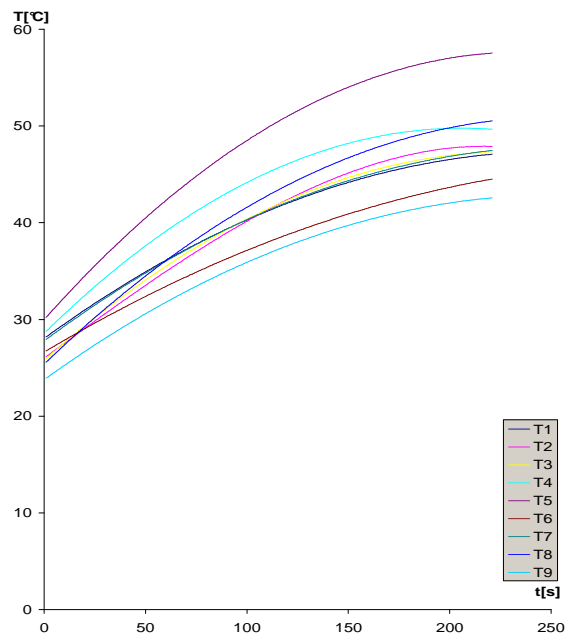
Následující charakteristiky (Obr. 8, 9) popisují průběh teploty v závislosti na době provozu ve stanovených měřených bodech. Lze na nich rozeznat předpokládaný teplotní trend i teplotní rozložení na membráně. Ve středu membrány je v souladu s očekáváním teplota výrazně vyšší. Je to způsobeno nerovnoměrným rozložením přívodu paliva a nevhodnou konstrukcí použitého palivového článku, kde se ve střední části membrány projevuje i vliv přírodních kontaktů pro svodový systém vodičů.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Představený projekt má ve své finální verzi za cíl vytvoření moderního univerzálního diagnostického pracoviště, schopného přesně a opakovatelně analyzovat všechny aspekty charakterizující vlastnosti a chování palivových článků. Díky stanoveným požadavkům bude možné porovnávat různé membránové technologie, modifikace GDL a katalytických směsí a úpravy celé struktury. Dále bude možné získat důležité informace o charakteru chování systému při změně vnějších a vnitřních podmínek jako je změna tlaku a teploty paliva, jeho koncentrace a také přesně stanovit spotřebu paliva při změně zátěže systému. Všechny tyto získané charakteristiky budou použity pro přesné porovnání stávajících a budoucích technologií výroby. Dále bude možné analyzovat časovou a zátěžovou degradaci jednotlivých komponent. Tyto informace jsou důležitým faktorem pro rozšíření technologie v komerční sféře.



Obr. 8: Časový průběh T (náběh)



Obr. 9: Časový průběh T (náběh)

Druhým účelem tohoto systému je získání dostatečného množství informací, které budou využity během sestavování nejdříve numerického. Finálním cílem je po důkladné analýze a odhalení všech souvislostí sestavení skeletu obecného matematického modelu rozšířeného o konstanty charakterizující jednotlivé subkomponenty, principy probíhajících reakcí a přeměn. Díky tomu bude v dohledné době možné stanovit celý technologický cyklus spjatý s životností konkrétně definovaného palivového článku.

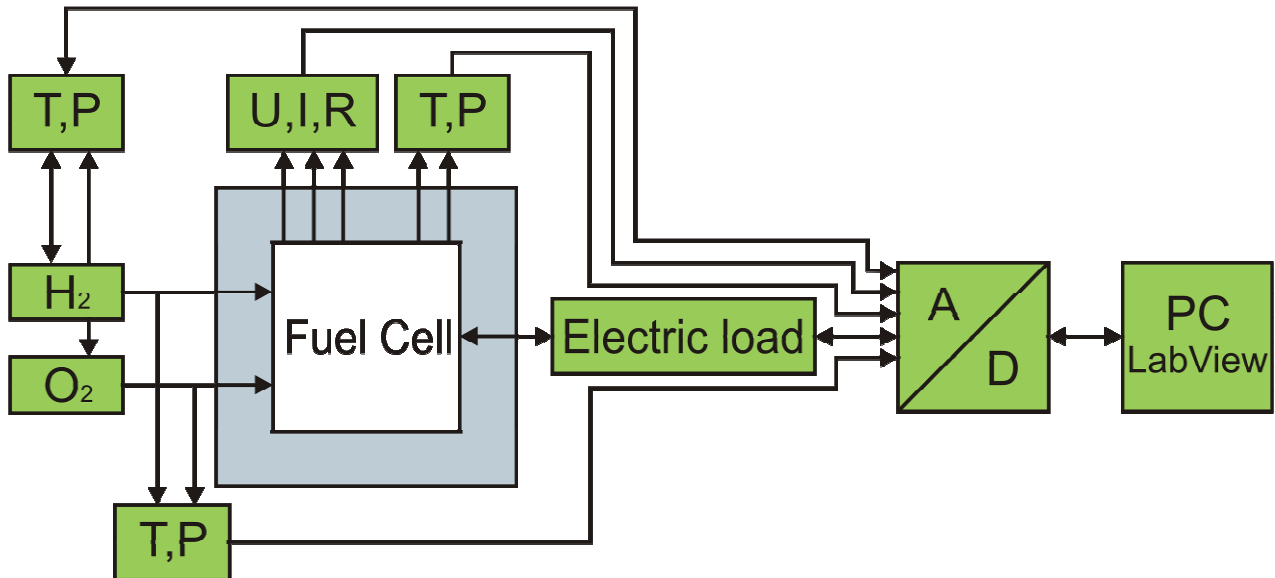
LITERATURA

[1] www.h-tec.com Výrobce použitého PEM palivového článku.

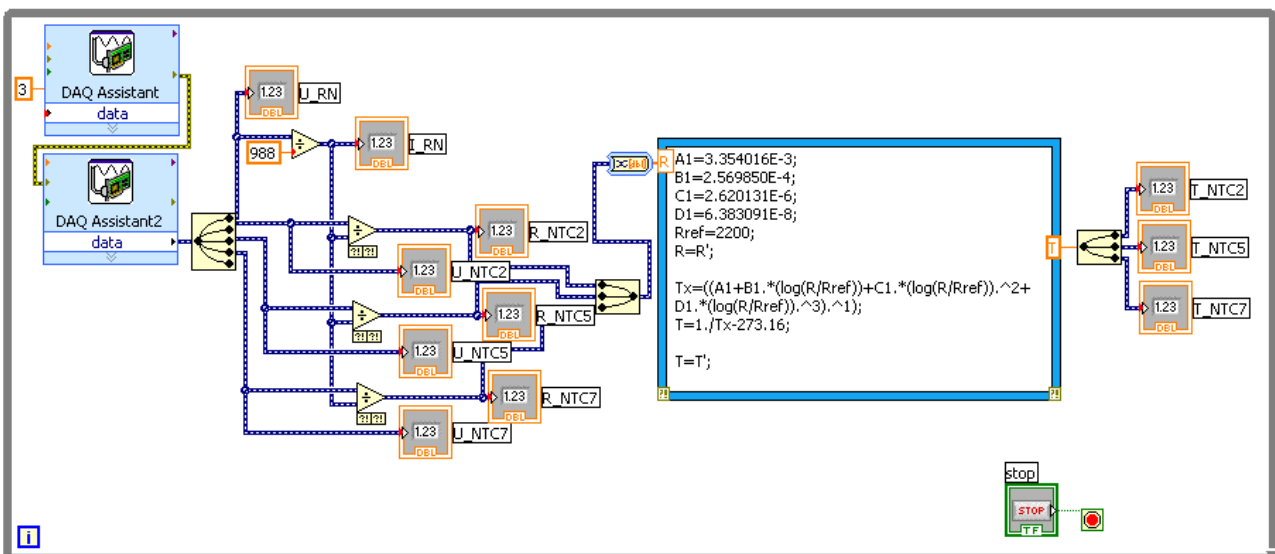
[2] www.vishay.com Výrobce použitého NTC.

[3] Owner's Manual LabView, National Instrument, USA 2006, dokumentace k programu včetně elektronické verze na stránkách výrobce

PŘÍLOHY



Obr. 10: Blokové schéma finální konstrukce



Obr. 11: Realizace algoritmu systému v rámci vývojového prostředí LabView