

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra technologií a měření**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vývoj systému pro automatické řízení experimentálního  
palivového článku StaXX**

**vedoucí práce: Ing. Pavel Štekl  
autor: Walter Schmidt**

**2012**



## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na vývoj systému pro automatické řízení palivového článku StaXX. V bakalářské práci jsou popsány základní principy článku PEMFC. Jsou zde popsány jeho vlastnosti a navržen způsob měření. V programu LabView je naprogramován nový obslužný systém.

## **Klíčová slova**

Palivový článek, LabView, STAXX, vodík, program

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the development of a system for the automatized control of the fuel cell Staxx. This work contains a description of the basic principles of the PEMFC cell. Furthermore, it contains a description of its features and a proposed measurement method. A new utility system has been programmed in LabView.

## **Key words**

Fuell cell, LabView, StaXX, hydrogen, program

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto 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 práce, je legální.

V Plzni dne 31.5.2012

Walter Schmidt

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Šteklovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ</b> .....	<b>9</b>
<b>1 POPIS SESTAVY</b> .....	<b>10</b>
1.1 PALIVOVÝ ČLÁNEK .....	10
1.2 ČLÁNEK STAXX .....	11
1.2.1 Praktické použití ve vozidle (Honda CFX Clarity) .....	13
1.3 VODÍK JAKO PALIVO .....	14
1.3.1 Účinnost .....	15
1.3.2 Elektrolýza vody .....	15
1.3.3 Vysokoteplotní elektrolýza (parní elektrolýza) .....	16
1.3.4 Termochemické štěpení vody .....	16
1.3.5 Biotechnologická produkce .....	17
1.4 SESTAVA S ČLÁNKY .....	18
<b>2 ANALÝZA STÁVAJÍCÍ VARIANTY PROGRAMU</b> .....	<b>19</b>
2.1 POPIS SESTAVY .....	19
2.2 ANALÝZA PROGRAMU .....	22
<b>3 NÁVRH A SESTAVENÍ NOVÉHO MĚŘICÍHO SYSTÉMU</b> .....	<b>24</b>
3.1 LABVIEW .....	24
3.1.1 Komunikace .....	25
3.1.2 Kompatibilita .....	26
3.2 ZAŘÍZENÍ DAQ .....	26
3.2.1 Multifunkční karta USB-6008 .....	27
3.2.2 USB karta Velleman K8055 .....	27
3.2.3 Další možnosti rozšíření .....	28
3.3 NOVÝ MĚŘICÍ PROGRAM .....	28
3.3.1 Sledování a kontrola na webu .....	30
3.3.2 Ukázka sběru dat .....	31
<b>4 MOŽNOSTI BUDOUCÍHO VÝVOJE</b> .....	<b>33</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>36</b>

## Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na analýzu a rozšíření stávajícího programu pro řízení experimentálního palivového článku StaXX.

Text je rozdělen do čtyř částí. První se zaměřuje na popis palivového článku, vodíku jako takového, vodíku jako paliva a základním popisem celé sestavy. Druhá část analyzuje stávající program pro měření článků a také sestavu s palivovými články. Ve třetí části je vývoj nového programu pro měření palivového článku. Jsou zde také vypsány vlastnosti a funkce LabView a zařízení DAQ. Na závěr je výčet několika možností pro budoucí možné využití a rozšíření měřícího programu a také přípojného místa.



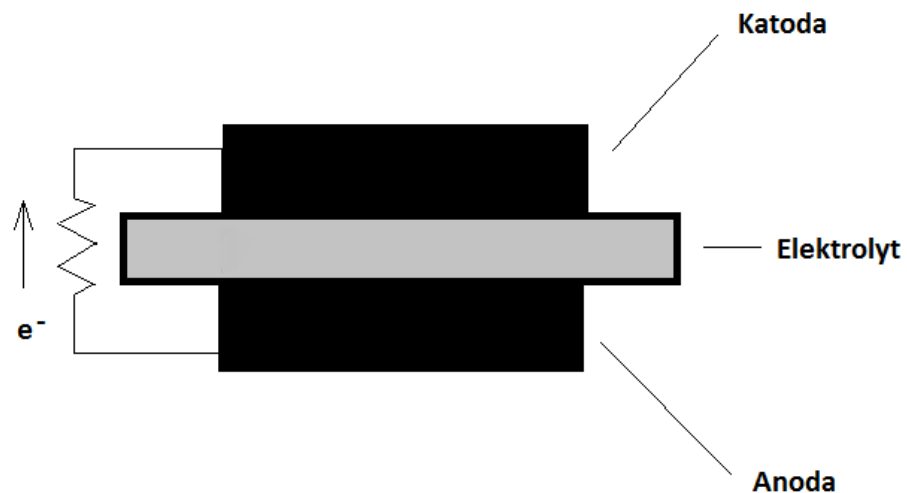
## Seznam symbolů

<i>Cell</i> _ 01, <i>Cell</i> _ 02, <i>Cell</i> _ 03, <i>Cell</i> _ 04, <i>Cell</i> _ 05	[ - ].....	Palivové články soustavy
$e^-$ [ - ].....		elektron
M.O.vzt .....		Měrný Objem vztažený k benzínu
H.E.vzt .....		Hustota Energie vztažená k benzínu
PEMFC .....		Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell
AFC .....		Alkaline Fuel Cell
PAFC .....		Phosphoric Acid Fuel Cell
MCFC .....		Molten Carbonate Fuel Cell
SOFC .....		Solid Oxide Fuel Cell

# 1 Popis sestavy

## 1.1 Palivový článek

Pod pojmem palivový článek si můžeme představit vrstvenou membránovou strukturu, která připomíná strukturu sandwiche.



Obr. 1 Struktura palivového článku

Obsahuje dvě elektrody, (anoda a katoda) oddělené elektrolytem. Elektrolyt může být kapalný, nebo tuhý ve formě membrány. Článek pracuje na elektrochemické reakci mezi palivem a okysličovadlem. Okysličovadlo a palivo mohou být různé. Nejčastější je kombinace vodíku jako paliva a kyslíku jako okysličovadla. Palivo je přiváděno k anodě a okysličovadlo ke katodě. Na katodě se oxidační činidlo redukuje na anionty  $O^{2-}$ , které pak reagují s ionty  $H^+$  a vytváří vodu. Voda je tedy jedinou emisí těchto palivových článků. To je největší výhoda oproti pohonům na fosilní paliva. Palivové články také dosahují oproti tepelným strojům s generátorem elektrické energie vyšší účinnosti. V laboratorních podmínkách je účinnost palivových článků okolo 60%, avšak reálná účinnost dosahuje pouze 35 - 50 %. Záleží také na zatížení článku a konkrétním typu palivového článku. Vysoká účinnost je dána tím, že dochází k přeměně chemické energie přímo a ne přes nějaký mezistupeň jako u spalovacích motorů nebo tepelných generátorů. Tam je přeměna mezi tepelnou a mechanickou energií a teprve poté z mechanické na elektrickou energii. [1] [2]

Palivových článků je několik typů podle typu elektrolytu:

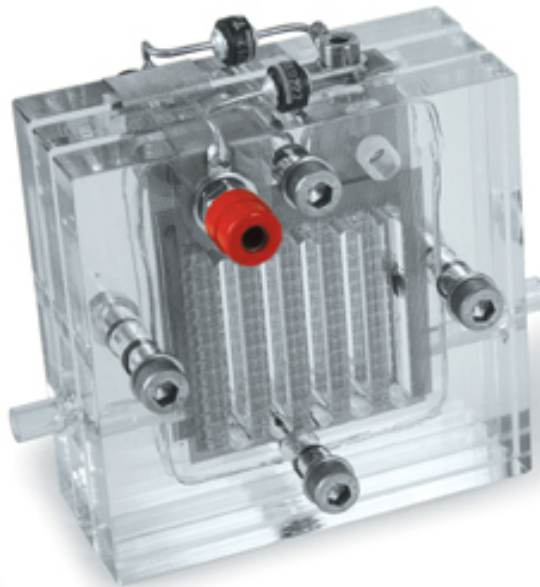
- Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)
- Alkaline Fuel Cell (AFC) – alkalický elektrolyt
- Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC) – s kyselinou fosforečnou
- Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC) – s tavenými uhličitany
- Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) – s tuhými oxidy [2]

Také se články dělí dle teploty:

- Nízkoteplotní 60 – 130°C
- Středněteplotní 160 – 220°C
- Vysokoteplotní 600 – 1050°C [9]

## 1.2 Článek StaXX

Palivový článek StaXX je vodíkový článek typu PEMFC (Proton Exchange membráně fuel cell), který patří mezi membránové druhy palivových článků, jak plyne z anglického názvu. Tento článek je od německé firmy H-TEC.



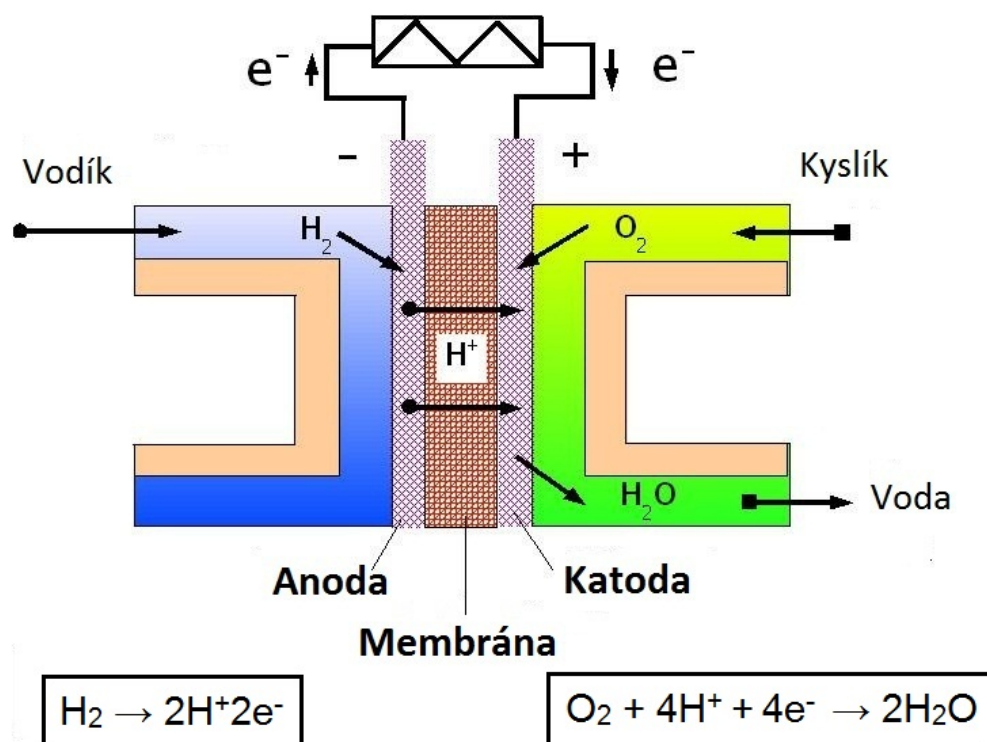
Obr. 2 Palivový článek StaXX [11]

Membrána je tenká, plní funkci elektrolytu a propouští kladně nabitě ionty (protony). Elektrody jsou v těsném kontaktu se slabou vrstvou uhlíku s malým množstvím platiny, která slouží jako katalyzátor. Princip činnosti je založen na oxidaci paliva, kterým je vodík. U

anody a katody dochází ke dvěma odděleným elektrochemickým dějům. Vodík je přiváděn na anodu, kde dochází k rozštěpení atomu vodíku na proton a elektron. Protony projdou přes membránu, ale elektrony neprojdou a procházejí externím okruhem. Tyto volné elektrony slouží k užitečné práci. Na katodě dochází ke sloučení vodíkových protonů, elektronů a přiváděného kyslíku. Tím vzniká voda. Kyslík je nejčastěji přiváděn jako součást vzduchu, ale může se přivádět čistý. [1][2]

U tohoto typu článku je podmínkou vysoká hydratace membrány. Musí být tedy dostatečně satureovaná vodou pro zajištění správné funkčnosti. Také pracovní teplota je limitována použitým polymerem na membráně. Pracovní teplota článku se udává do 120°C podle použitého polymeru. U tohoto typu článku je hlavním problémem tzv. vodní režim. Jde o to, aby se voda neodpařovala rychleji, než je produkována. [1][2]

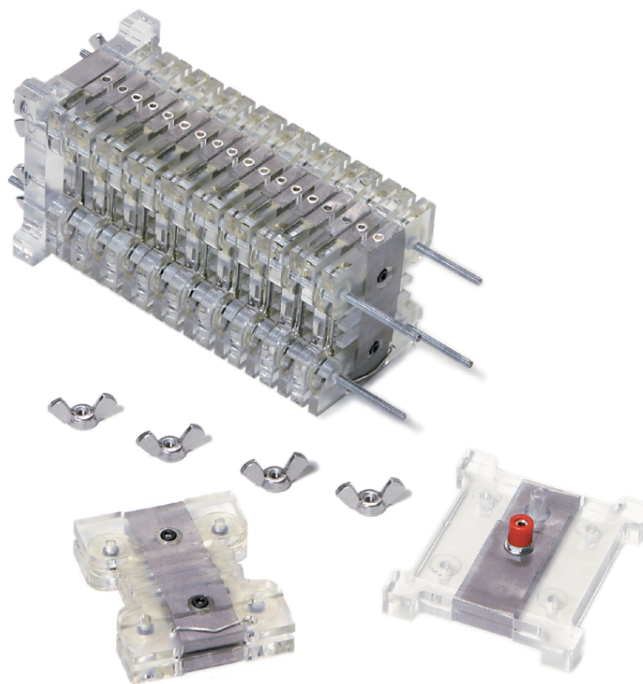
Tento typ článku je vysoce náchylný na čistotu použitého vodíku. Tak čistý vodík, který se hodí pro použití v těchto článcích, se získává elektrolýzou vody. Pro katalyzátor, kterým je platina, je nežádoucí síra, její sloučeniny a olovo. Koncentrace těchto nečistot v palivu nesmí být vyšší než 5ppm. [2]



Obr. 3 Zjednodušený model článku typu PEMFC [1]

U tohoto palivového článku jsou elektrody stálé, nespotebovávají se jako u obvyklých zinkových nebo alkalických monočlánků. Spotřebovává se pouze palivo a okysličovadlo. Na

elektrody jsou kladeny určité nároky. Musí mít dobrou vodivost, dobré mechanické vlastnosti, chemickou stabilitu a musí mít dobré katalytické vlastnosti. Pokud je přítomno palivo (vodík) a okysličovadlo (vzduch nebo kyslík), pak je zajištěna nepřetržitá výroba elektrického stejnosměrného proudu. Článek je velmi flexibilní a je možné ho použít i jako mobilní



Obr. 4 Skládání článků [13]

zařízení. Články se pro použití v určitých aplikacích spojují a vytvářejí palivové celky. Spojování se provádí skládáním jednotlivých článků za sebe. [1][2]

V dnešní době se palivový článek typu PEMFC používá u pohonu automobilů. Například automobilka Honda použila tento článek ve svém voze Honda CFX Clarity. [1][2]

### 1.2.1 Praktické použití ve vozidle (Honda CFX Clarity)

Hlavními důvody pro vývoj a výrobu tohoto typu automobilu je naprosto ekologický pohon a hlavně vysoká účinnost. FCX Clarity má účinnost přeměny energie 60%, přičemž neefektivnější diesel nedosahuje účinnosti ani 30%. Na ujetí 460 km stačí tomuto automobilu pouhé 4 kg vodíku. Ten je v nádrži stlačen tlakem 35MPa. Zmíním zde pár základních parametrů vozidla. Krouticí moment je 252 Nm od nulových otáček. Maximální rychlost je pouze 160 km/h. [7]

Server [www.hybrid.cz](http://www.hybrid.cz) daný model testoval v okolí Neratovic. Jediná čerpací stanice na území ČR na doplnění vodíku je v Neratovicích. Vodík se do automobilu čerpá stejně jako

např. CNG ale obsluhovat zařízení může pouze kvalifikovaná osoba. Jeden kilogram vodíku jim vyšel na 120 Kč a průměrnou spotřebu měli 1,1 kg na sto kilometrů. Automobil na vodíkový pohon tedy podle testu vychází lépe ekonomicky než klasická paliva (nafta, benzín). Je to ale také dáno tím, že cena vodíku pro dopravu není stanovena a to díky absenci trhu. [7]

### 1.3 Vodík jako palivo

Vodík je nejjednodušší chemický prvek, který je nejhojnějším prvkem ve vesmíru. Nachází se například v plynném obalu hvězd. Jeho latinský název je Hydrogenium a označuje se písmenem H. Na zemi se vodík vyskytuje téměř výhradně ve formě sloučenin jako např. voda, uhlovodíky, atd. V elementární podobě je na zemi pouze výjimečně a to například v sopečných plynech. Ve vodíkovém jádře je většinou pouze jeden proton. Existují další dva izotopy vodíku: [2]

- **Deuterium** má v jádře proton a neutron
- **Tritium** obsahuje navíc dva neutrony.

Vodík je velmi reaktivní a vytváří molekuly o dvou atomech. Díky vysoké energii vazeb je i vysoce stabilní. Má nejnižší hustotu a jako druhý má nejnižší bod varu  $-253^{\circ}\text{C}$ . Také má největší výhřevnost ve srovnání s používanými palivy. Avšak důležitým parametrem je hustota paliva. Ke zvyšování tohoto parametru se vodík stlačuje kompresory. Hustotu energie, kterou má vodík nižší, kompenzuje vyšší účinností systému palivových článků. [2]

Tab. 1 Porovnání parametrů paliv [2]

Palivo (20 °C) druh/skupenství	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Měrný Objem [l/kg]	M. O. vzt. k benzínu	Výhřevnost [MJ/kg]	Hustota Energie [MJ/l]	H. E. vzt. k benzínu
Vodík 1 bar	0.084	11939	8354.7	119	0.01	0.0003
Vodík 250 bar	17	58.8	41.15	119	2.024	0.065
Vodík 350 bar	22.2	45.2	31.6	119	2.64	0.085
Vodík 700 bar	39	25.9	18.14	119	4.6	0.15
Vodík kapalný (-253 °C)	71.08	14.1	9.85	119	8.46	0.27
Propan kapalný	498	2	1.4	46.3	23.8	0.74
Benzín kapalný	700	1.43	1	44.5	31.15	1

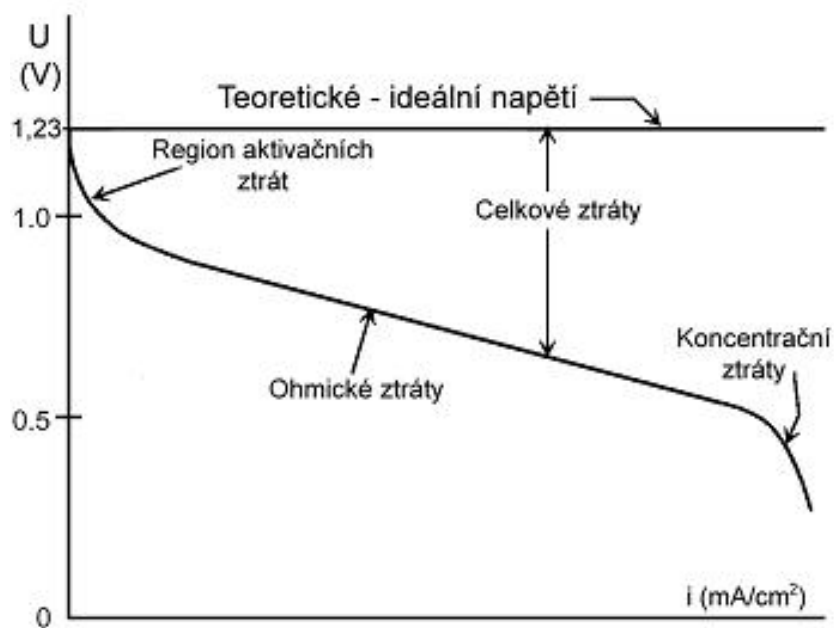
M. O.vzt. – Měrný Objem vztažený k benzínu

H. E.vzt. – Hustota Energie vztažená k benzínu

V současné době je reálné použití stlačeného vodíku maximálně 700bar pro mobilní aplikace. [2]

### 1.3.1 Účinnost

Další stránkou využití vodíku pro mobilní aplikace je jeho účinnost. Ta je závislá na proudovém zatížení elektrod. Účinnost klesá s rostoucím proudovým zatížením přibližně po křivce zobrazené na obrázku. [8]



Obr. 5 Křivka účinnosti palivového článku na proudovém zatížení [8]

Při velmi nízkých zatíženích má palivový článek velmi vysokou účinnost. Při rostoucím zatížení se začnou projevovat ohmické ztráty. Zde jsou zahrnuty ohmické ztráty membrány, propojení soustavy atd. Při vysokém zatížení se účinnost dále snižuje a závisí na technickém řešení (např. spotřeba vzduchového kompresoru). [8]

Pokud ale chceme vědět o reálné účinnosti vodíkových palivových článků, pak do toho musíme započítat ztráty potřebné na získání vodíku. Ten se dá získat několika způsoby. [8]

### 1.3.2 Elektrolýza vody

Elektrolýza je proces, při kterém stejnosměrný proud rozštěpí vazbu mezi vodíkem a kyslíkem při průchodu vodou. Ve vodě jsou umístěny dvě elektrody anoda a katoda. Na katodě potom dochází k reakci  $H^+$  (protonu) za vzniku plynu, který je jímán v uzavřené nádobě. Na anodě dochází ke vzniku kyslíku. Vzniklý vodík dosahuje vysoké čistoty a nemusí se již dočišťovat pro použití v různých aplikacích. Tímto způsobem se vyrobí 4% z celosvětové produkce vodíku. Účinnost procesu je 80 – 92%. Pokud ale do tohoto procesu

započítáme účinnost výroby elektrické energie, pak se celková účinnost pohybuje v rozmezí 25 – 35%. Výhodou tohoto procesu je současná produkce kyslíku pro další využití. [9]

### 1.3.3 Vysokoteplotní elektrolýza (parní elektrolýza)

U tohoto procesu se zvýší účinnost procesu dodáním energie ve formě tepla. Proces se děje ve vysokoteplotním elektrolyzátoru, kam vstupuje vodní pára a vodík. Výstupem je směs s obsahem 75% hmotnosti vodíku a 25 % hmotnosti páry. Vodík se z vodní páry oddělí v kondenzační jednotce. Touto metodou lze dosáhnout celkové účinnosti až 45%. [9]

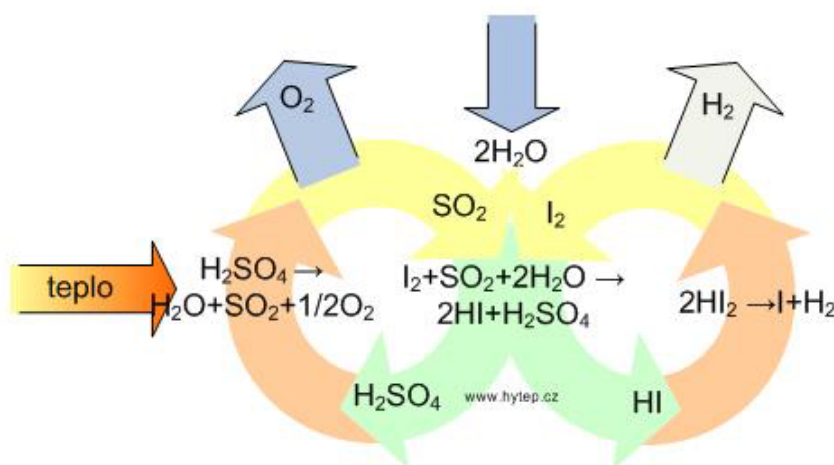
### 1.3.4 Termochemické štěpení vody

Termochemické cykly využívají sérii chemických reakcí, při kterých dojde k rozštěpení vody na kyslík a vodík. Tyto reakce mohou využívat vysokopotenciálního tepla nebo tepla a elektřiny. Tyto cykly jsou již dobře známé. V osmdesátých letech dvacátého století (v době ropné krize) byly intenzivně studovány. [9]

#### 1.3.4.1 S-I cyklus

Siřičito-jodový termochemický cyklus. Tento cyklus je uzavřený. Chemické látky použité v průběhu reakcí jsou recyklovány a znovu vstupují do procesu. Vstupní surovinou je voda a vysokopotenciální teplo. Výstupem je vodík, kyslík a nízkopotenciální teplo. To je zjednodušený výpis. Celý cyklus je však složitější. [9]

Vstupující voda reaguje s jodem a oxidem siřičitým za vzniku kyseliny sírové a jodovodíkové. Nejvyšší teplotu a to 800 – 1000°C vyžaduje endotermický rozklad kyseliny sírové. Rozklad kyseliny jodovodíkové a produkce vodíku se dějí za teploty 450°C. [9]



Obr. 6 Proces S-I cyklu [9]



Účinnost tohoto celého cyklu výroby je od 40 do 52%. S narůstající teplotou roste i jeho účinnost. Například při 950°C je účinnost 50%. Ve srovnání s elektrolýzou je účinnost vyšší, protože se vyrobené teplo nemusí přeměňovat se ztrátami na elektřinu. [10]

U tohoto typu cyklu je nevýhodou vysoká vstupní teplota a agresivita kyselin. Díky přítomnosti kyselin je kladen velký nárok na chemickou odolnost použitých materiálů. Další neznámou je kontrola reakcí v průmyslovém měřítku. [10]

Tento způsob výroby vodíku má slibnou budoucnost. V aplikacích kde je vyzářeno spousta tepelné energie by se jí dalo využít k výrobě vodíku. Například vybrané reaktory, kterým se říká reaktory Generace IV. [10]

V průmyslové výrobě vodíku se bude brát ohled spíše na investiční a provozní náklady na výrobu než na účinnost procesu. Jednou z možných vyhlídek je, že se bude využívat energie z obnovitelných zdrojů na výrobu vodíku například elektrolýzou vody. Také je možné, že se výroba vodíku stane metodou regulace spotřeby elektrické energie. [10]

### 1.3.5 Biotechnologická produkce

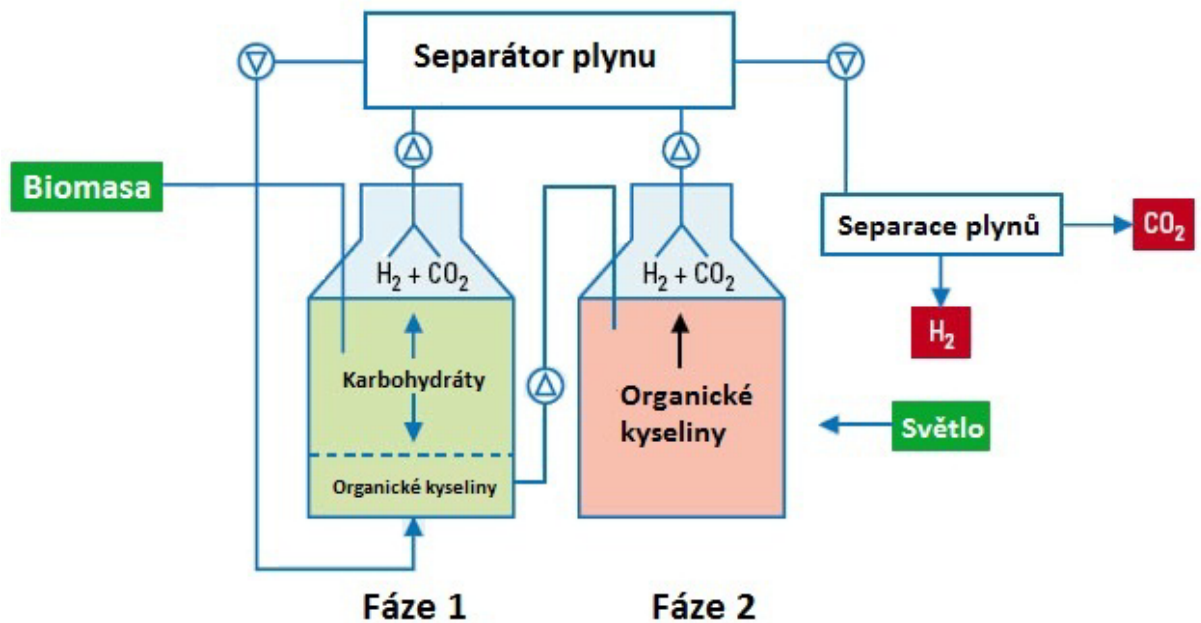
Biologická produkce vodíku je další zajímavou cestou k získání vodíku. Ovšem tato cesta není tak významná co se týče kapacity výroby. K tomuto procesu se využívá tzv. vlhká biomasa. To je biomasa s vysokým obsahem vody. Využívají se biotechnologické procesy, kde jsou reakce katalyzovány mikroorganismy. K tomu je třeba vhodné prostředí za nízkých teplot a tlaků. Za takovýchto podmínek rozlišujeme dva procesy: [10]

- **Vodíková fermentace**
- **Fotobiologická produkce**

Principiální rozdíl v uvedených reakčních cestách spočívá v přítomnosti světla.

Vodíková fermentace je přirozený děj bez přítomnosti světla. K němu dochází za anoxických nebo anaerobních podmínek. Bakterie za nepřítomnosti kyslíku využívají redukci protonů na vodík k uložení elektronů z oxidace organických látek. Jsou potřeba dva kroky k plnému využití chemické energie substrátu. Nejdříve je produkován vodík z organického substrátu pomocí vodíkové fermentace. Poté je z efluenu, který obsahuje acetát, získáván buď bioplyn nebo pomocí fotofermentace vodík. Na konci procesu zbudou nerozložitelné zbytky biomasy. Ty se dají spalovat a tím dojde k další získané energii. [10]

Fotofermentace je proces, kde jsou organické látky přeměňovány pomocí bakterií na vodík a oxid uhličitý při přítomnosti světla. Tento proces může být snadno kombinovatelný s vodíkovou fermentací. Probíhá za anaerobních podmínek. Jednou skupinou mikroorganismů schopných fotofermentace jsou purpurové bakterie. [10]



Obr. 7 Schéma bioprodukce vodíku pomocí dvoustupňové fermentace [10]

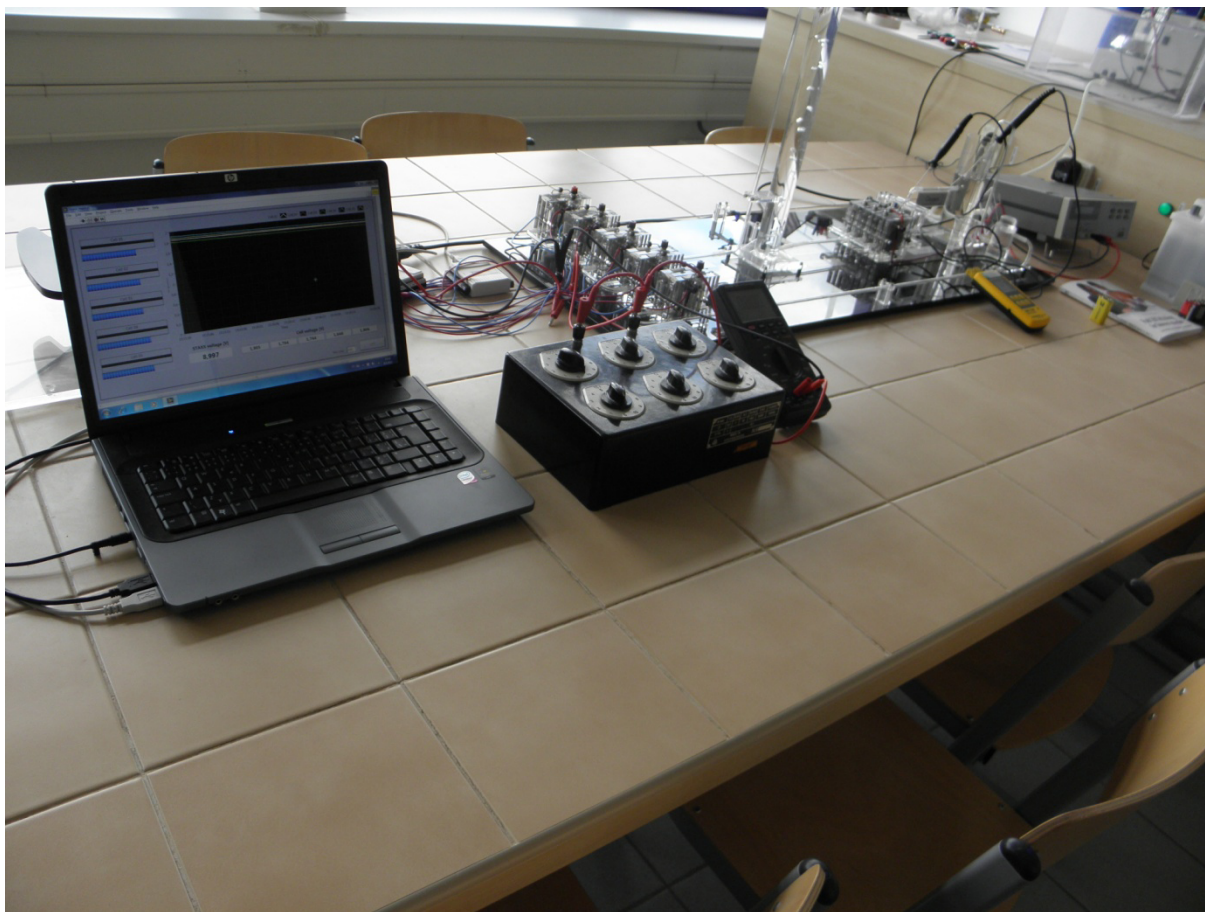
Výhodou výroby vodíku pomocí mikroorganismů je využití vstupních surovin, které jsou jinak obtížně zpracovatelné. Jako příklad může sloužit kal z čističky odpadních vod. Také nekonkuruje z hlediska záboru orné půdy výrobě potravin. [10]

## 1.4 Sestava s články

Palivové články v laboratoři jsou umístěny na podložce společně se všemi komponenty potřebnými pro funkci palivového článku. Těmi jsou:

- Elektrolyzér 230 na výrobu vodíku pomocí elektrolýzy vody
- Soustava trubek jak na vodu, tak na plyny
- Zdroj proudu pro elektrolýzu vody
- Soustava pěti palivových článků
- Odporová dekáda
- Multimetr na měření odběrového proudu
- Dvě měřicí karty USB – 6008

- Notebook vybavený softwarem LabView
- Měřič teploty



Obr. 8 Měřící místo v laboratoři

## 2 Analýza stávající varianty programu

### 2.1 Popis sestavy

Celá sestava se skládá z článku pro výrobu vodíku z vody pomocí elektrické energie a z článku pro výrobu elektrické energie zpět z vodíku.

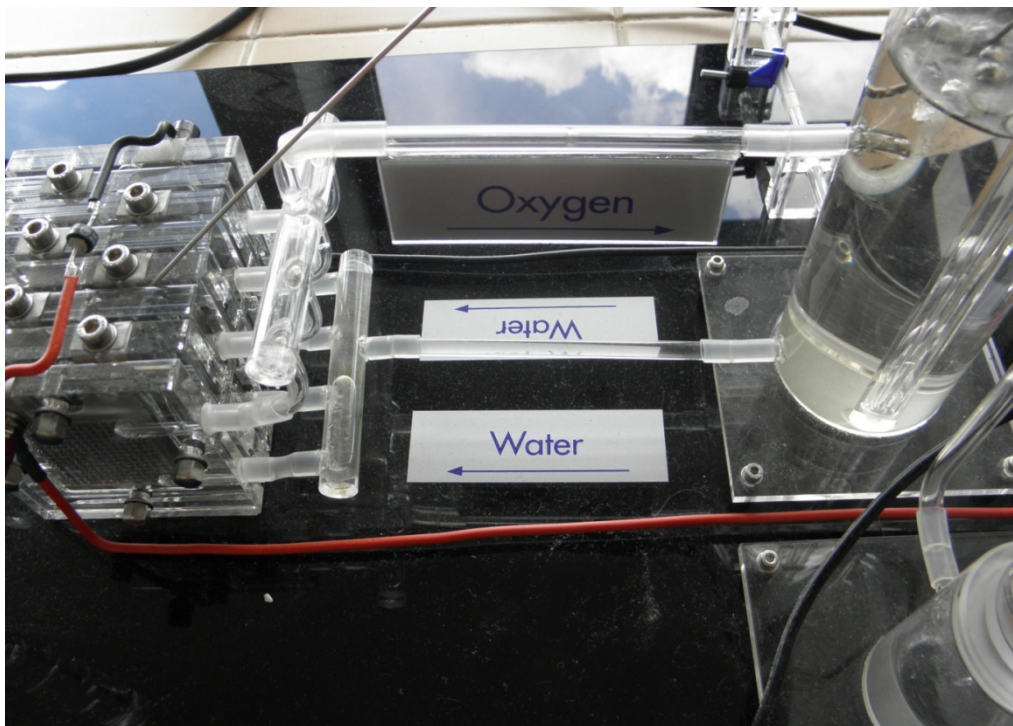
Pro výrobu vodíku je použit Elektrolyser 230 od firmy H-tec. Pracuje na principu elektrolýzy vody. Na jedné straně je vyveden konektor kladné elektrody (červený) a na druhé konektor záporné elektrody (černý), ten je na opačné straně. Na obrázku *Obr. 9* vidíme konektor kladné elektrody. Vlevo na obrázku je vidět vývod vyrobeného vodíku z článků, který je sveden do jedné trubky. Vpravo je nádržka na vodu. Ta zajišťuje zavodnění článků a

odvod vyrobeného kyslíku. Ten je odjímán horní soustavou trubek zpět do nádrže, kde může volně unikát.



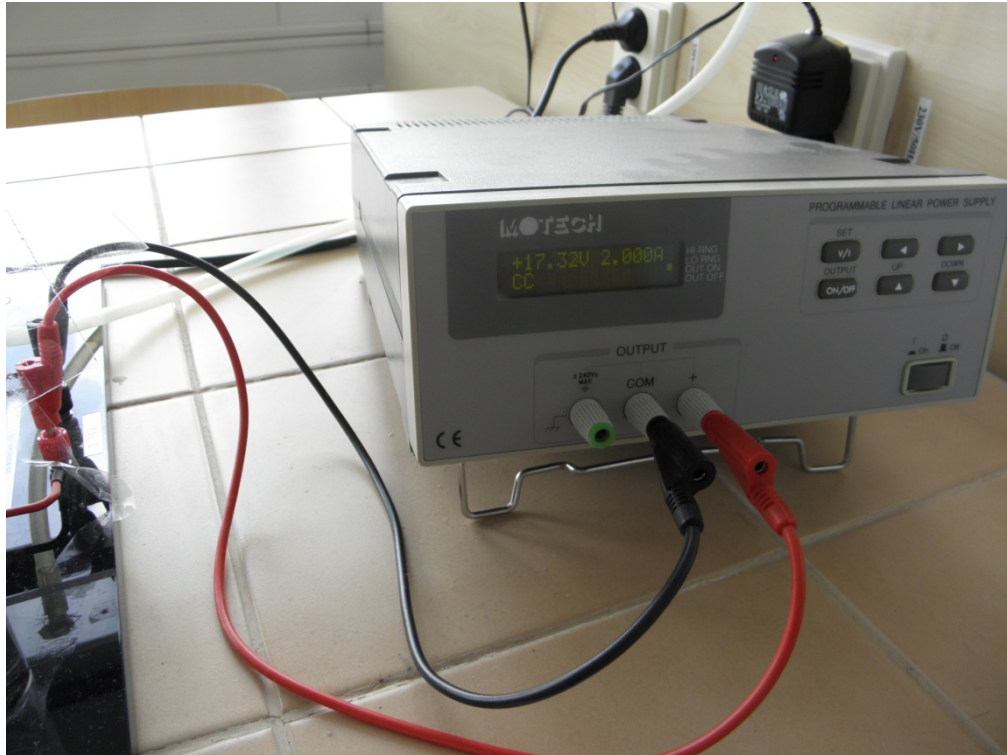
Obr. 9 Elektrolyser 230 [12]

Na obrázku *Obr. 10* je vidět praktické zapojení ve školní laboratoři s popisem. Článek je



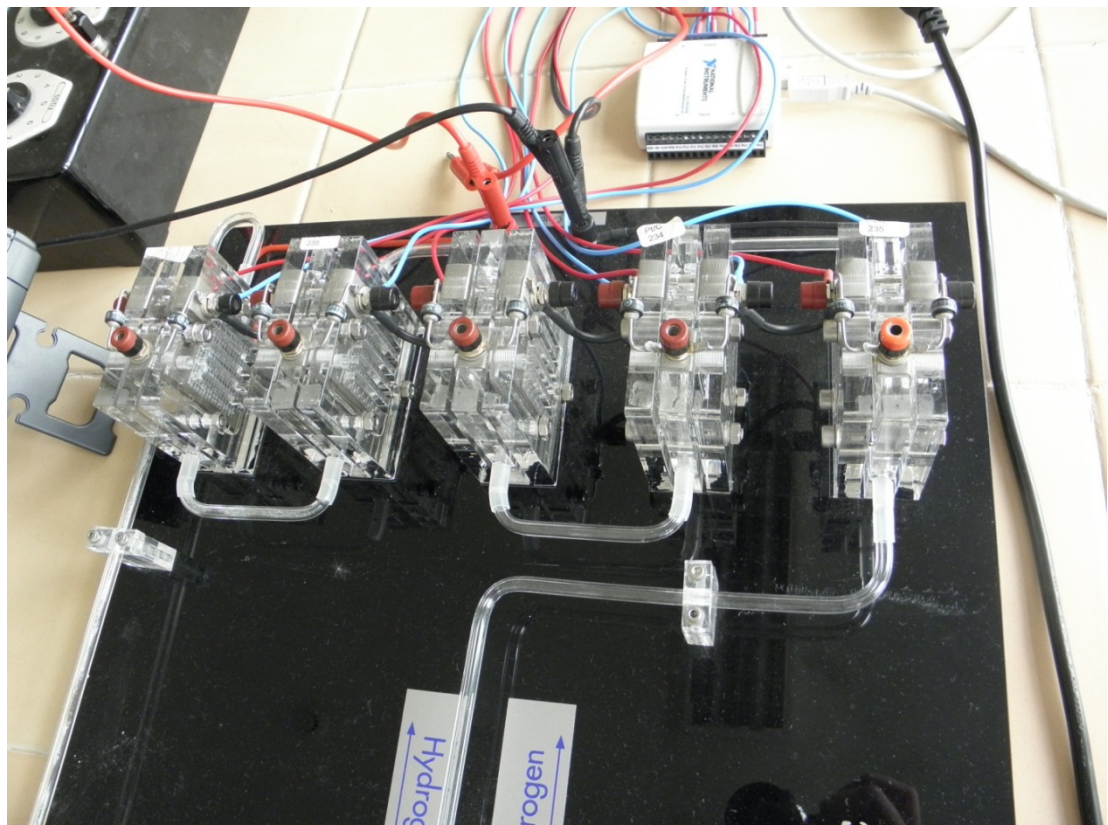
Obr. 10 Elektrolyser 230 zapojení v laboratoři

používán jako školní pomůcka pro demonstraci palivového článku. Ke konektorům soustavy je připojen zdroj proudu potřebný pro výrobu vodíku elektrolýzou vody.



Obr. 11 Zdroj proudu pro výrobu vodíku

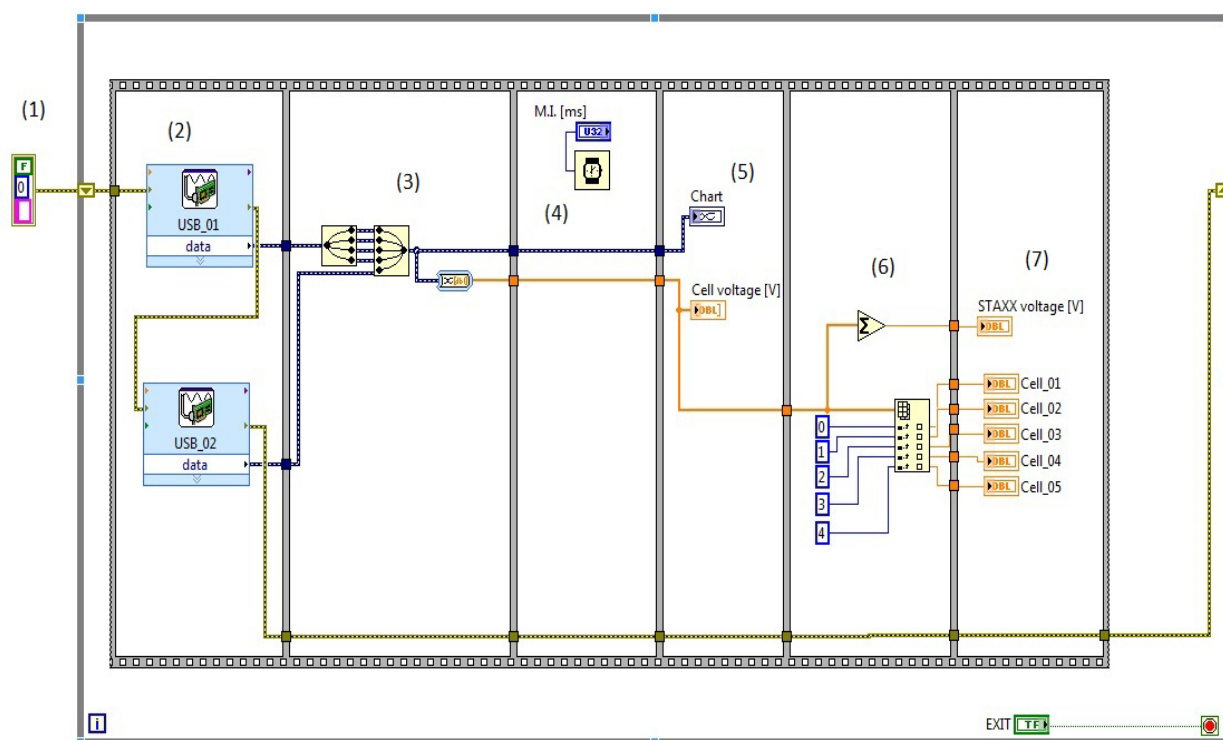
Vyrobený vodík ze soustavy elektrolyserů je odváděn do vysokého odměrného válce. Odtud je shora sváděn do soustavy palivových článků. Soustava se skládá z pěti samostatných



Obr. 12 Soustava palivových článků

článků, které jsou vzájemně propojeny. Propojeny jsou sériově za sebou. Zde je vhodné podotknout, že vstupní tlak vodíku je vyšší než jednotlivé spotřeby všech článků, nezáleží tedy na pořadí zapojení. Při konstruování palivových článků do koncových zařízení jsou podle potřeby řazeny vrstveně na sebe. Zde je pět článků určených pro praktické experimentování.

## 2.2 Analýza programu



Obr. 13 Blokové schéma stávající varianty programu

### 1. Vstup

Celý program je ve smyčce *while*, která umožňuje nepřetržitý běh programu ukončený stiskem tlačítka *stop*. Tlačítko stop můžeme použít pro přerušení programu. Program je postaven tak, že jednotlivé kroky jsou poskládány po sobě v tzv. *flat sequence structure*. To znamená, že až se vykoná vše v jedné sekvenci, tak teprve poté se přejde do další atd.

### 2. Načtení z karet

Jsou použity dvě karty USB – 6008, protože na jedné nestačily datové vstupy. Jsou nastaveny na měření napětí na jednotlivých člancích.

### 3. Sloučení

Datové vstupy z obou karet jsou sloučeny do jednoho datového toku, který je veden dvěma cestami.

- Jedna (vrchní) je vedena přes zpoždění do grafického zobrazovače, kde jsou zobrazeny jednotlivé úrovně signálů přiváděných do datových vstupů.
- Druhý vývod datového toku je převeden na numerický datový tok. To je kvůli tomu, aby se daly provádět s daty matematické operace, jako je například použitá suma v bodě (6).

### 4. Zpoždění

Zde dochází ke zpoždění nebo jakémusi navzorkování vstupních dat na časové úseky. Tento časový úsek si můžeme zvolit na panelu. Pro měření se používá zpoždění 100ms, které je z hlediska experimentálních možností systému ideální.

### 5. Vykreslování grafu a ukazatele napětí

Zde vidíme zobrazovač, který vykresluje data v souřadném systému, ve kterém se zobrazují jednotlivé vnější vstupy z jednotlivých palivových článků.

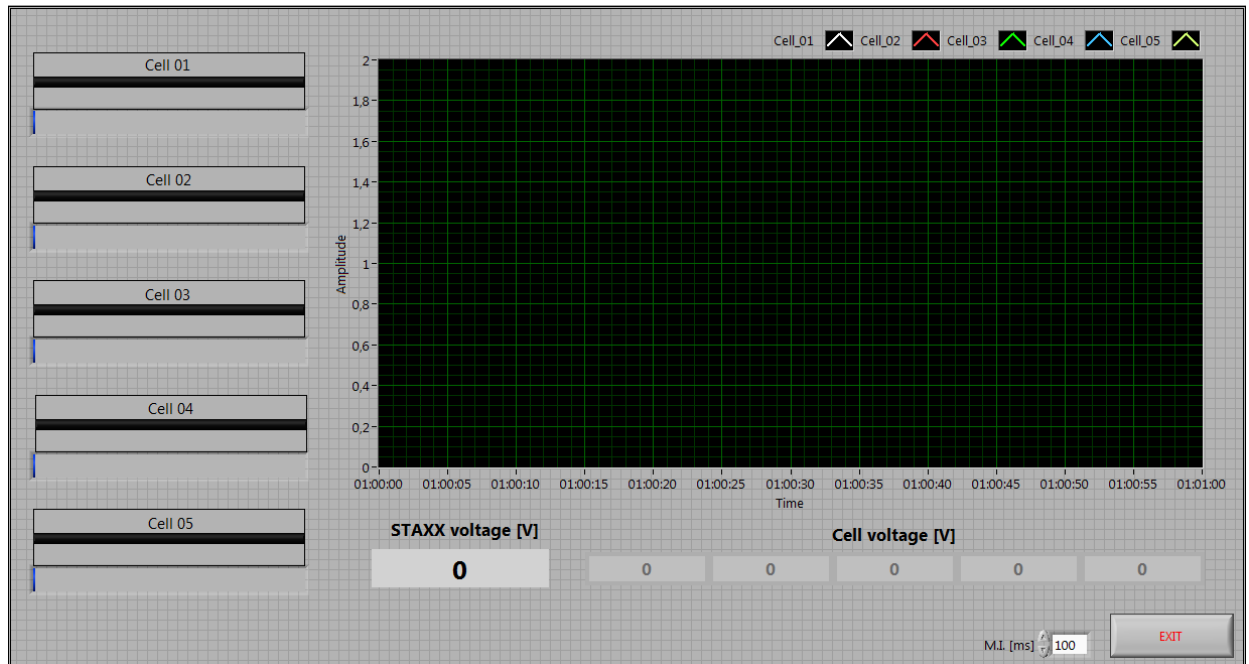
Dále je zde číselné zobrazení napětí ze všech článků jednotlivě.

### 6. Součet kanálů a rozdělení do jednotlivých polí

V tomto kroku dochází jednak k sumaci dat, což je možné díky numerickému datovému toku, a také k rozdělení dat do jednotlivých kanálů. Funkce *Index Array* vybírá prvek pole podle indexu. Každý měřicí kanál má svůj index.

### 7. Zobrazení

Na konci jsou pak už jen zobrazovače napětí. Jeden zobrazuje číselně celkové napětí palivového článku s názvem STAXX voltage. Další zobrazují graficky velikost napětí jednotlivých článků.



Obr. 14 Kontrolní panel před úpravou

- Vlevo jsou zobrazovače jednotlivých článků.
- Hlavní dominantou je grafický zobrazovač. Ten zobrazuje časovou závislost velikosti napětí na člancích.
- Pod grafickým zobrazovačem jsou umístěny číselné ukazatele napětí.
- V pravém dolním rohu je možnost zvolit si časové zpoždění a tlačítko EXIT na stopnutí běhu programu.

## 3 Návrh a sestavení nového měřicího systému

### 3.1 LabView

Za otce LabView je považován Jeffrey Kodosky. Ten započal vývoj grafického vývojového prostředí, které se postupem času dovedlo k dokonalosti u systému LabView. Původním záměrem bylo vytvořit prostředí, které umožní technikovi přenést své poznatky z blokového diagramu do programu. Tím vzniklo vývojové prostředí, které místo textového programování umožňuje tvořit program graficky. Tím se programování zjednodušuje a hlavně



zrychluje. Původně bylo navrženo pro počítače Apple Macintosh, který první nabídl grafické prostředí. [3]

LabView je grafické vývojové prostředí od společnosti National Instruments. Tento program má za sebou dlouhý vývoj. Jedná se o grafickou nadstavbu programovacího jazyka G (graphic) od stejné firmy. Je to celosvětově uznávaný program v oboru měření a řízení díky své stabilitě a propracovanosti. [3]

Program LabView se zaměřuje na vývoj aplikací pro měřicí účely, sběr dat a jejich dalšímu zpracování a prezentaci. Program pracuje v plně grafickém prostředí. To velmi zjednodušuje a urychluje práci na vývoji aplikací. Není potřeba znát jiný programovací jazyk s běžnou syntaxí. V programu se propojují jednotlivé komponenty ve funkční celky. Ty se nazývají Virtual Instruments (virtuální přístroje) a s reálnými zařízeními jsou funkčně shodné. U většiny lze nastavit i více parametrů než u reálného měřicího přístroje. Významným přínosem je zde i cenová výhoda oproti skutečným přístrojům. [3][4]

### 3.1.1 Komunikace

Měřicí systém podporuje obousměrnou komunikaci s připojeným zařízením. Obsahuje přes 250 ovladačů pro různé měřicí karty. Ty jsou buď přímo od výrobce National Instruments, nebo od jiných výrobců. Ostatní výrobci měřicích karet dodávají i své vlastní ovladače, které umožňují implementaci do systému LabView. Do měřicí techniky vybavené komunikačním portem lze připojit více než 400 přístrojů s příslušným ovladačem, které jsou také součástí programu. Obousměrná komunikace nám umožňuje přes LabView ovládat některé připojené přístroje. Kombinace virtuálních a reálných přístrojů nám přináší velké výhody při budování měřicích laboratoří a lze tak dosáhnout kvalitně vybaveného pracoviště za zlomek ceny. Některé speciální měřicí přístroje jsou totiž příliš drahé a peníze na jejich pořízení lze investovat např. do dalšího vývoje. Měřicí karty se připojují přes USB rozhraní, což nám dává možnost připojení k jakémukoli počítači včetně přenosných. Pokud použijeme měřicí kartu v kombinaci s přenosným počítačem, tak získáme mobilní měřicí pracoviště. Při porovnání pořizovací ceny s cenou klasického měřicího přístroje jsme s cenou daleko níže. [3][4]

Dnes se LabView používá např. v automobilovém průmyslu jako diagnostická jednotka v kombinaci s počítačem. Díky tomu lze měřit ve skutečném provozu. Dochází ke snížení nákladů na vývoj a získávání přesnějších výsledků.

### 3.1.2 Kompatibilita

Velikou výhodou LabView je export naměřených dat do mnoha formátů. Je možné ukládat data do binárních souborů nebo CSV souborů (hodnoty oddělené středníkem nebo tabulátorem). Tyto soubory jsou velmi kompaktní, obsahují pouze naměřená data a neobsahují přebytečné informace. Dají se zpracovat v jakémkoli počítači s jakýmkoli běžným tabulkovým i textovým editorem. Tyto formáty umí také importovat tabulkové a databázové systémy a dále s nimi pracovat. LabView současně podporuje napojení na databáze MS Access a dokáže do připravených tabulek zapisovat data. Pro jiné databáze jiných výrobců lze použít ODBC, nebo lze využít propojení přes ActiveX s jinými aplikacemi MS Office. [4]

Vývojáři firmy National Instruments se v současnosti zaměřili na vývoj LabView pro vícejádrové procesory. Ty se dnes staly standardem a je poptávka po programovacích jazycích pro paralelní programování. LabView pracuje s vícekanálovou architekturou a tak je vhodné pro vícejádrové procesory. Tím stoupá rychlost systému. Příkladem je použití osmijádrového procesoru v Institutu Maxe Plancka pro fyziku plazmatu, kde dosáhli dvacetinásobného zrychlení oproti jednojádrovému procesoru. [3]

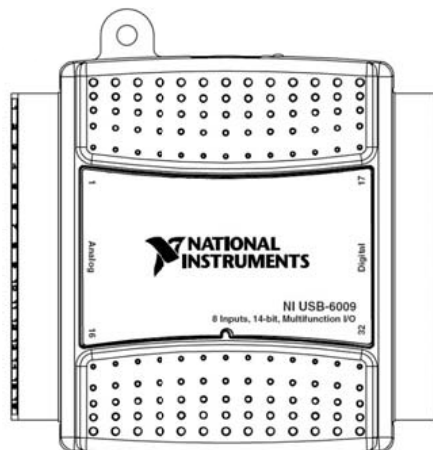
## 3.2 Zařízení DAQ

Abychom mohli získávat data a dále s nimi pracovat v prostředí LabView slouží tzv. DAQ systémy (Data Acquisition). Tyto systémy sloužící pro pořízování dat umožnily zvýšení rychlosti měření a nahrazení analogového zpracování dat pomocí programového vybavení DSP (Digital Signal Processing). Zařízení DAQ jsou většinou vyráběna jako zásuvné karty. V současnosti jsou nejpoužívanější hlavně v rozhraní USB, ethernet, IEEE 1394 (Fire Wire). Získaná data lze zobrazit, zpracovávat a analyzovat v prostředí LabView. [3] V této úloze je použita multifunkční karta NI USB-6008

### 3.2.1 Multifunkční karta USB-6008

Karta se připojuje přes rozhraní USB 2.0 full speed. Je to nejmenší profesionální DAQ zařízení od firmy National Instruments, které se používá v prostředí LabView.

- Karta má 8 analogových vstupů
- 2 analogové výstupy
- Analogové vstupy lze zapojit dvěma způsoby:
  - Jako 8 nesymetrických kanálů (proti společné zemi)
  - Jako 4 symetrické (diferenciální) vstupy.
- Obousměrných číslicových vstupů a výstupů je 12.
- Obsahuje jeden 32bitový čítač.
- Vyvedeno je napájení 5V, které je získáno z rozhraní USB a 2,5V ze stabilizátoru A/D převodníku.
- Maximální vzorkovací rychlost pro jeden i více kanálů je 10kS/s. [3]



Obr. 15 Měřicí karta 8006

### 3.2.2 USB karta Velleman K8055

Tato karta je jedna z nejlevnějších možností pro práci v prostředí LabView. Karta je kompatibilní s USB rozhraním, což je také její velká výhoda. Lze ji u nás koupit buď jako hotový výrobek nebo jako stavebnici v ceně okolo 750 Kč. Je určena spíše na malé aplikace a modelové úlohy. Lze s ní měřit i regulovat. [3]

Její hlavní výhodou je cena. Může si ji pořídit každý. K dostání je ve všech specializovaných obchodech s elektrotechnickými součástkami. [3]

Karta obsahuje:

- 2 analogové vstupy (vstupní napětí max. 5V)
- 2 analogové výstupy
- 5 číslicových vstupů
- 8 číslicových výstupů

Napájení je zajištěno přes USB rozhraní, karta odebírá přibližně 70mA. [3]

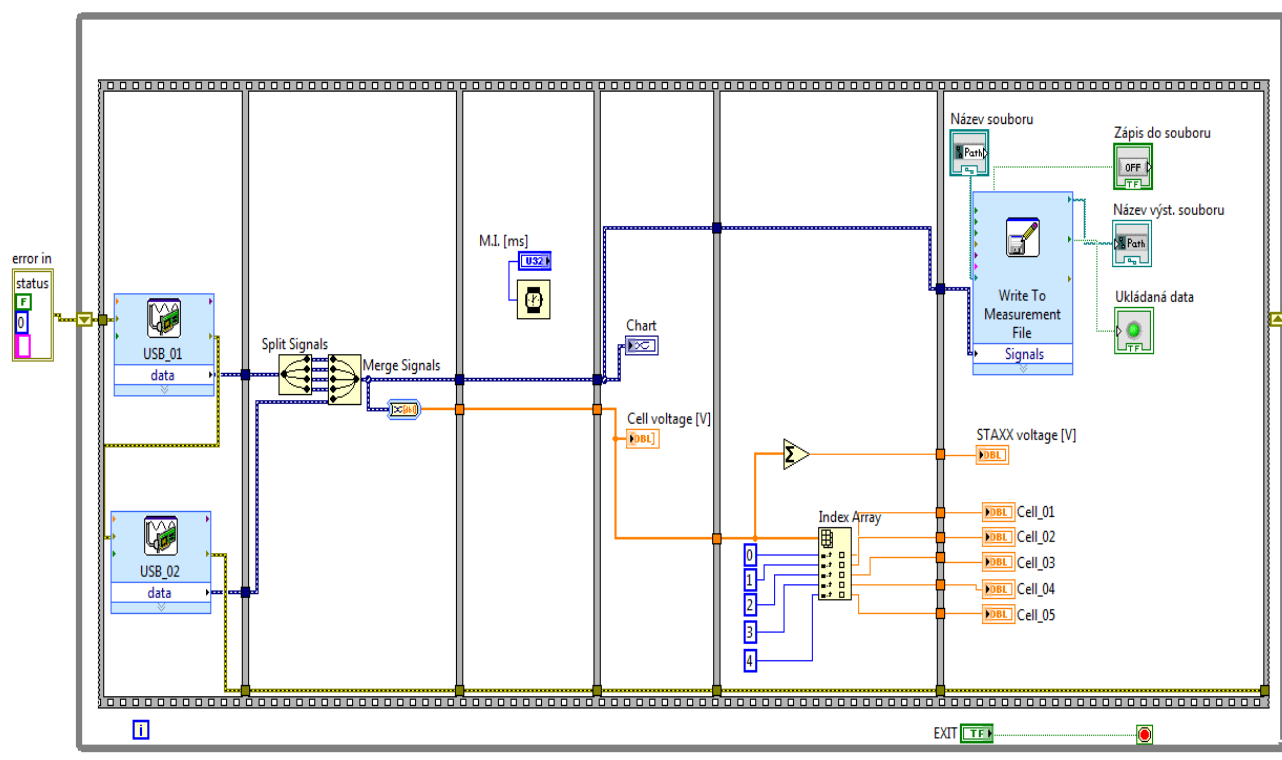
### 3.2.3 Další možnosti rozšíření

Možnosti hardwarového rozšíření jsou opravdu velké. K počítači je možné připojit jakékoli zařízení pro zpracování signálu. Ovšem aby bylo možné ho použít v programu LabView, je potřeba mít ovladače k danému zařízení. [3]

Další z možností je například číslicový multimetr DMM NI USB-4065. Ve spojení s počítačem dokáže měřit stejnosměrné i střídavé napětí do 300V a stejnosměrný a střídavý proud do 3A. Umožňuje také testovat polovodičové diody a měřit odpor. Naměřené údaje jsou v rozlišení 6 a 1/2 místném rozlišení. Dá se použít tam kde je potřeba vysoká přesnost za přijatelnou cenu. Většinou jsou určeny pro výukové laboratoře. Podporuje technologii plug-and-play a je tedy k použití okamžitě po připojení k počítači. Se zařízením se dodává i programové vybavení NI LabView SignalExpress LE. [3]

## 3.3 Nový měřicí program

Nové řešení měřicího programu StaXX článku podle zadání práce respektuje stávající program a pro účely, na které je měření určeno, tedy jako experimentální laboratorní komplex pro výuku. Zásadní změna programu není nutná, za daných podmínek je i nežádoucí. Stávající řešení měřicího místa je pro výuku a demonstraci ideální. Díky digitálnímu multimetru, odporové dekádě a digitálnímu teploměru je při výukových hodinách zaměstnáno více studentů pro odečítání hodnot, změny odporové zátěže a samotné vizualizaci na notebooku.

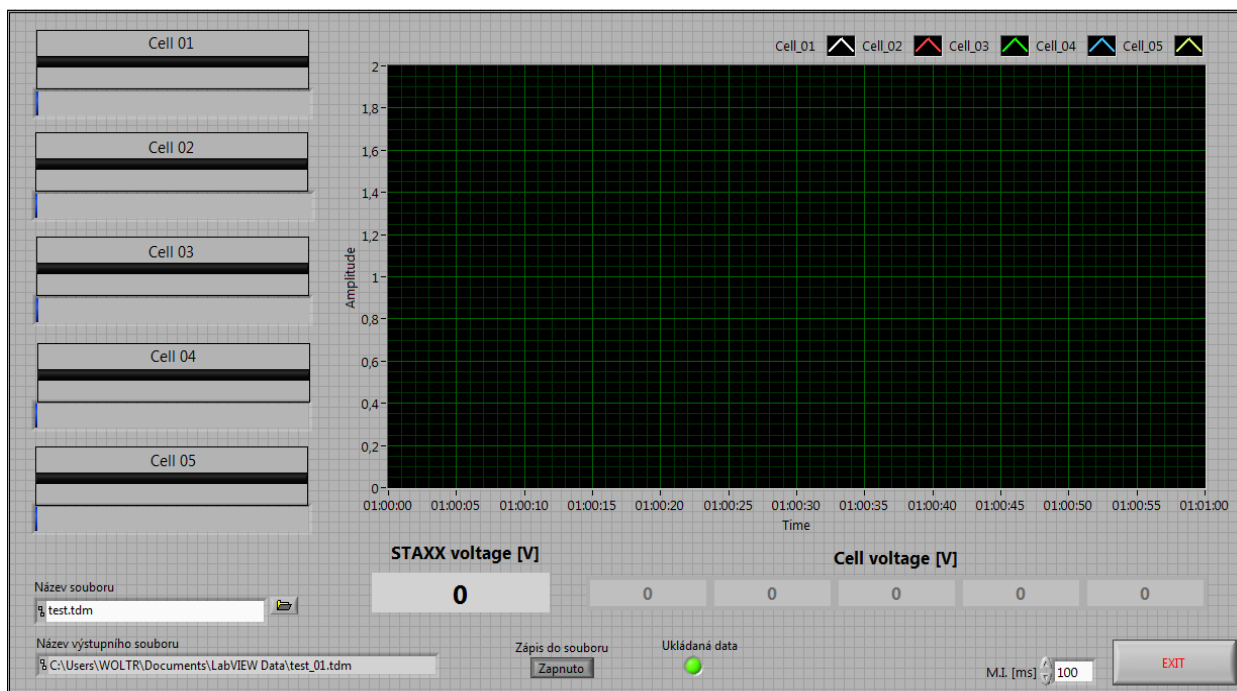


Obr. 16 Rozšíření programu

Data získaná z měření byla odečítána pouze vizuálně a pro další použití byla zahazována. Mým přínosem bylo rozšíření programu o možnost sběru a ukládání naměřených dat. Do stávající verze VI jsem vložil funkci zápis měření do souboru (Write to Measurement File). Tato funkce zajišťuje převod veškerých naměřených dat do různých formátů zápisu do souboru. Pro naše účely bylo nejvhodnější použít textový formát zápisu. Z toho lze snadno exportovat data do tabulkových procesorů jako je Microsoft Excel. Ovšem pro ideální formát zapsaných dat bylo potřeba pár úprav. Jeden časový údaj pro všechny měřené kanály a oddělovač nastavit na tabulátor. Poté jsem navolil maximální velikost textového souboru, která při překročení začne zapisovat do nového textového souboru s následujícím pořadovým číslem.

Aby bylo možné uložená data snadněji najít, tak jsem použil možnost zadat název výstupního souboru a možnost vizuálně kontrolovat cestu k výstupnímu souboru. Zelená kontrolka indikuje, zda se data zapisují do souboru.

Poslední přidaná funkce je možnost vypnutí a zapnutí zapisování do souboru. Tato funkce je výhodná v okamžiku, kdy se u článku měří hlavně přechodové děje mezi nízkým a vysokým zatížením. Tak je možné zapnout ukládání těsně před měřením a poté jej vypnout. Tím omezíme ukládání nepotřebných dat.



Obr. 17 Kontrolní panel po úpravě

Rozšířeno o tyto funkce:

- Možnost zvolit název výstupního souboru.
- Cesta k výstupnímu souboru
- Možnost zapnutí a vypnutí zapisování do souboru
- Indikace zapisování do souboru pomocí zelené diody.

### 3.3.1 Sledování a kontrola na webu

V dnešní době telekomunikací je žádoucí mít ke všemu přístup pomocí sítě nebo internetu. Díky tomu a díky funkci **web publishing**, která je součástí LabView, mě napadlo toho využít a podařilo se mi spustit sdílení hlavního kontrolního panelu programu pro měření parametrů článku StaXX. Na měřicím místě v laboratoři je bohužel starší verze LabView 8.6 ve které chybí funkce G-Server. Ta umožňuje přístup ke sdílenému hlavnímu panelu přes internet. Tato funkce je součástí verze LabView 2011. Katedra technologií a měření tuto verzi

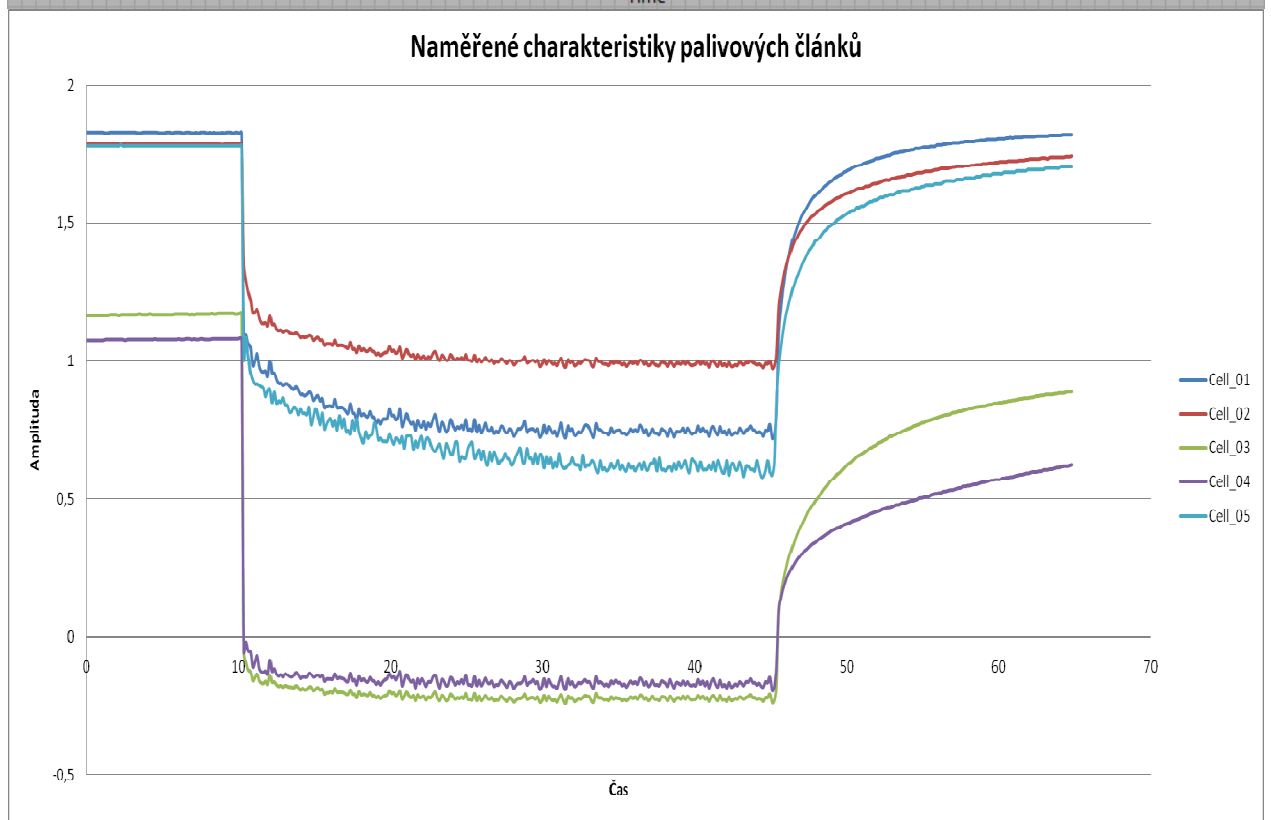
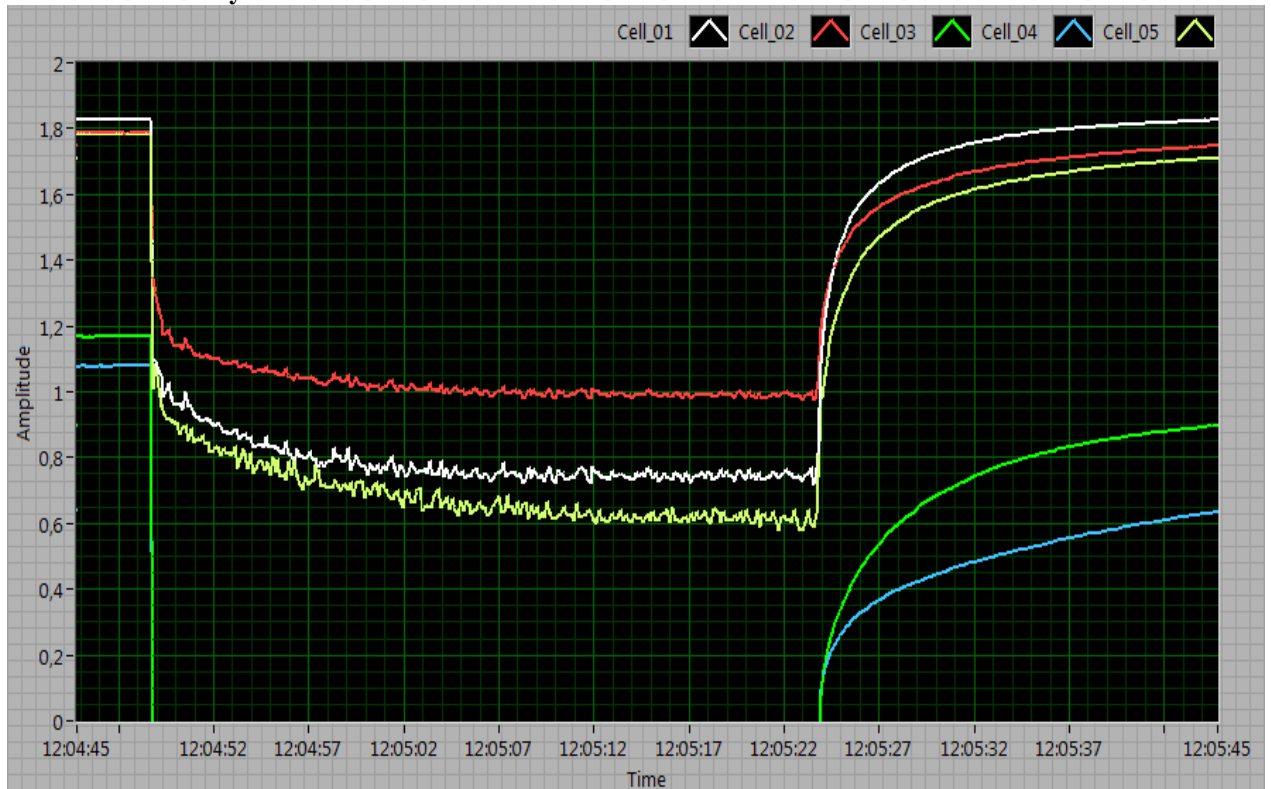
má a díky školní licenci mi byla zapůjčena. Díky tomu jsem dokázal prakticky funkčnost sdílení hlavního panelu s možností kontroly a řízení. Ovšem zatím není možné tímto způsobem získat naměřená data, která se ukládají v textové formě na disk měřícího notebooku. Tato možnost získání dat z webu by mohla být námětem na další práci.

### 3.3.2 Ukázka sběru dat

Sběr naměřených dat je velmi užitečnou funkcí, která daný program dovedla v této fázi k dokonalosti. Díky tomuto rozšíření se dají analyzovat a vyhodnocovat parametry článků i mimo laboratoř i na počítačích bez LabView. Při testovacích měřeních byly dva články mimo svoje běžné jmenovité napětí. Toto se někdy u těchto palivových článků stane. Zatím není známá příčina tohoto poklesu a při zátěži dokonce depolarizace článku. Podle pozorování jsou tyto výkyvy od normálu většinou po experimentálním měření. S články jsou prováděna experimentální měření a jsou námětem jiných bakalářských a diplomových prací. Tyto výkyvy jsou dočasné. Články se vrátí do svého normálového stavu avšak za velmi dlouhou dobu a to v řádech hodin až dnů.

Díky možností zápisu dat do souboru je možné tyto změny zaznamenat a vyhodnotit tak například jak dlouho článku trvá dostat se do normálního stavu. Dříve by u zařízení musel sedět pozorovatel a vizuálně pozorovat chování článku. V době, kdy by dovršil své jmenovité hodnoty, určit uplynulý čas. Nyní stačí pouze odstartovat měření a poté ho jen ukončit a zkontrolovat naměřená data. Ovšem díky novým možnostem už není zapotřebí ani chodit do laboratoře průběžně kontrolovat stav, ale je možné sledovat dění ze vzdáleného místa pomocí webu. Tento princip je bezesporu výhodou zejména v oblasti ustalovacích a stabilizačních měřeních, kterých je po každé práci většina.

Porovnání naměřených dat



Obr. 17 Porovnání naměřených dat



## 4 Možnosti budoucího vývoje

Daný systém disponuje řadou možností rozšíření. Jednou z nich je měření vstupního příkonu. Tedy i proudu, který je dodáván na přeměnu elektrické energie na vodík. Díky volným analogovým vstupům na měřicí kartě je tato možnost realizovatelná, avšak pro účely nynějšího využití článku je to zatím v této fázi nepotřebné.

Také je zde možnost měřit výstupní proud celé soustavy palivových článků. Měření výstupního proudu každého článku je nyní neproveditelné z důvodu nedostatku analogových vstupů na měřicích kartách. Musela by se použít minimálně jedna další měřicí karta USB-6008. Nicméně v současné době toto měření zajišťuje digitální altimetr a hodnoty jsou odečítány v rámci laboratorních cvičení ručně.

K praktickému použití pro výrobu vodíku je možné použít proud z obnovitelných zdrojů jako je solární, vodní a větrná energie. K palivovému článku by se mohl připojit solární panel, který je v laboratoři a mohla by se sestavit nová úloha nezávislá na energii ze sítě. Ovšem aby bylo možné vyrobít dostatek proudu je zapotřebí přímého osvětlení panelu. Ten by se musel umístit na místo, kde je po celý den přímé osvětlení. To místnost laboratoře a její orientace neumožňuje.

Další možností je vyměnit odporovou dekádu, která se nastavuje otočnými ovladači, za dekádu elektronicky řízenou, kde by bylo dosaženo zejména ve spojení s dálkovým přístupem celkové automatizace měřicího procesu. Vzhledem ke stávajícím nárokům na pedagogické a experimentální využití systému je tato možnost sice zajímavá, ale nikoli nezbytně nutná.

## Závěr

Princip funkčnosti palivového článku je popsán v kapitole 1. Grafický model článku PEMFC je znázorněn na obrázku *Obr. 3*.

Ve druhé kapitole je analyzován stávající program, který slouží k měření parametrů sestavy s palivovými články. Program je vytvořen v programovacím grafickém prostředí LabView. Popis jednotlivých prvků programu a jejich základní funkčnosti je na obrázku *Obr. 13*. V druhé kapitole je také popsána celá sestava.

Třetí kapitola se věnuje novému programu. Nejprve je zde rešerše programu LabView a přípojných zařízení DAQ. Nový program je ukázán na obrázku *Obr. 16*, kde jsou vidět nové prvky programu. Ve třetí kapitole se pod novým programem ukrývají nové funkce programu. Jednou z nich je možnost sběru dat a jeho ukázka na obrázku *Obr. 17*. Druhou je možnost kontroly a řízení programu pomocí ethernetu a je zde také diskuze přínosu těchto rozšíření.

Poslední kapitola se věnuje budoucím možnostem vývoje systému. Bakalářská práce se především zaměřuje na použití sestavy s palivovými články pro výukové a experimentální potřeby v rámci výukového procesu. Ovšem pro čistě experimentální a vědecké účely se také používá.

Pro výukové účely je lepší a zajímavější, aby se každý student staral o nějakou činnost. Je zde preferována názornost výukového procesu a osobní angažovanost každého studenta před přílišnou automatizací systému, který by tak byl víceméně pouze demonstrační. Z tohoto důvodu jsou používány digitální multimetry, teploměr a hlavně ruční mechanická odporová dekáda. Všechno to je přehledně zobrazeno na obrázku *Obr. 8*.

Tato práce byla nejenom o přidání jednoho bloku do blokového diagramu, ale obsahovala rozsáhlé znalosti. Bylo zapotřebí se seznámit s principem palivového článku, jeho funkčností a měřením. Také jsem se musel naučit základy LabView abych mohl poté analyzovat stávající program po předchozím studentovi. Nějaké zásadní změny v programu jsou nepodstatné, byly by pouze grafické a podstata programu by se stejně nezměnila. Po seznámení s programem a také po konzultaci s vedoucím práce jsem usoudil, že daný program je dobrý pro měření, avšak chybí mu možnost uložení dat. Toto rozšíření dovedlo program k dokonalosti a mohou

ho využívat jiní studenti ve svých experimentech. Samozřejmě také ulehčuje práci při praktických cvičeních. Nyní není třeba zapisovat hodnoty na tabuli, ale výsledné hodnoty si mohou studenti nakopírovat a odnést domů na flash discích. Jak je vidět na obrázku Obr. 17 tak ukládaná data jsou dokonalejší než grafický zobrazovač, který neukazuje záporné hodnoty napětí článků. Také mě napadla možnost mít přístup k měření odkudkoli. Díky tomuto a možnosti sběru dat bylo nutné upgradu systému LabView v laboratoři. Možnost vzdáleného přístupu umožní demonstraci článku například na přednášce.

Moje práce se stane cenným přínosem jak pro vyučující tak i pro studenty. Dává nové příležitosti v měření a demonstraci palivového článku.

## Použitá literatura

- [1] Palivový článek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-[cit.2012-04-22]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD\\_%C4%8DI%C3%A1nek](http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek)
- [2] DLOUHÝ, Petr a Luděk JANÍK. Palivové články. [online]. 17.04.2007 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://hytep.cz/?loc=article&id=5>
- [3] VLACH, Jaroslav, HAVLÍČEK, Josef a VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW / Jaroslav Vlach, Josef Havlíček, Martin Vlach*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008.
- [4] KREJČÍ, Tomáš. *Vícekanálové snímání charakteristik článku STAXX pomocí LabView*. Plzeň, 2008. Bakalářská práce. Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Pavel Štekl.
- [5] Vodík. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk>
- [6] [online]. [cit.2012-04-22]. Dostupné z: [http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/EPS/ASU\\_TEH\\_PR/METOD/POPOV/frame/11.htm](http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/EPS/ASU_TEH_PR/METOD/POPOV/frame/11.htm)
- [7] SOUKUP, Petr. Test vodíkového auta Honda FCX Clarity. [online]. 2011, 31.3.2011 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/testy/auto-na-vodik-honda-fcx-clarity>
- [8] DLOUHÝ, Petr a Luděk JANÍK. Účinnost. [online]. 20.07.2007 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://hytep.cz/?loc=article&id=11>
- [9] FRYDA, D. *Simulace a výpočty energetické bilance kyslíkovodíkového palivového článku pomocí programu LabView*. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2011, 62 stran. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Šlezinger.
- [10] JANÍK, Luděk a Petr DLOUHÝ. Jak se vyrábí palivo budoucnosti. Vodík pro auta i elektroniku. [online]. 2008 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec\\_technika.aspx?c=A080127\\_234744\\_tec\\_technika\\_vse](http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse)
- [11] *Fuel Cell StaXX* [online]. 12-02-2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://fuelcellhub.com/Detail.php?ProductID=179&From=%2FMall.php%3FCategory%3D38%26Page%3D5>
- [12] H-TEC. *H-tec education* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.h-tec.com/en/h-tec-education/products/accessories/electrolysers/>
- [13] H-TEC. *Stack Experimentation* [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.h-tec.com/education/produkte/stack/stack-experimentation>

