



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

NÁVRH ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ VYUŽÍVAJÍCÍCH VODÍK JAKO PALIVO

DESIGN OF ENERGY SYSTEMS USING HYDROGEN AS FUEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ADAM SLOVÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUCIE HOUDKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Adam Slováček

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh energetických systémů využívajících vodík jako palivo

v anglickém jazyce:

Design of Energy Systems Using Hydrogen as Fuel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh procesních zařízení k výrobě energie z vodíku jako paliva. Technologie výroby vodíku je vybrána na základě patentové rešerše.

Cíle diplomové práce:

Student se podrobně seznámí s fyzikálně chemickými vlastnostmi předmětných látek (vodík, kyslík, voda). Dále provede patentovou rešerši a vybere vhodný způsob výroby vodíku. Student navrhne procesní zařízení pro specifické využití (domácnost, průmysl) a na základě dostupných dat provede energetickou bilanci celého systému.

Seznam odborné literatury:

patentové databáze (esp@cenet, Patent Full-Text Databases)

Zumdahl, S. Chemistry. Boston, MA :Houghton Mifflin Co.,2006. 7th ed. ISBN
0-618-52844-X

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lucie Houdková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011 12:47



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je shromáždit poznatky v oblasti výroby a využití vodíku. V této práci je část věnovaná srovnáním doposud existujících procesů výroby vodíku, kde převážnou většinu zaplňují fosilní paliva. Další část je věnována podkladů k nové studii založené na několika vybraných patentech a pokusu o provedení experimentu slibujícího novou metodu rozkladu vody. Na základě dostupných dat bude provedena energetická bilance a navrženy energetické systémy využívající vodík jako palivo. Závěrem jsou zhodnoceny budoucí možnosti v oblasti vodíkové energetiky.

Klíčová slova

výroba vodíku, vodíkové palivo, polarizační proces, palivový článek, hořák, pístový moto hořák, fúzní reaktor

Abstract

The subject of diploma thesis is to gather knowledge in the production and use of hydrogen. This work is devoted to a comparison of the previously existing processes for producing hydrogen, where the vast majority is filled of fossil fuel. Another section is devoted to new materials for the study based on a number of selected patents and the experiment promising new method for decomposition of water. Based on available data will be carried out energy balance and consequently will be drafted energy system using hydrogen as fuel. In conclusion will be future possibilities evaluated in the field of hydrogen energy.

Keywords

hydrogen production, hydrogen fuel, polarization process, fuel cell, burner, piston engine, fusion reactor

Prohlášení autora o původnosti práce

Já, Adam Slováček prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne : 25.5.2010

.....

podpis

Bibliografická citace mé práce :

SLOVÁČEK, A. Návrh energetických systémů využívajících vodík jako palivo. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lucie Houdková, Ph.D..

Poděkování :

Poděkování je věnováno Všem, kteří mě umožnili vypracovat tuto práci, především J. Zákravskému, za zpracování součástí reaktoru.

Ing. M. Kunovjánkovi, za umožnění provést experimentální měření na elektrotechnologii.

Ing. L. Houdkové, Ph.D., za věcné připomínky.

Ing. M. Krbalovi, za věcné komentáře.

Ing. D. Červinkovi, Ph.D., za zapůjčení jádra cívky.

OBSAH

OBSAH	9
1. ÚVOD	11
2. MOŽNOSTI VÝROBY VODÍKU	13
2.1. Termochemické procesy	13
2.1.1. Parní reforming zemního plynu	14
2.1.2. S-I cyklus	14
2.1.3. Termický rozklad vody	15
2.1.4. Rozklad vodní páry	15
2.1.5. Koksárenský plyn	15
2.2. Elektrochemické procesy	16
2.2.1. Elektrolýza vody	16
2.2.2. Vysokoteplotní elektrolýza vody	17
2.2.3. Fotolýza vody	17
2.2.4. Plazmová elektrolýza	17
2.2.5. Elektrický polarizační proces	17
2.3. Biotechnologické procesy	18
2.3.1. Fermentace	18
2.3.2. Mikrobiální výroba	19
3. VLASTNOSTI VYBRANÝCH LÁTEK	20
3.1. Voda	20
3.2. Vodík	21
3.3. Kyslík	23
3.4. Nerezová ocel	23
4. TECHNOLOGIE VÝROBY VODÍKU NA ZÁKLADĚ PATENTOVÉ REŠERŠE ...	24
4.1. Elektrolýza vody	24
4.2. Schéma elektronického obvodu	26
4.3. Teoretický základ EPP	27
4.4. EXPERIMENTÁLNÍ ČINNOST	29
4.4.1. Popis aparatury	29
4.4.2. Popis a výsledky experimentu	32
4.5. Energetická bilance	34

5. NÁVRH ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ	36
5.1. Všeobecné zásady a vlivy	36
5.2. Palivové články pro méně náročné aplikace	36
5.3. Hořáky	40
5.4. Spalovací motory	41
5.4.1. Pístové motory	41
5.4.2. Utilizace spalování	44
5.5. Fúzní reaktory	46
6. ZÁVĚR	50
7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	51
7.1. Použité symboly a zkratky	54
7.2. Seznam obrázků a tabulek	57
7.3. Přílohy	57
7.3.1. CD-ROM	57
7.3.2. Patentová rešerše	58
I. Metoda a přístroj pro rozklad vodních molekul	58
II. Metoda k produkci palivového plynu	60
III. Zařízení k produkci orthovodíku a/nebo paravodíku	62
7.3.3. Protokol o měření	64

1. ÚVOD

V současnosti poptávka po ropě přesahuje nabídku a velká část průmyslu je na této surovině závislá. V tomto směru nejsou současné vyhlídky do budoucna vůbec uspokojivé a je jisté, že celosvětové zásoby ropných zdrojů se postupně snižují. Na jedné straně se jedná o prosperující obchod, který dočasně zvyšuje životní úroveň světové populace. Na druhé straně ničí životní prostředí, které je k nezaplacení. Obecně může existovat vyšší strategický plán, který částečně určuje světový vývoj a ve kterém je ropa postradatelná komodita, kterou lze nahradit. Lidé, kterým není životní prostředí lhostejné mají snahou snižovat závislost na ropě a fosilních palivech využíváním jiných zdrojů energie, např. větru, slunce, vody, biomasy, atd.

V historii by se dalo najít spoustu zajímavých vynálezů, které slibují lepší využití energetických zdrojů. Například současné automobily mají velice malou účinnost i přesto, že v roce 1973 vyšel článek o testovacím autě společnosti Shell, ve kterém se píše o spotřebě jednoho litru pohonné hmoty na 160 km [1]. Tato spotřeba byla dosažena především v použití systému zplyňovacího karburátoru. Zajímavou a nepříliš diskutovanou technologií je zpracování odpadních spalin v systému GEET a jejich znovu využití jako paliva [2].

Z tohoto lze usoudit, že ropné společnosti nemají nejmenší zájem něco měnit. Například Stanley Alan Meyer se během Americké ropné krize rozhodl vyřešit problém se závislostí na ropě a publikoval mnoho patent shrnutý v publikaci „The Birth of New Technology“, ve které je popsána revoluční metoda rozkladu vody a následného využití [3]. V roce 1996 byl investory zažalován pro podvody, kde následně prohrál soudní spor, při kterém se neprokázala funkčnost vyvíjeného prototypu a byl tímto částečně zdiskreditován. I po tomto incidentu nadále pořádal odborné konference, až do náhlé smrti v roce 1998, kde ve stejném roce byl podán patent pro společnost Xogen Power založený na velice podobném principu [4].

Mohl by být tento systém patentován v USA, Evropě, Kanadě, Japonsku a celosvětově, pokud by porušoval zákon o zachování energie? Tato otázka přitahuje zájem a je jisté, že pokud se tato záležitost jeví jako perpetuum mobile, tak by to znamenalo nalezení nového zdroje energie. Při pátrání po nekonvenčních zdrojích energie lze argumentovat mnoho a nějaké skutečnosti nelze konvenční vědou vysvětlit. V kvantové mechanice se objevují fenomény, které zjevně porušují 2. termodynamický zákon. Např. existují tvrzení o vakuu nebo nanočásticích. Veškerá hmota je tvořena specifickou vibrací a nelze dosáhnout absolutní nuly, tzn. zastavení veškerého pohybu částic. Vždy existuje energie, která tento stav udržuje. Kde se tato energie bere? Zdrojem může být právě vakuum, ve kterém neustále vznikají a zanikají páry částic a antičástic. Jako existence energie vakuua může posloužit fakt, že ve velmi těsné blízkosti dvou neutrálních těles je způsobena fluktuace vakuua, která tyto desky spojí. Tento jev se nazývá Casimirův efekt. Pro zamyšlení, fúzní energie je milionkrát vyšší než energie při spalování.

S vibracemi je spojen fenomén nazývaný „Hutchison Effect“, kde po aplikaci vysokofrekvenčních vln o vysokém napětí na objekt je způsobena levitace objektu a lze toho využít i pro roztržení atomových vazeb železných předmětů, kde tento jev je doprovázen transmutací prvků [5,6].

Momentálně se mluví o studené jaderné fúzi LENR (Low Energy Nuclear Reaction), která je objektem experimentů již dvacet let a v roce 2011 se na italské univerzitě v Boloni podařila fúze niklu a vodíku, kde testy vykazují tepelnou účinnost vyšší než 100%. Toto zařízení lze vyhledat pod názvem E-Cat [7]. Další aktuální fenomen LENR je v použití nanočástic [8], které studuje Dr. Brian Ahern nebo ještě pokročilejší objevy s plazmou Dr. Randella Millse a jeho exotermického přechodu vodíku na hydrino za pomoci katalyzátoru [9]. Existují záznamy z roku 1957 o katalyzátoru ChemAlloy, který bez dodatečné energie rozkládá vodu na vodík a kyslík [10]. V roce 2008 na MIT Daniel Nocera vytvořil katalytickou slitinu, na které se při aplikaci světla rozkládala voda na vodík a kyslík [11]. Tento jev je znám pod pojmem fotolýza a inovací je použití katalyzátoru. Společnost Energy Technology CZ a.s. podala v roce 2010 tiskovou zprávu o objevení nové metody rozkladu vody, která dokáže vyrobit 1 kg vodíku za 10 Kč [12].

V teoretické části této práce je snahou stručně popsat možnosti výroby vodíku, které jsou rozčleněny podle technologického zpracování. V praktické části je popsána výchozí technologie, která má být experimentálně potvrzena a která se stane myšlenkovým základem pro návrh energetických systémů využívající vodík jako primárního paliva. Výpočtová část diplomové práce je následně věnována systémům, které tuto technologii integrují.

2. MOŽNOSTI VÝROBY VODÍKU

Výrobu vodíku lze rozdělit podle zdroje vstupní suroviny nebo energetických zdrojů, které jsou potřebné k získání vodíku.

Celková produkce je zastoupena 78 % z uhlovodíků, 48 % zemní plyn a 30 % v rafineriích, kde je spotřebován v procesu, 4 % elektrolýzou a zbytek ostatními procesy, které jsou níže vypsány.

Vodík může být vyráběn mnoha způsoby z širokého spektra vstupních zdrojů. Roční světová produkce vodíku je přibližně 55 milionů tun. V globálním měřítku dominuje v současné době výroba z fosilních paliv.

Využívání vyrobeného vodíku z fosilních paliv může pomoci lokálně snížit produkci některých zdraví poškozujících látek, globálně by však vedlo pouze k méně hospodárnému využívání primární energie a s tím souvisejícímu nárůstu produkce oxidu uhličitého (a dalších škodlivých látek). Další možností je výroba vodíku z obnovitelných zdrojů. S jejich využitím se vodík získává pomocí elektrolýzy vody, vysokoteplotního rozkladu vody, zplyňováním či pyrolýzou biomasy nebo výrobou s využitím speciálních bakterií.

Hlavním motorem rozvoje vodíkového hospodářství je nalezení alternativy k využívání fosilních paliv, a to především v dopravním sektoru. Případná masivní výroba vodíku pro tyto účely z fosilních paliv by proto byla z výše uvedených důvodů jen těžko obhajitelná, a proto se pozornost v poslední době soustředí na ty způsoby výroby vodíku, které neprodukují emise škodlivých látek a nejsou závislé na dodávkách fosilních paliv.

Možností jak vodík vyrábět existuje celá řada. Další text slouží k orientaci a porozumnění nejrozšířenějším, v současné době nejperspektivnějším i nekonvenčním technologiím výroby vodíku. Jsou zde uvedeny termochemické, elektrochemické a biotechnologické procesy.

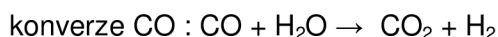
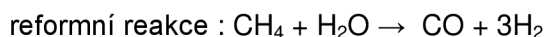
2.1. Termochemické procesy

Jedná se o možnosti výroby vodíku založené na tepelném zpracování doprovázeném chemickými reakcemi. Snahou je dodat tepelnou energii molekulám, které se za použití vhodného katalyzátoru rozloží na atomy. Slučováním vzniklých atomů může docházet k uvolnění nebo absorbování energie.

2.1.1. Parní reforming zemního plynu [13]

Tato technologie je v současnosti energeticky nejlevnější a nejrozšířenější způsob výroby vodíku. Teplo pro reformní reakci i následnou konverzi oxidu uhelnatého je dodáváno z přímého spalování části zemního plynu (tzv. autotermní reforming).

Proces má dvě fáze; v první se za přítomnosti katalyzátoru do vodní páry (500 - 1 100 °C, 0,3 - 2,5 MPa) přivádí metan (dominantní část zemního plynu). Směs metanu a páry reaguje za vzniku vodíku a oxidu uhelnatého a menšího podílu oxidu uhličitého. Poté následuje navyšování množství produkovaného vodíku konverzí CO z reforméru s další přidanou párou. Reakce probíhá již za nižších teplot.

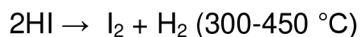
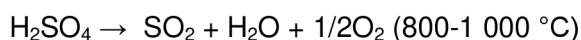
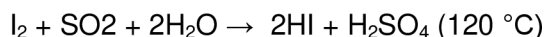


Účinnost (konverze) produkce vodíku je závislá na poměru páry a uhlíku ve směsi; pohybuje se okolo 80 %. Značnou nevýhodou je produkce vysokého množství oxidu uhličitého - na 1 kg vodíku se vyprodukuje 7,05 kg CO₂.

2.1.2. S-I cyklus

Siřičito-jódový termochemický cyklus byl vyvinut v General Atomics (San Diego, USA) v polovině 70. let 20. století. Je předním kandidátem levné a účinné výroby vodíku pomocí jaderné energie.

Vstupní surovinou je pouze voda a vysokopotenciální (s vysokou teplotou média) teplo; výstupními surovinami jsou kyslík s vodíkem a nízkopotenciální teplo. Všechny vstupní suroviny jsou tekuté. Jód a oxid siřičitý se recyklují a opětně používají, teoreticky se tedy neprodukuje žádný odpad (ve skutečnosti samozřejmě k určitým ztrátám dochází). Při produkci vodíku probíhají tyto termochemické reakce:



V prvním kroku, který je znám jako Bunsenova reakce, reaguje vstupující voda s jódem a oxidem siřičitým za vzniku kyseliny sírové a jodovodíkové. Nejvíce tepla (a o nejvyšší teplotě, 800-1000 °C) vyžaduje endotermický rozklad kyseliny sírové. Rozklad kyseliny jodovodíkové a současná produkce vodíku vyžaduje teploty nižší (450 °C).

Účinnost celého výrobního cyklu vodíku se pohybuje v rozmezí 40-52 % (50 % při 950 °C). S dalším nárůstem teplot bude růst i účinnost cyklu. Oproti elektrolýze má vyšší účinnost, protože není třeba vyrobené teplo přeměňovat se ztrátami na elektřinu.

Nevýhodou tohoto cyklu je požadavek vysokých vstupních teplot a agresivita kyseliny sírové a jodovodíkové, což vede k vysokým nárokům na chemickou odolnost použitých materiálů. Problematická bude kontrola podmínek reakcí v průmyslovém měřítku (v laboratorních podmínkách byla tato otázka již zvládnuta).

2.1.3. Termický rozklad vody [13]

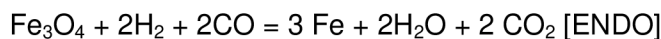
Termický rozklad vody probíhá při teplotách 2 500 - 3 000 °C. Tento problém zatím není technicky řešitelný, protože dělení reakčních složek by se muselo provádět při vysokých teplotách a na to nejsou vhodné konstrukční materiály.

2.1.4. Rozklad vodní páry [13]

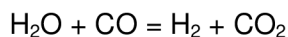
Rozklad vodní páry se provádí v přítomnosti železa. V podstatě se jedná o reakci:



Regenerace (endotermní reakce) probíhá působením vodního plynu (získaný např. Z koksu):



Výsledná reakce:



Proces je energeticky náročný (výroba redukčního plynu). Na 1 t Fe_3O_4 se získá asi 30 m³ vodíku za hodinu. Jako zdroj Fe se používala vysokoprocenní ruda.

2.1.5. Koksárenský plyn [13]

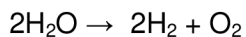
Koksárenský plyn je produktem vysokoteplotní karbonizace černého uhlí (dále vzniká dehet, koks a karbonizační voda). Tento plyn po odstranění NH_3 , H_2S a tzv. benzolu (Benzen, Toluén, Xyleny = BTX) obsahuje jako spalitelné složky vodík, methan a oxid uhelnatý a malé množství nenasycených uhlovodíků. Obsah vodíku je až 60 % a proto je možnost využít koksárenský plyn jako zdroj vodíku po předčištění přímo pro řadu operací. Nebo předčištěním a ochlazením na teplotu -160 °C lze získat vodíko - dusíkovou frakci. Zbytky CO a dalších složek se odstraňují metanizací, adsorpcí na aktivním uhlí nebo na molekulových sítích, absorpcí v měďných roztocích nebo v kapalném dusíku, příp. difúzí membránami.

2.2. Elektrochemické procesy

Výroba vodíku je založena na elektrickém zpracování a spojená s chemickými reakcemi. Snahou je využít tok elektronů, které dodávají molekulám energii, až do jejich disociace na atomy.

2.2.1. Elektrolýza vody [13]

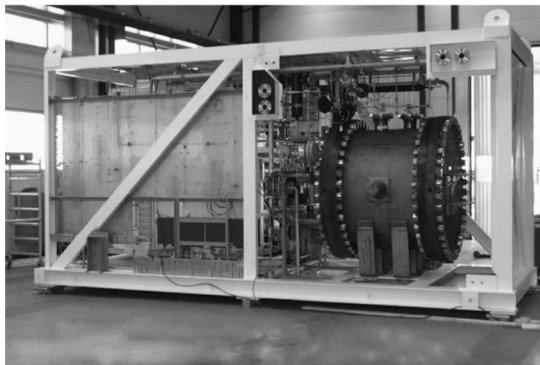
Elektrolýza vody je proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodou rozštěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem:



H⁺ (proton) poté reaguje na katodě za vzniku plynu, který je jímán a následně skladován. Proces elektrolýzy probíhá za pokojových teplot a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. Tímto způsobem jsou vyrobeny asi 4 % z celkové světové produkce vodíku, který je využíván zejména tam, kde je třeba vysoce čistý vodík.

Konvenční elektrolýza má účinnost 58-87 % a najde pravděpodobně uplatnění v menších lokálních zdrojích vodíku. Elektrická energie z obnovitelných zdrojů může být s výhodou využita právě pro lokální výrobu vodíku, odstraňuje komplikace s regulací energetické přenosové soustavy.

Výroba vodíku se také může stát perspektivní metodou regulace spotřeby elektrické energie při nadbytku v síti.



Obr.1 Elektrolýzér KOH [14]
(příkon 560kW s produkcí vodíku 130m³/h při 30bar)

2.2.2. Vysokoteplotní elektrolýza vody [13]

Pro vysokoteplotní elektrolýzu, nazývanou také parní elektrolýza, je charakteristické, že část dodávané energie tvoří elektrická energie a část je přivedena ve formě tepla, čímž je zvýšena celková účinnost procesu oproti klasické elektrolýze vody. Reakce probíhající ve vysokoteplotním elektrolyzátoru s reverzní reakcí probíhající v palivových článkách s pevnými oxidy. Do elektrolyzátoru vstupuje vodní pára a vodík. Vystupuje z něho obohacená směs obsahující 75 % hm. vodíku a 25 % hm. páry. Vodík je pak z páry oddělen v kondenzační jednotce. Celková účinnost vysokoteplotní elektrolýzy (včetně výroby potřebné energie) může dosahovat až 45 %. Tato metoda je vedle termochemických cyklů štěpení vody, popsaných v dalším odstavci, slibným kandidátem na výrobu vodíku ve velkém měřítku.

2.2.3. Fotolýza vody [11]

Fotolýza vody probíhá za účasti katalyzátoru a světla. Tato metoda je poměrně mladá a je stále ve vývoji. První úspěch byl zaznamenán v roce 2008 a lze ji dohledat pod názvem "Oxygen Evolution Reaction".

2.2.4. Plazmová elektrolýza vody [15]

Rozklad vody pomocí plazmy je teoreticky možný při teplotě 4 637 °C. Celkový proces má účinnost o řád vyšší než elektrolýza.

Vysoká teplota plazmy vytváří podmínky, za nichž v blízkosti katody probíhá několik různých procesů. Zaprvé, voda se vaří a vypařuje. Současně je část molekul rozbita a uvolňuje se atomický vodík, další část molekul tvoří molekuly ortohydrogenu. Část molekul vody je rozbita úplně a kyslík s vodíkem je uvolňován blízko katody. Část vodíku se opět slučuje s kyslíkem a vytváří vodu.

2.2.5. Elektrický polarizační proces [3]

Jak už bylo naznačeno, tato metoda bude předmětem zájmu. Mělo by se jednat o nekonvenční elektrolýzu, která se neřídí Faradayovým zákonem o prošlém náboji a je založena na principu rezonančního obvodu s aplikovaným pulzním signálem o vysokém napětí a minimálním proudu. Dodatečná energie údajně pochází z iontů, které samovolně vytváří voda.

2.3. Biotechnologické procesy

Energetické využití biomasy se celosvětově odhaduje na 2 % a do roku 2040 se plánuje navýšení na 10 %. Z biomasy lze získat maximálně 4-7 % čistého vodíku v závislosti na typu biomasy.

Suchá biomasa (s nízkým obsahem vlhkosti) je vhodným materiálem pro konverzi pomocí klasických termochemických procesů. Biomasa s vysokým obsahem vody je tímto způsobem z ekonomického hlediska nevyužitelná. Proto může být v případě vlhké biomasy výhodné využít biotechnologické procesy, kdy reakce jsou katalyzovány mikroorganismy ve vodnatém prostředí za nízkých teplot a tlaků. V tomto případě rozlišujeme dva procesy: vodíkovou fermentaci, fungující bez přítomnosti světla a fotobiologickou produkci vodíku.

Bioplyn a ostatní obnovitelná biologická paliva bude pravděpodobně výhodnější spalovat přímo ve spalovacích motorech či v menších zdrojích elektrické energie.

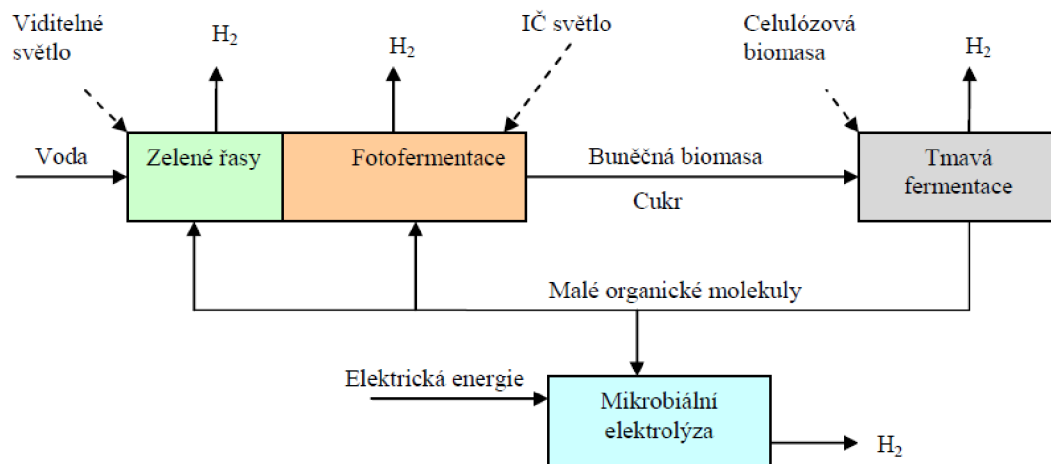
2.3.1. Fermentace [13]

- a. Tmavá fermentace v nepřítomnosti světla je přirozený děj, ke kterému dochází za anoxických nebo anaerobních podmínek. Organické látky jsou v tomto případě využívány jako primární zdroj vodíku a také jako zdroj energie. Různé druhy bakterií využívají v nepřítomnosti kyslíku redukci protonů na vodík k uložení elektronů z oxidace organických látek. Pro plné využití chemické energie substrátu jsou potřeba dva kroky. V první fázi je z organického substrátu produkován vodík pomocí vodíkové fermentace. V druhé fázi je pak z efluentu obsahujícího acetát získáván buďto bioplyn nebo pomocí fotofermentace vodík. Dále je vhodné využít biologicky nerozložitelné zbytky biomasy, které je obvykle možno spalovat. Tím se dosáhne dalšího zvětšení množství získané energie.
- b. Fotofermentace je proces, při kterém jsou organické látky, například acetát, bakteriemi přeměňovány na vodík a CO_2 za využití světla. Proces probíhá za anaerobních podmínek a může být snadno kombinován s vodíkovou fermentací popsanou výše, kde je acetát jedním z produktů. Jednou ze skupin mikroorganismů schopných fotofermentace jsou purpurové bakterie.

2.3.2. Mikrobiální výroba [13]

Výroba vodíku pomocí mikroorganismů je slibným, nicméně v celkovém pohledu poněkud nízkokapacitním způsobem jak vodík vyrábět. Velkou výhodou oproti např. výrobě uhlovodíkových biopaliv je využití vstupních surovin, které jsou jinak obtížně zpracovatelné (např. kaly z čistíček odpadních vod) a není potřeba využívat ornou půdu k produkci účelových plodin.

- a. V mikrobiálních reaktorech se používají bakterie. Dnešní moderní výzkumy experimentováním s vhodnou membránou dosahují účinnosti až 76 %. Mikrobiální elektrochemický článek obsahuje dvě elektrody a roztok (kterým ve zmíněných čistírnách odpadních vod může být odpadní voda), ve kterém jsou umístěny anaerobní bakterie
- b. Novější mikrobiální generátor přeměňuje část energie potřebné k vyvíjení vodíku ze styku sladké znečištěné a relativně čisté slané vody. Jejich rozdílný elektrochemický potenciál zakládá výměnu iontů na speciálních membránách za účasti katalyzátorů. Další energii dodají tzv. elektrogenní bakterie, které zpracovávají sladké odpadní vody. Loganův mikrobiální generátor pracuje s účinností kolem 60 % a z každého krychlového metru kapaliny vyrobí asi 0,8 až 1,6 krychlového metru plynného vodíku. Případná vodíková továrna by se tak zcela obešla bez vnějších zdrojů energie. Navíc by ještě dokázala odbourávat odpadní vody, což je určitě příjemný vedlejší efekt.



Obr.2 Možnost integrace biologického systému výroby vodíku [16]

3. VLASTNOSTI VYBRANÝCH LÁTEK

Vybrané látky jsou nezbytnou součástí technologie, se kterou se obeznámíme. Porozumnění klíčovým vlastnostem může vést k lepší představě o problematice.

3.1. Voda

Voda je na Zemi zastoupena ze 71%, kde většina vody se nachází ve formě oceánů. Pouze 6% vody je voda sladká, kterou lze rozdělit na povrchovou, podpovrchovou, atmosférickou a ledovcovou.

Molekula vody má chemickou značku H_2O a skládá se ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku.

Molekula je ve formaci tetrahedronu s vazebným úhlem $104,5^\circ$ a v pevné fázi tvoří dokonalý tetrahedron s vazebným úhlem $109,3^\circ$. Molekula vytváří silný dipól a lze ji polarizovat, kde vodík reprezentuje kladně nabitou část a kyslík záporně nabitou část. Díky tomu může vzniknout mezi molekulami vody slabá elektromagnetická vazba, nazývaná vodíkový můstek, která sdružuje molekuly vody do klusterů a nejčteněji vytváří $16 \times H_2O$. Díky těmto klusterům má voda známé fyzikální vlastnosti. Při přechodu na plynnou fázi tyto vazby zanikají. Tyto klustery mají svůj vlastní specifický tvar a lze je ovlivnit např. zvukovými frekvencemi. Po zamrznutí vzniká vodní krystal.

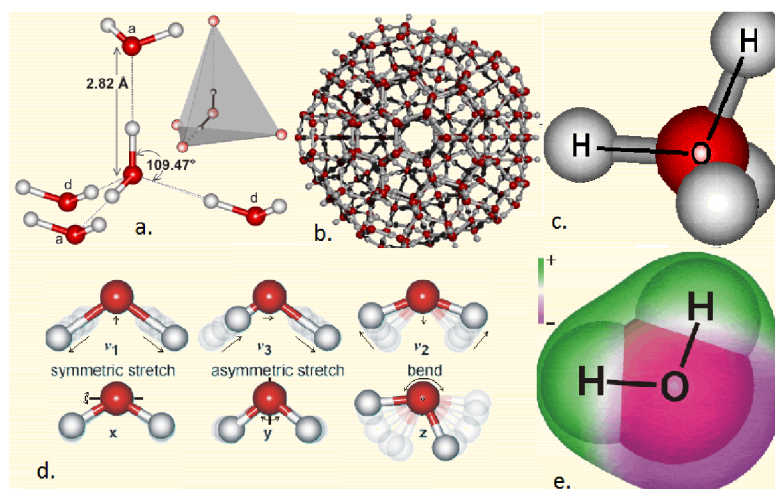
Část vody se nachází v disociovaném stavu, jako kladné a záporné ionty. Počet záporných a současně i kladných iontů určuje hodnota pH. Tento stav disociace byl pozorován u klusteru s počtem molekul vyšším než 105, které na sebe mohou vázat elektrony. [17]

Vodu lze rozdělit na lehkou, polotěžkou, těžkou a tritiovou. Liší se v zastoupení izotopu vodíku (protium, deuterium, tritium).

Vlastní vibrace vody lze rozdělit na simetrické, asimetrické, ohybové a jsou řádově v gigahertzích a spadají do spektra mikrovln. Na tomto principu jsou založeny mikrovlnné trouby, které vytváří elektromagnetické vlny, rozkmitávají molekuly vody a tím je způsobeno, že se voda zahřívá.

Nicméně existují záznamy o zařízení vynálezce Peter Davey, který před kamerami předvedl okamžitý var vody zvukovými frekvencemi [18] nebo parní rezonátor pana S.A. Meyera.

- V 1 m^3 vody je 111 kg vodíku
- Největší hustota vody je $0,999 \text{ g/cm}^3$ při 4°C
- Bod varu při 1 atm je 100°C
- Bod tuhnutí při 1 atm je 0°C
- Dielektrická konstanta vody při 20°C je 80,2 a 55,5 při 100°C



Obr.3 Schéma molekulové struktury vody [19]
 (a. vazbové uspořádání, b. struktury vody, c. molekula vody a její pláště,
 d. vlastní vibrace vody, e. elektrický náboj molekuly)

3.2. Vodík

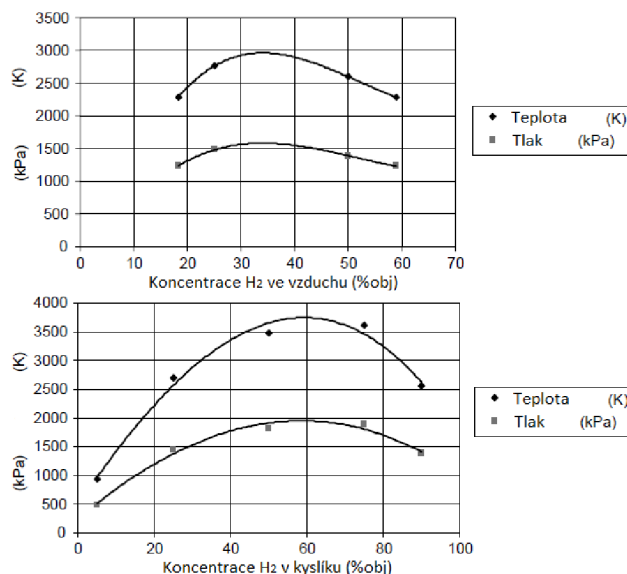
Vodík je velmi lehký a bezbarvý plyn, který se v přírodě čistý běžně nevyskytuje. Je netoxický a bez zápachu. Na Zemi se vyskytuje ve vázané formě především ve vodě a uhlovodících, protože samotný vodík je velice reaktivní a reaguje téměř se všemi prvky.

Vodík má 3 izotopy. Vodík, také nazývaný protium, obsahuje pouze proton a elektron. Další izotop Deuterium je složen z protonu, elektronu a neutronu. A poslední známý izotop Tritium, který je radioaktivní, je složen z protonu, elektronu a dvou neutronů.

Nové poznatky vědy vytváří nový pojem hydrino a jedná se o energeticky ochuzený vodík. Principem je snižování energetické hladiny vodíku za pomoci katalyzátoru, kde výsledkem je vyzáření fotonu a uvolnění vnitřní energie vodíku mnohonásobně větší než při běžném spalování. Takto ochuzený vodík je nazývána hydrino. Uznání tohoto faktu trvalo 11 let od roku 1989. [20]

- Molekula vodíku H_2 je vysoce hořlavý plyn s označením F+. Při explozi 1g vodíku v plynné fázi je ekvivalent energie 24 g TNT nebo 2 kg TNT na $1 m^3$.
- Hustota vodíku při 1 atm a $20^\circ C$ je $\rho_H = 0,08376 \text{ kg/m}^3$
- Bod varu vodíku je $-252,7^\circ C$
- Teplota potřebná k samovznícení $585^\circ C$ je poměrně vysoká avšak k explozi spíše dochází skrze elektrostatický výboj s iniciační energií vyšší než 0,2 mJ, kde tato energie je podstatně nižší než výboj na lidském, kde tato malá energie představuje nejvyšší riziko exploze.

- Rychlost hoření je maximálně $3,46 \text{ m/s}$ v porovnání s benzinem $0,42 \text{ m/s}$ je rozdíl skoro o jeden řád.
- Vstřikovací vzdálenost $0,64 \text{ mm}$ v porovnání s benzinem 2 mm může představovat riziko při zpětném zápalu.
- Energie uvolněná hořením vodíku při teplotě 25 °C je $\text{HHV}_H = 141,86 \text{ kJ/g}$. Rozlišujeme spalné teplo a výhřevnost, která je o $15,5 \%$ nižší. Hoření je exotermická reakce, při které probíhá oxidace. Výhřevnost vodíku při 15 °C je $\text{LHV}_H = 10\,050\,000 \text{ J/m}^3$.
- Průměrná teplota plamene je 2200 °C , vzniká poměrně slabé radiální záření a teplota je koncentrována v plamenu. Plamen je při běžném světle velice špatně viditelný a má namodralou barvu.
- Produktem spalování je přehřátá vodní pára.
- Vstřikovací otvor pro vodík je v závislosti na okolních podmínkách $0,6\text{-}0,076 \text{ mm}$
- Difuze vodíku ve vzduchu nepřesahuje 2 cm/s .
- Nevýhoda vodíku je v jeho velikosti. Je tak malý že dokáže procházet atomární mřížkou všech materiálů. Nejvíce je nebezpečný atomární vodík, který způsobuje křehnutí materiálu při sloučení atomárního vodíku a způsobuje tak lokální napětí, které má za následek praskání materiálu. V širším měřítku představuje velké riziko u tlakových nádob.
- Další problém je jeho skladování, kdy jsou zapotřebí velké objemy. Vodík lze stlačovat nebo zkvalifikovat při tlacích 250 bar , případně zmrazit v kryogenní nádobě.
- Při výrobě vodíku za standardních podmínek vzniká 75% orthovodíku a 25% paravodíku, kde orthovodík je energeticky mocnější a v průběhu času přechází po uvolnění tepla na paravodík
- Vodík má záporný Joule-Thomsonův koeficient, tudíž se při škrcení ohřívá.
- Mez výbušnosti s kyslíkem je při pokojové teplotě v rozmezí $4\text{-}75 \%$, kde toto rozmezí roste se zvyšující se teplotou (benzin $1\text{-}7,6 \%$).



Obr.4 Závislost teploty a tlaku na objemové koncentraci [14]

3.3. Kyslík

Kyslík je plyn, který oxiduje téměř všechny prvky a nejčastěji se vyskytuje v atmosféře ve formě O_2 , O_3 , dále ve vodě a v zmeské kůře ve formě oxidů různých prvků. Kyslík má další stopové izotopy s jedním nebo dvěma neutrony.

- Kyslík slouží jako oxidant, tvoří oxidy, účastní se hoření a způsobuje korozi
- Hustota kyslíku při 1 atm a 20 °C je $\rho_o=1,33 \text{ kg/m}^3$

3.4. Nerezová ocel

Nerezová ocel by se dala nazvat jako Chrom-Niklová ocel a běžně je označována dle normy např. :

- AISI 304L / EN 1.4306 / ČSN 17.249

Chemické složení :

- Chrom (Cr) 12-26 %
- Nikl (Ni) 8-22 %
- Železo (Fe) 46-74 %
- Minoritní prvky : Si, Mn, C, P, S, N
- Vhodná provozní hodnota pH se pohybuje v rozmezí 7,2-7,6
- Při určité koncentraci solí je narušována pasivní vrstva, která chrání před korozi

Toxické vlastnosti Ni a Cr :

Nikl a jeho sloučeniny patří mezi významné kožní alergeny, řada jeho sloučenin (NiO , Ni_2O_3 , NiO_2 , NiS , Ni_2S_3) je zařazena mezi karcinogeny kategorie 1. Mezi nejtoxičtější sloučeniny niklu patří tetrakarbonyl $Ni(CO)_4$.

Akutní otrava niklem se projevuje zejména poškozením zažívacího traktu a centrální nervové soustavy. Chronická otrava niklem se projevuje především onemocněním pokožky - niklový svrab.

Rozpustné sloučeniny šestimocného chromu patří mezi významně toxické látky a jsou zařazeny mezi karcinogeny. Dichromany jsou podle zákona v ČR klasifikovány jako vysoce toxické.

4. TECHNOLOGIE VÝROBY VODÍKU NA ZÁKLADĚ PATENTOVÉ REŠERŠE

Pro zvolenou technologii výroby vodíku byly vybrány 3 patenty (patentová rešerše uvedena v příloze 7.5.2), které popisují podobný princip výroby vodíku z vody nekonvenční elektrolýzou, která se neřídí Faradayovým zákonem o prošlém náboji v závislosti na vyloučené látce. Proto bude pro úplnost uveden i teoretický základ elektrolýzy. Celkový proces je založen na rezonančním obvodu, kde hlavním předmětem je výroba vodíku z vody kladným pulzujícím napětím.

Zvolená technologie výroby je nazývána elektricky polarizační proces (EPP) a je z velké části založena na patentech Stanley A. Meyera, který je předmětem zájmu od 90tých let. Touto technologií se v současnosti zabývá mnoho lidí např. Dave Lawton, Ravi Raju, Alex Petty, Russ Gries, Dr. Scott Crampton a další.

4.1. Elektrolýza vody

Elektrolýza je fyzikálně-chemický jev, způsobený průchodem stejnosměrného elektrického proudu kapalinou, při kterém dochází k chemickým změnám na elektrodách. Elektricky vodivá kapalina obsahuje směs kladných a záporných iontů, vzniklých v kapalině disociací. Průchodem elektrického proudu dochází k pohybu kladných iontů k záporné elektrodě a záporných iontů ke kladné elektrodě. Na elektrodách pak může docházet k chemickým reakcím.

Příklady využití elektrolýzy:

- Galvanické pokovování
- Rozklad chemických látek (elektrolýza vody za účelem výroby vodíku)
- Elektrometalurgie
- Elektrolytické čištění kovů
- Galvanické leptání

1. Faradayův zákon

Hmotnost látky vyloučené na elektrodě závisí přímo úměrně na elektrickém proudu, procházejícím elektrolytem, a na čase, po který elektrický proud procházel.

$$m = A \cdot I \cdot t \quad (1)$$

2. Faradayův zákon

Látková množství vyloučená stejným nábojem jsou pro všechny látky chemicky ekvivalentní, neboli elektrochemický ekvivalent A závisí přímo úměrně na molární hmotnosti látky.

$$A = \frac{M \cdot m}{F \cdot z} \quad (2)$$

Elektrolýzou vody dochází k rozkladu na vodík a kyslík. Pro dosažení co největší elektrické vodivosti se do vody přidává přísada elektrolytu. Rozklad vody se uskutečňuje podle stechiometrické rovnice:



Reakci na elektrodách můžeme vyjádřit rovnicemi:



Teoretická účinnost elektrolýzy :

$$\eta_t = \frac{\Delta H}{\Delta G} = \frac{286,26}{237,36} = 120\% \quad (6)$$

$$\Delta H = 286,26 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = 237,36 \text{ kJ/mol}$$

ΔH - je reakční entalpie při teplotě 25 °C

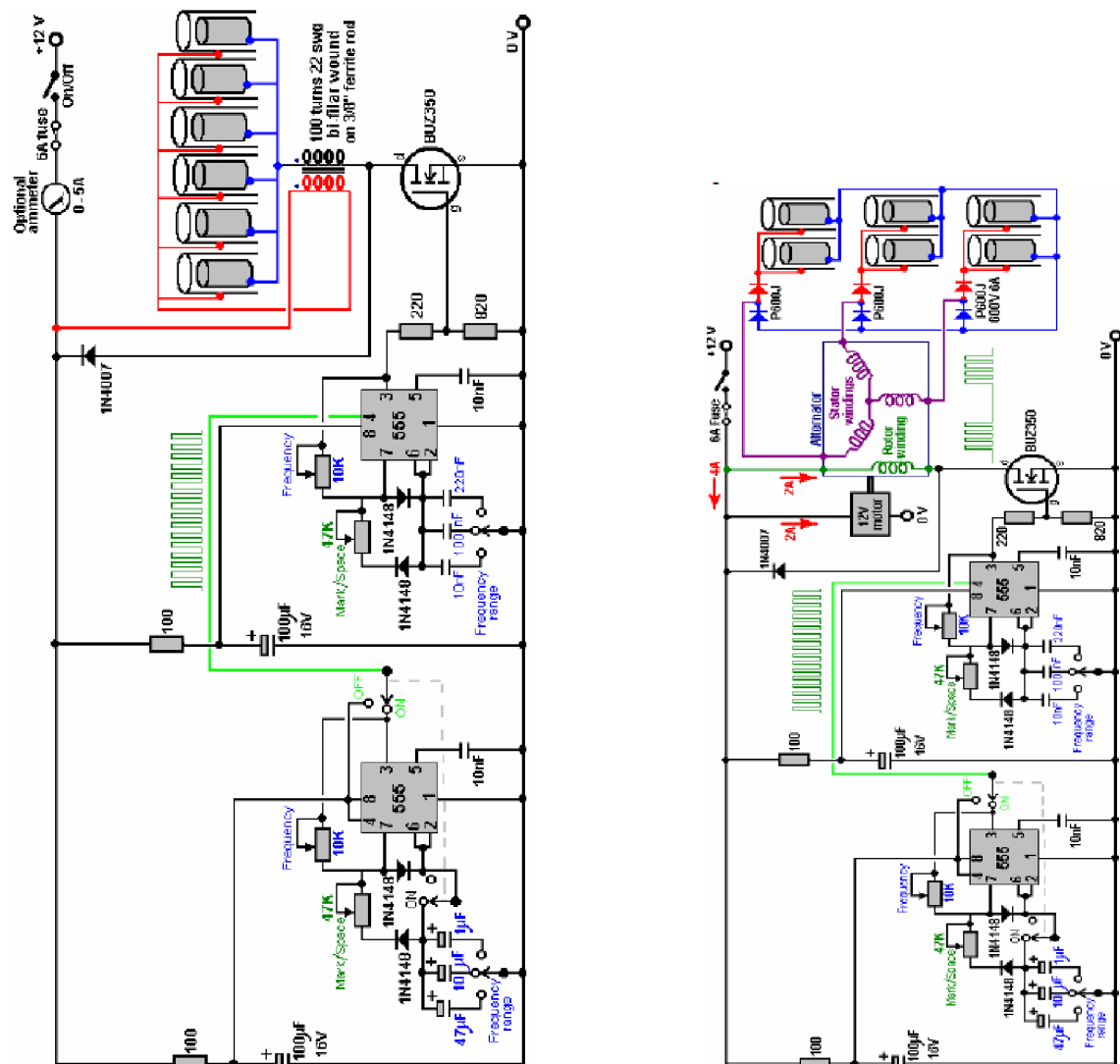
ΔG - je Gibbsova volná energie při teplotě 25 °C

Tento vztah (6) je prezentovaný v patentu [21] a může se zdát matoucí. Vztah platí bez uvažování změny entropie a prakticky je možné dosáhnout účinnosti $\Delta G / \Delta G = 100\%$.

Rozkladné napětí je teoreticky 1,24 V, avšak ve skutečnosti se toto napětí pohybuje v rozmezí 1,9-2,3 V. V závislosti na elektrickém napětí se energetická náročnost pro výrobu 1 m_N^3 vodíku a zároveň $0,5 \text{ m}_N^3$ kyslíku při standardních podmínkách pohybuje od $4,5 \text{ kW}_e$ do $5,45 \text{ kW}_e$.

4.2. Schéma elektronického obvodu

Schéma vytvořil Dave Lawton na principu S.A.Meyera a nejsou na něj vztahena žádná autorská práva. Celková účinnost tohoto systému má být 3-9x vyšší než elektrolyza.



Obr.5 Schéma elektronického obvodu [22]

Popis schéma :

Obě schéma mají stejnou elektrickou konstrukci. Liší se pouze zátěží, kde na prvním je použito bifilární vnutí a na druhém alternátor. První časovač 555 je nastaven, aby vytvářel hranaté unipolární kladné pulzy a má přepínač mezi třemi kondenzátory o nižších kapacitách. Jsou zde dva potenciometry, které slouží ke zvýšení amplitudy napětí a poměrem mezi mezerou a dobou jednotlivého pulzu. Druhý časovač 555 lze zapnout přepínačem a dělá totéž jako první, avšak za úkol má dělit pulzy na úseky, které umožňují

vytvářet pauzy, za pomoci vyšší kapacity kondenzátoru. Během pauzy může docházet ke zpětnému toku, kterému zabraňuje dioda.

Celý obvod potřebuje minimálně 12 V zdroj. Při použití 24 V je produkce vyšší.

Cívky navinuté před elektrodami slouží ke změně pulzu na velice ostrý a dosahuje až 1 200 V. Toto vysoké napětí zapříčiní přísun dodatečné energie z okolí.

4.3. Teoretický základ EPP

Tyto úvahy vychází z publikací [3,23], internetových publikací a archivních záběrů z konferecí S.A.Meyera, který byl oceňován v letech 1990-1994 jako vynálezce roku.

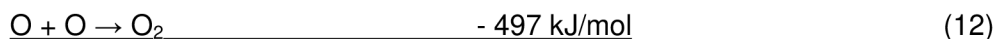
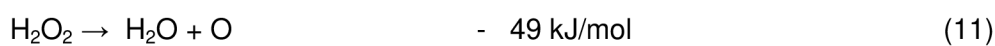
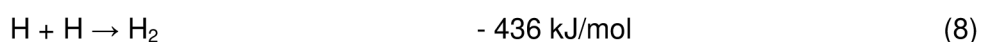
Cílem je dosáhnout kladného, postupně zvyšujícího napětí na elektrodách v kilovoltovém rozsahu a současně minimalizovat tok proudu, který je při tomto procesu nežádoucí. Tohoto efektu lze dosáhnout při rezonanci, která se řídí Thomsonovým vzorcem. Pulzujícím napětím se rozumí opakované zvyšování napětí, až po dosažení svého maxima. Tento děj probíhá v reaktoru, který je koncipován jako kondenzátor, kde voda slouží jako izolant díky své vysoké dielektrické konstantě. Při tomto stavu je na molekuly vody vyvíjena potenciální energie a díky polaritě vodních molekul je roztahována tak, že záporně nabitý kyslík je přitahován k anodě a pozitivně nabitý vodík ke katodě. Tímto roztahováním dochází k nucenému zvyšování energetických hladin elektronů, které absorbují energii ze svého okolí, až do překonání energie kovalentní vazby, ze které je elektron uvolněn. Po rozložení na elektrony a ionty je malá pauza, během které je umožněno sloučení a vytvoření plynu. Celý děj je uzavřený a volné elektrony jsou během pauzy znovu spotřebovány a celý děj se pak opakuje. Molekula vody má ve své struktuře dva vodíky a jeden kyslík, které se k sobě vážou elektromagnetickou silou a tvoří tak kovalentní vazbu. Tím, že kyslík absorbuje vodíkové elektrony se elektrony stávají součástí molekuly a obíhají oba atomy současně s 90% výskytem v atomu kyslíku. Ke zvýšení účinnosti popisovaného procesu lze dodávat vodě světelnou energii. Obecně je snahou udržet obvod v rezonanci, která je při neměnném obvodu a reaktoru závislostí teploty a konkrétních vlastnostech použité vody (dielektrická konstanta). Dodatečná energie potřebná k rozkladu vody je pravděpodobně z vakua, které se nachází v meziprostoru molekuly, ve kterém obíhají elektrony. Pokud jsou tyto elektrony vystaveny nestabilitě, automaticky doplňují svoji energii. Tento aspekt vychází především z pozorování nulového bodu, při kterém nelze dosáhnout absolutní nuly.

Objevují se i tvrzení, že cílem celého procesu je dostat vysoké napětí do molekul vody, než které jsou schopny absorbovat a způsobit tak dočasnou ztrátu dielektrika, kde při vybíjení se toto napětí přetvoří na proud a pravděpodobně lze takto dosáhnout nižšího rozkladného napětí.

V záznamu z roku 2007 s S.F.Meyerem (bratr S. A. Meyera) se mluvilo o teoretickém napětím 14V, které stačí k odtržení elektronu molekuly vody při určitém signálu. Také je držitel patentu na vodíkovou stanici. [24]

Existuje dokonce i studie Prof. R. M. Santilli [25], ve které se uvádí, že se nemusí jednat o vodík a kyslík, ale o novou formu molekuly vody, která má jinou konfiguraci bez kovalentní vazby, jako to mu je například u vazby H_3O^+ . Podmětem výzkumu byly poznatky Yull Browna, který si všiml rozdílných vlastností plynu.

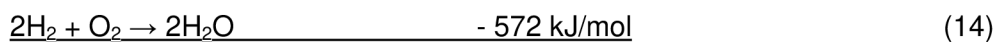
Podrobnější vysvětlení teorie spočívá v odebírání volných iontů, které se samovolně rozkládají a zase slučují. Výchozí předpoklad je, že čím vyšší odebírání iontů, tím více je voda vytváří. Zde mohou být molekuly stimulovány vysokými frekvencemi, při kterých mají molekuly vody vyšší šanci k disociaci. Tento proces vytváření je endotermický a energie, která způsobuje rozklad je neurčeného původu. Tento cyklus popisuje Born-Haberův cyklus, kde disociační energie molekuly vody na ionty je 494 kJ/mol, ionizační energie vodíku je 1312 kJ/mol, hydratace vodíkového iontu s vodou uvolní -1075 kJ/mol a energie vyloučeného elektronu na hydroxid uvolní -223 kJ/mol. Zmíněný proces je přirozený a hladina energie je v tomto bodě zvýšena na 508 kJ/mol. Teď se nacházíme ve stavu, kdy příroda do procesu přinesla energii. Tyto ionty se začnou odebírat podle následných reakcí, až do fáze spalování :



Celková reakce



$$2032 - 872 - 497 - 98 \quad 565 \text{ kJ/mol}$$



Energie obsažená a vydaná by měly být v rovnováze. Ve výpočtu vznikl rozdíl 7 kJ/mol , což způsobily nepřesné výchozí hodnoty. Pokud zajdeme do oblasti, kde tuto energii voda bere, lze tvrdit, že část energie bere právě ze slučování iontů. Jakkoli se zdá výsledek matoucí je třeba si uvědomit, že veškerá energie byla vytvořena přírodou a my ji můžeme zužítkovat v plném rozsahu spalování.

4.4. EXPERIMENTÁLNÍ ČINNOST

Celý experiment je založen na schématu s cívkou (obr.5) publikovaném Dave Lawtonem a ověřeném od Ravi Raju a v současnosti zdokonalovaném Dr. Scottem Cramptonem. Celkové náklady na aparaturu nepřesáhli 3 000 Kč a většina nákladů byla zaplácena z účasti Projektové kampaně 2011 ve výši 2 000 Kč. Experiment byl proveden po konzultacích na Ústavu Elektroenergetiky FEKT VUT a uskutečněn na Ústavu Elektrotechnologie FEKT VUT, kde je k dispozici potřebné příslušenství včetně měření průtoku.

4.4.1. Popis aparatury

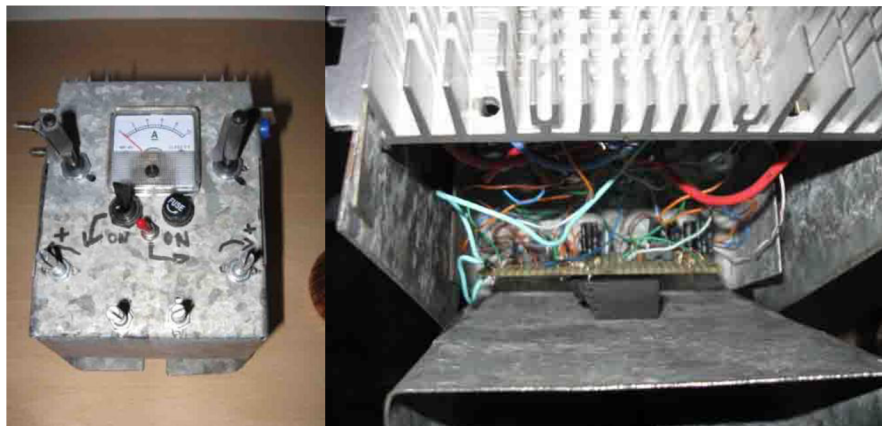
Veškeré hlavní součásti byly opatřeny, zhotoveny a částečně zprovozněny. Celé zařízení se skládá ze 4 částí:

I. Zdroj stejnosměrného proudu

Jako zdroj elektrické energie byl použit regulovatelný zdroj 0-24 V.

II. Generátor pulzujícího napětí

Elektrický obvod byl sestaven podle schématu (obr.5) s výjimkou konkrétního tranzistoru, který se nepodařilo sehnat. Celý obvod byl uložen do plechového pouzdra s chladičem. Při analýze na osciloskopu se podařilo dosáhnout frekvence 20kHz.



Obr.6 Pulzní generátor

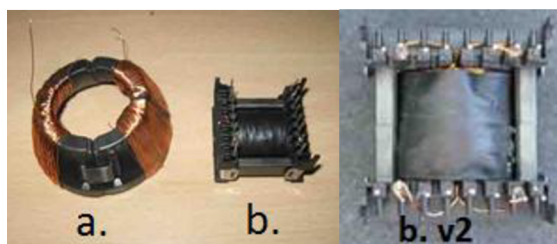
Přehled použitých součástek (II.) :

Komponent	Množství	Popis	Komentář
100Ω rezistor 0,25W	2	odpor uhlíkový	
220Ω rezistor 0,25W	1	odpor uhlíkový	
820Ω rezistor 0,25W	1	odpor uhlíkový	
100μF 16V	2	elektrolytický kond.	
47μF 16V	1	elektrolytický kond.	
10μF 16V	1	elektrolytický kond.	
1μF 16V	1	elektrolytický kond.	
220nF 16V (0,22μF)	1	foliový kondenzátor	
100nF 16V (0,1μF)	1	foliový kondenzátor	
10nF 16V (0,01μF)	3	foliový kondenzátor	
1N4148	4	dioda 75 V, 150 mA	
1N4007	1	dioda 1 000 V, 1 A	Ochrana tranzistoru
NE555 timer	2	časovač 555 DIL8	
8-pin socket	2	plastová patice	Ochrana pro 555
Tranzistor IRFP240	1	200 V, 20 A	Náhrada za BUZ350
47K variabilní rezistor	2	potenciometr 50K	
10K variabilní rezistor	2	potenciometr 10K	
4-cestný 3-polohový přep.	2	otočný přepínač	
1-přepínač	1	malý přepínač	Páčka
1-přepínač	1	hlavní vypínač 10 A	Páčka, tlačítko
Pojistka 6A	1	nebo jistič	ochrana obvodu
Pouzdro na pojistku	1		
Univerzální spojovací deska	1	20řad, 40děr/řada	Měděná
Plastový box	1	ochrana součástek	Byl použit plech
Hliněná deska	1	Chladič	Chladič pro tranzistor
Ampérmetr 10A	1	ručičkový měřič	Optimální rozsah 0-5 A
Spojovací kabely	-	různé velikosti	Měděné

III. Elektrické vinutí

a. Pulzní transformátor

Vinutí má sloužit jako step-up transformátor. Jako jádro byl použit transformátor z televize s primárním vinutím $\varnothing 0,5$ mm o délce 10 m a sekundárním vinutím $\varnothing 0,5$ mm o délce 30 m. Bohužel tuto část se nepodařilo doposud zprovoznit. Přestože na sekundárním vinutí vycházela viditelná jiskra. Celkový poměr závitů primárního a sekundárního vinutí by měl být v poměru 1:3-30. Odůvodnění je pravděpodobně ve špatně zvoleném jádru, které je dimenzováno na vyšší frekvence než je generátor schopen vytvořit. Je potřeba zkusit i měnič napětí.



Obr.7 Elektrické vinutí

b. Indukční cívky

Vinutí jsou dvě, z každé strany kondenzátoru jedno. Slouží jako odpor a jako indukční cívky umožňující rezonanci mezi cívkou a kondenzátorem. Pro řešení se použilo feromagnetické jádro a bifilární vinutí měděného lakovaného drátu o průměru 0,2 mm. Celková délka drátů vinutí je 115 m. Cívka je navinuta na základ o průměru 15 mm a délce 25 mm.

Součástí tohoto obvodu by měla být i dioda, umístěná před induktorem. Bohužel se nepodařilo sehnat konkrétní diodu a její náhrada nebyla konzultována. Nakonec byla použita dioda P600K.

Jako druhá varianta (Obr.7/b.v2) je bifilárně navinutý drát na stejný základ o průměru 0,6 mm a délce 24 m.

Seznam použitých součástek (III.) :

Komponent	Množství	Popis	Komentář
Měděný drát $\varnothing 0,2$ mm	1	Délka 115 m, lakovaný	Indukční cívka var. a
Měděný drát $\varnothing 0,6$ mm	1	Délka 24 m, lakovaný	Indukční cívka var. b
Feromagnetické jádro	1	$\varnothing 13$ mm, délka 25 mm	$\varnothing 10$ mm, délka 25-100 mm
P600K	1	Dioda 800V-10A-2,5ms	Má zdvojnásobit pulz
Televizní jádro	1	Toroidní $\varnothing 80 \times 30$ mm	Nevhodné (poměr 1:3)
Měděný drát $\varnothing 0,5$ mm	1	Délka 40 m, lakovaný	Pro transformator

IV. Reaktor

Reaktor byl sestaven z nerezových tyčí třídy 304L o vnějších průměrech \varnothing 18 mm a \varnothing 12 mm s tloušťkou stěny 1,5 mm. Na soustruhu byly vyrobeny tyče o délce 100 mm a 120 mm, delší tyč má na spodu vyřezán otvor pro cirkulaci vody a dále 4 silonová pouzdra pro sestavení 4 kondenzátorů. Do pouzdra byly vyvrtány 3 díry a 2 boční dírky, do kterých byly zavrtány upravené samořezné šrouby, sloužící jako spojovací vodič. Mezera mezi elektrodami je 1,5 mm. Kondenzátory jsou samostatné a je na ně nasazena hadice. Za výchozího předpokladu, že produkce plyné směsi je u všech stejná byla vyrobena jedna redukce, která se nasadí na hadici pro měření průtoku.



Obr.8 Reaktor

Přehled použitých součástí (IV) :

Komponent	Množství	Popis	Komentář
Trubka \varnothing 18x1,5 mm 304L	4	Délka 100 mm	Vnější elektroda
Trubka \varnothing 12x1,5 mm 304L	4	Délka 120 mm	Vnitřní elektroda
Silonová tyč \varnothing 24 mm	4	Délka 40 mm	Pouzdro pro elektrody
Silonová tyč \varnothing 24 mm	1	Délka 30 mm	Redukce pro průtok
Hadice	4	Délka 50-100 mm	Musí i těsnit
Samořezné šrouby	8	Elektricky vodivé	Vytváří elektrický kontakt

4.4.2. Popis a výsledky experimentu

Experimentální činnost je momentálně ve stádiu testování a bez pozitivních výsledků.

Momentální testování probíhalo bez vhodné diody a step-up transformátoru s destilovanou vodou v následujících krocích. Byla použita dioda P600K, ale nebyl pozorován nijak významný efekt. Cílem bylo nalezení rezonanční frekvence mezi vinutím a reaktorem.



Obr.9 Záběr na zapojený obvod

- I. Při testu s destilovanou vodou bez indukčních cívek, bylo při určitých frekvencích zaznamenáno pozvolné zvyšující se napětí. Na osciloskopu je viditelný signál v nedokonalých tvarech obdelníku a proud vyšší v závislosti na použitém napětí. Jako nežádoucí jevy byly pozorovány zrzavé částice. Pravděpodobně se jedná o oxidy chromu, kde se toto vylučování časem snižuje. Některé oxidy chromu jsou vysoce toxické. Po delším čase je na elektrodě viditelný bílý povlak, který pravděpodobně tvoří pasivní vrstvu proti korozi.
- II. Při testu s indukčními cívkami ($\varnothing 0,2$ mm) a vodou z kohoutku, bylo při určitém rozsahu frekvencí zaznamenáno střídavé přerušování proudu. Na osciloskopu je zaznamenáno pozvolné zvyšování napětí s amplitudou cca 16 V (při tomto testu byl použit jiný pulzní transformátor). Vzhledem ke krátkému času experimentování nejsou detailnější data. Objevilo se obrovské množství zrzavých částic s minimální produkcí plynů.
- III. Při testu s indukčními cívkami ($\varnothing 0,6$ mm) a destilovanou vodou, byl při napětím vyšším než 11 V pozorován efekt, během kterého se v destilované vodě začal zvyšovat proud i produkce plynů. Bohužel rozsah byl omezen na 12 V a lze očekávat další zvyšování produkce. Z teorie by měl nastat exponenciální nárůst produkce a v určitém bodě se má zastavit růst proudu.
- IV. Shrnutí:

Jako pomínutý aspekt, který nebyl diskutován, je nevykladění elektrod na stejnou akustickou frekvenci. Nebylo provedeno detailní měření ani analýza v obvodu. Tato část v tuto chvíli není aktuální. Hlavním cílem je dosáhnout vyšší produkce plynů, kterou lze pozorovat i pouhým okem bez měření průtoku. Po dosažení tohoto bodu, který se zjevně podařilo u druhé varianty vinutí je potřeba použít zdroj o vyšším napětí a zjistit jak se bude produkce vyvíjet. Protokol o měření bude jako vložená příloha (7.3.3).

4.5. Energetická bilance

Z vlastní experimentální činnosti doposud nejsou potřebná data k bilančnímu výpočtu.

Jako podklad k přibližné produkci může posloužit patent (z kapitoly 3.1.1.), ve kterém je uveden příkon a produkce ve formě vyvolaného tlaku za jednotku času v popsané nádobě s ilustrací. Zde je problémem určit, kde leží hladina vody a stanovit tak počáteční objem. Z výchozích rozměrů s předpokladem kopulovitého vrchlíku, byl stanoven objem. Hladina vody není stanovena a je to proměnná záležitost. Voda je brána jako nestlačitelná s konstantní hladinou. Z důvodu neurčitosti hladiny nelze brát výsledek jako bilanční základ. Hladina 6 cm pod kopulí a nižší vykazuje účinnost nad 100% (výpočet je zpracován v příloze na CD).

Z dokumentace údajně s výsledky měření na patentovém úřadě, lze nalézt informace o účinnosti prvotního modelu s indukčními cívkami. V části Napětová disociace vodních molekul v tubulárním uspořádání jsou následující data včetně schématu [24] :

- Vstupní parametry : 12,5 VDC a 40 A = 500 W
- Produkce plynů : 420 000 cm³/h
- Reaktor : 9 kondenzátorů o průměru 19 mm a 13 mm o délce 43 cm
- Účinnost v porovnání s teoretickou elektrolýzou : 1,7x vyšší

Druh vody	kyslík (%obj)	dusík (%obj)	vodík (%obj)	sodík (ppm)	draslík (ppm)	Kalorimetrická hodnota (kJ, 15,6 °C)
Říční voda	24,7	29,3	46,0	40	5	158,15
Městská voda	29,5	9,9	60,6	10	1	206,65
Podzemní voda	27,9	8,0	64,1	20	4	219,30
Voda z přehrady	30,0	4,1	65,9	17	3,2	225,63
Destilovaná voda	30,7	16,7	52,7			180,29
Oceánská voda	19,8	12,1	68,6	25 000	1100	235,12
Dešťová voda	32,0	9,6	58,4	15	1,1	200,33

Tab.1 Analýza plynné směsi a obsah sodíku a draslíku ve vodě [23]

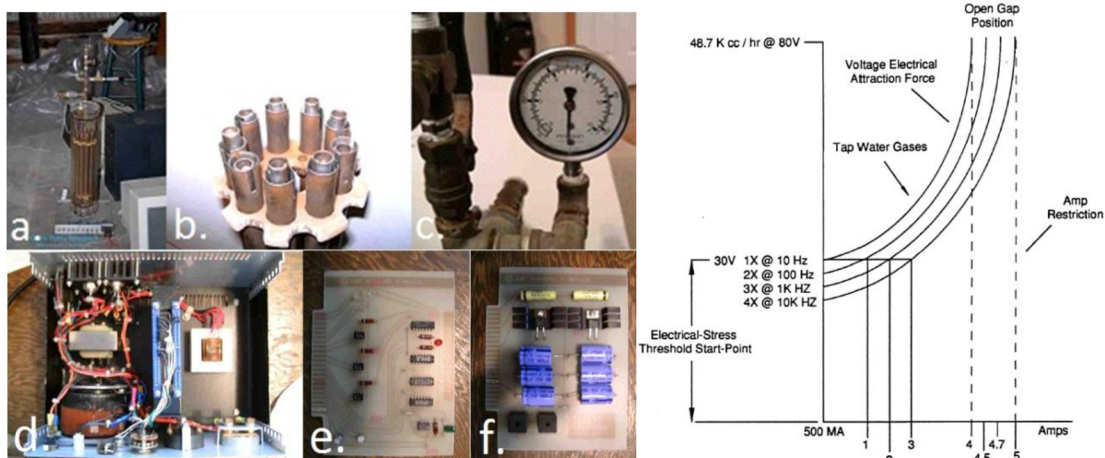
Vycházíme z příkonu a výkonu. Za předpokladu, že z celkového objemu plynu je 90 % kyslíko-vodíkové směsi, kde vodík je zastoupen ze $\frac{2}{3}$, se může stanovit objem vodíku na 252.000 cm³/h.

- Pro výrobu 1 m_N³ vodíku EPP je potřeba 1 984 W
- Pro výrobu 1 m_N³ vodíku elektrolýzou při 1,24 V je potřeba 2 937 W

Poměr EPP vůči elektrolýze :

$$poměr = \frac{elektrolýza}{EPP} = \frac{1\,984\,W}{2\,937\,W} = 1,48 \quad (15)$$

Z toho lze usoudit že EPP je 1,48x účinnější než teoreticky možná elektrolýza. Zde vznikla neshoda mezi patentovým úřadem, který uvádí poměr 1,7x.



Obr.10 Celkový pohled na originální aparát S.A.Meyera [26] a graf [23]
(a. aparát, b. pohled na elektrody, c. pohled na tlakoměr 0-100kPa_g, d. elektrický obvod, e. variátor pulzů, f. regulátor napětí)

V dokumentaci je i dopis od Dr. T. Nagypala, který píše o výsledcích popisované replikace technologie s údaji :

- příkon : 3-5 W (12 VDC)
- reakční plocha 15,24 cm²
- pulz 0,5-16 kHz
- amplituda napětí 600 V
- Produkce : 0,5-1 cm³/_{min}

Celý test měl potvrdit jen princip teorie rozkladu vody pomocí napětí. Z údajů lze vypočítat účinnost do 10 %, z čehož lze usoudit, že celkové provedení musí mít velké ztráty. Obhájení je v očekávání geometrického nárůstu produkce (Obr.10/graf).

Jako bilanční základ se konzervativně vzal výsledek z měření prvotního aparátu, ze zápisu na patentovém úřadě :

Produkce směsi	Produkce H ₂	Příkon
420 dm ³ / _h	252 dm ³ / _h	500 W _e

Tab.2 Výsledek EPP

Pro výrobu 1 m_N³ vodíku je potřeba cca 2 kW. V porovnání s běžnou výrobou pomocí elektrolýzy (4.1.) je potřeba 4,5 kW - 5,45 kW, kde je navíc použit elektrolyt. Při elektrolýze vzniká velké množství tepla, které je při EPP využito k rozkladu vody.

5. NÁVRH ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ

Jako základ pro energetické využití vodíku byly zvoleny 4 systémy. Každý systém bude podroben předběžnému návrhu, z kterého se určí základní parametry, které ovlivňují celkovou ekonomiku.

5.1. Všeobecné zásady a vlivy [27]

- bezpečnost (vlastnosti a rizika)
Detekce, jiskra, únik, manipulace, deflagrace, hasící systém, technologie, doba prodlevy, kontroly, opravy, čištění, alarm, školení,...
- materiály a stavby
Kel-F, Teflon, nerezová ocel, titan, měď
potrubí, nádoby, těsnění, svary, ventily, osvětlení, konstrukce, ventilace, filtry,...
- monitorování a detekce
Kontrola koncentrací, požární hlásiče, průtoky, teploty, tlaky,...
- skladování, doprava a přeprava
Flexibilní hadice, dilatační spáry, spoje, přenosové spojky, bezpečnostní ventily a disky, vyrovnávače tlaku, fléry, odvodušnění, odlučovače, kompresory, vakuum, kryogenika,...
- havárie
Selhání, exploze, požár, kontrolovaný/nekontrolovaný únik,...

5.2. Palivové články pro využití v méně náročných aplikacích

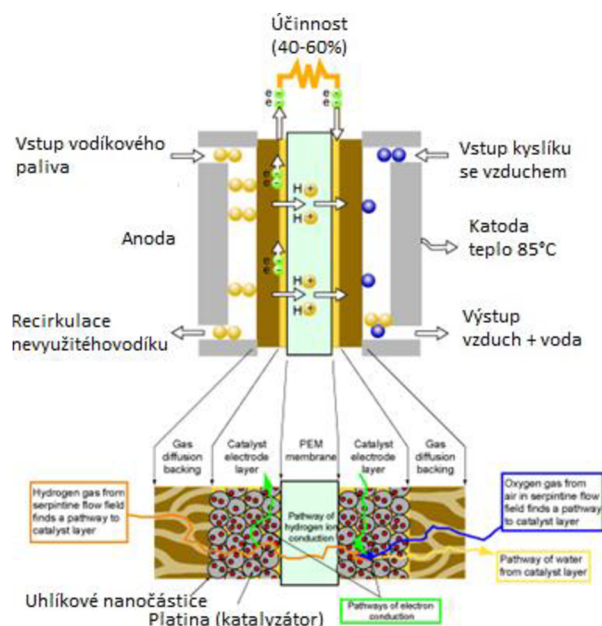
Palivové články slouží k získání elektrické energie z chemické reakce slučováním prvků. Může se jednat například o metan nebo vodík. Pro případ vodíku s kyslíkem vzniká pouze voda, za pomoci katalyzátoru. Katalyzátor slouží ke tvorbě vodíkových iontů, které putují skrze membránu. Vodík je na katalyzátoru rozložen na proton a elektron, kde proton putuje skrze membránu a elektron putuje skrze elektrický obvod, ze kterého získáváme elektrickou energii.

Přehled palivových článků :

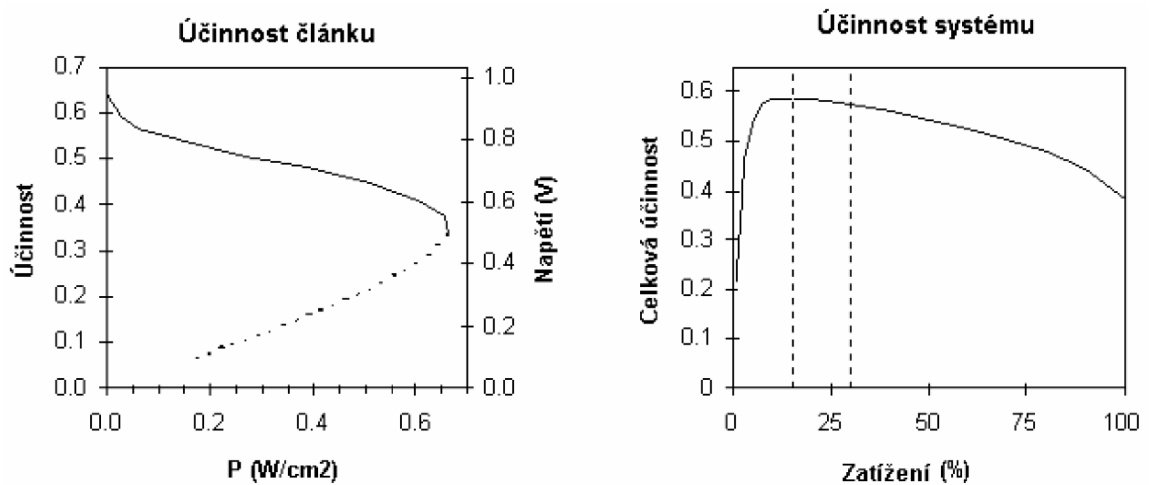
	AFC	DMFC	MCFC	PAFC	PEMFC	SOFC
Použitý elektrolyt	KOH	Polymerová membrána	Směs kapalných uhličitánů v LiAlO ₂	Kyselina fosforečná	Polymerová membrána	Keramická membrána
Teplota článku	60 - 90 °C	60 - 130 °C	650 °C	200 °C	80 °C	1000 °C
Účinnost	45-60%	40%	45 - 60%	35 - 40%	40 - 60%	50 - 65%
Výkon	<20 kW	<10 kW (Mobilní)	>1 MW (Elektrárna)	>50 kW (Elektrárna)	<250 kW (Doprava)	>200 kW (Elektrárna)

Tab.3 – Různé typy palivových článků [14]

- Vybraný typ palivového článku je PEMFC, ve které se používá platina jako katalyzátor.
- Pro PEM $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ jsou teploty reakce 85 °C
- Momentální rozsah účinností se pohybuje v rozmezí 40 – 60 %, kde se do budoucna počítá s celkovým zvýšením účinnosti na 80 % (s využitím odpadního tepla).



Obr.11 Schéma palivového článku PEM [14]



Obr.12 Přehled účinnostních charakteristik PEM [28]

- Maximální teoretická účinnost při 1atm a 25 °C :

$$\eta_t = \frac{\Delta G}{\Delta H} = \frac{237,36}{286,26} = 83\% \quad (16)$$

- očekávaná životnost palivových článků 5 000 hod
- množství katalyzátoru 1,5 – 4,5 mgPt/cm^2
- maximální přenosový výkon 0,65 W/cm^2 při účinnosti 40 %

Spotřeba vodíku pro PEMFC 250kW :

Tepelný výkon :

$$Q = P_e \cdot t = 250\,000\,W \cdot 3\,600s = 0,9 \frac{GJ}{h} \quad (17)$$

Množství vodíku :

- $\text{H}_2(1\text{ atm}, 25\text{ °C})$ $\text{HHV}_H = 141,86 \text{ kJ/g}$
- Účinnost palivového článku při 100 % zátěži : $\eta_{fc} = 40\%$

$$\dot{m}_H = \frac{Q}{\text{HHV}_H \cdot \eta_{fc}} = \frac{900\,000 \frac{kJ}{h}}{141\,860 \frac{kJ}{kg} \cdot 0,4} = 15,86 \frac{kg}{h} \quad (18)$$

Parametry aparátu při max. výkonu 250 kW :

Plocha elektrod :

$$S_e = \frac{P_e}{0,65 \frac{W}{cm^2}} = 384\,615 \text{ cm}^2 = 38,4615 \text{ m}^2 \quad (19)$$

Spotřeba katalyzátoru :

$$\left(15 \frac{g}{m^2} \div 45 \frac{g}{m^2}\right) \cdot 38,4615 \text{ m}^2 = 577 \text{ až } 1730 \text{ g} \quad (20)$$

Současná cena platiny ke dni 8. 5. 2012 je 37 300 €/kg

Potřebné množství aparátů pro výrobu vodíku :

$$\text{počet aparátů} = \frac{\dot{m}_H}{\rho_H \cdot 0,252 \frac{m^3}{h}} = \frac{15,86 \frac{kg}{h}}{0,08376 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,252 \frac{m^3}{h}} = 751 \quad (21)$$

Degradační mechanismy jsou ovlivněny:

- Chemickou nečistotou vstupujících medií
- Vysokou proudovou hustotou při zátěži
- Mechanickým opotřebením (tření iontů)
- Rozrušení povrchu membrány

Závěrem by se dalo říci, že PEM technologie s platinovým katalyzátorem je při vysokých výkonech neúčinná a poměrně drahá záležitost a na straně životnosti neperspektivní. Do budoucna by bylo vhodné nahradit platinu levnějším materiálem.

Jak již bylo naznačeno v bilančním výpočtu (4.5.), je potřeba minimálně 63 % elektrické účinnosti palivového článku, abychom získali 1,4 % elektrické energii navíc.

Perspektivnější řešení nabízí společnost Bloom Energy a jejich produkt typu SOFC, který používá levný katalyzátor. Výkon nabízených produktů je 1 kW - 2 MW. Jako nevýhodou je vysoká teplota reakce až 1000 °C. Jako možné řešení při vysokých výkonech, by bylo vhodné využít odpadní teplo v kombinaci s plynovou turbínou. [29]

5.3. Hořáky

Hořák je zařízení určené ke spalování zplyněných látek. Budeme se zabývat hořákem pro vodíkové palivo. V současnosti pro spalování vodíku existují hořáky, proto zde bude ukázka inovačního typu hořáku (obr.13).

Bylo by vhodné využít konvenční aparáty jako sporák nebo karma. Celkovou problematikou bude zvýšit rychlost proudění, snížit průtočný průřez, použití ochranných prvků, proti zpětnému zápalu nebo použít polopropustnou membránu. Vhodná membrána by měla být keramická s velikostí kanálku 76 μm .

U plynového sporáku byl naměřen průměr průtokového otvoru 17 mm. Cílem je dosáhnout rychlosti proudění kyslíko-vodíkové směsi vyšší, než je rychlost hoření vodíku.

Pro případ redukce průtočného průřezu lze počítat :

- produkce jedním reaktorem : $Q_V = 0,42 \text{ m}^3/\text{h}$
- rychlost proudění kyslíko-vodíkové směsi : $v = 3,46 \text{ m/s}$

Vstah pro objemový průtok :

$$Q_V = S \cdot v \rightarrow S = 33,718 \text{ mm}^2 \quad (22)$$

Vstah pro kruhový průřez :

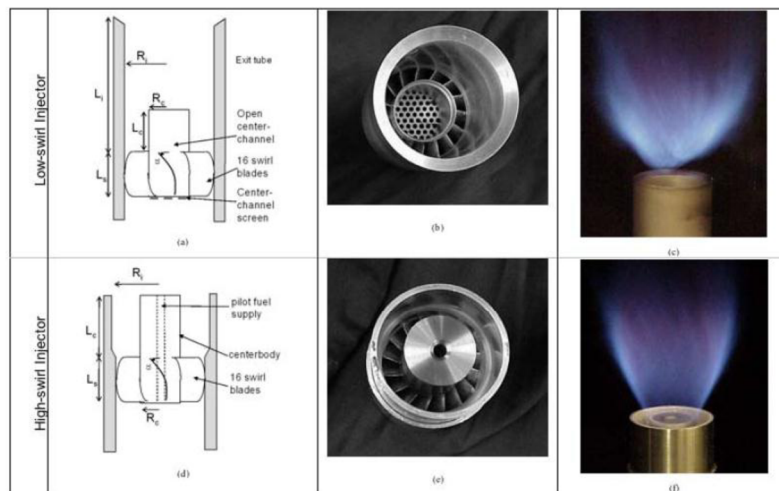
$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \rightarrow d = 6,55 \text{ mm} \quad (23)$$

Pro případ jednoho reaktoru, bez uvažování tlakových ztrát je potřeba vytvořit teoretický průtočný průřez o velikosti 33,72 mm^2 , kde tento průřez odpovídá otvoru o průměru 6,55 mm.

Výpočet hustoty kyslíko-vodíkové směsi (1atm, 20°C) :

$$\rho = \rho_H \cdot \frac{2}{3} + \rho_O \cdot \frac{1}{3} = 0,08376 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{2}{3} + 1,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{3} = 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (24)$$

- Při spalování vzniká vodní pára, která má velmi malou tepelnou radiaci. To například umožňuje použití plastových materiálů hořáku.
- Pro podporu rychlosti proudění by při novém návrhu měl být i prostor pro ventilátor.
- Ovlivnění plamene, je způsobena především spalovacím kyslíkem. Přebytek nebo nedostatek kyslíku má výrazný vliv na produkci emisí NO_x . Při nedostatečném množství kyslíku dochází k výrazně vyšší tvorbě emisí.



Obr.13 Možné řešení hořáku [30]

5.4. Spalovací motory pro dopravu

Spalovací motory slouží k přeměně termochemické energie na energii kinetickou. Lze je rozdělit na vznětové a zážehové. U zážehových motorů je zapalování pomocí svíčky a u vznětového je zapalování pomocí vyvolaného tlaku a dosažení teploty samovznícení. Je potřeba si uvědomit, že vodík má teplotu samovznícení 2x vyšší než nafta, což přináší výraznější komplikace k úspěšnému retrofitu než u motorů zážehových. Celkovou snahou je vytvořit bezpečný a spolehlivý systém, který by přinesl výrazně lepší provozní vlastnosti a ekologii. Současný vývoj směřuje ke spalování kapalného vodíku, především z důvodu jeho malé hustoty.

5.4.1. Pístové motory

Pro pístové spalovací motory, které dominantně spadají pod automobilový průmysl je vhodné vytvořit retrofit, který by zajistil provoz se stávajícími parametry paliva. Účinnost současných motorů je v rozmezí 10-35 %. Při pohonu na vodík je předpokládána účinnost vyšší (zapalování chudých směsí, reaktivita).

Parametry pístového motoru :

- střední indikovaný tlak
- zdvihový objem válce
- indikovaný výkon
- indikovaná účinnost
- měrná indikovaná spotřeba paliva
- ztrátový výkon

FSI - ÚPEI Návrh energetických systému využívajících vodík jako palivo

Tepelný oběh spalovacího motoru je ovlivňován :

- přestupem tepla mezi směsí a stěnami spalovacího prostoru
- změnou fyzikálních vlastností náplně během spalování a při změně teploty i tlaku
- konečnou rychlost spalování
- únikem pracovního média z válce
- konečnou rychlostí šíření rozruchů
- odpařováním paliva při kompresi (u kapalného paliva)

Pro nový návrh je potřeba stanovit :

- efektivní výkon
- počet otáček motoru
- kompresní poměr
- počet válců
- druh paliva

Pro výchozí model 4-dobého zážehového motoru o výkonu 55kW, který má spotřebu 7,2litrů pohonné hmoty můžeme založit zjednodušený výpočet energetické náročnosti pro pohon na vodík.

Popis	Stupeň komprese	Výkon (kW)	Při otáčkách (ot/min)	Točivý moment (N.m)	Při otáčkách (ot/min)	Spotřeba (l/100km)
Škoda Felicia 1,6 GLX	9,8	55	4 500	135	3 500	7,2

Tab.4 – Základní parametry vozidla [31]

Efektivní výkon při 3 500 $^{ot}/_{min}$:

$$P_{ef} = M_t \cdot \omega = 135 \text{ Nm} \cdot \frac{3\,500 \frac{ot}{min}}{60 \text{ s}} \cdot 2 \cdot \pi = 49,5 \text{ kW} \quad (25)$$

Ekvivalentní přepočítání spotřeby benzínu na spotřebu vodíku :

- Benzín kapalný : $LHV_B = 31\,150 \frac{kJ}{dm^3}$
- Vodík plyný (1atm, 15°C) : $LHV_H = 10\,050 \frac{kJ}{m^3}$

$$V_H = \frac{Q_B \cdot LHV_B}{LHV_H} = \frac{7,2 \text{ dm}^3 \cdot 31\,150 \frac{kJ}{dm^3}}{10\,050 \frac{kJ}{dm^3}} = 22,3 \text{ m}^3 \quad (26)$$

Výpočet externích zdrojů :

- Při 3500ot/min je rychlost přibližně 130 $\frac{\text{km}}{\text{hod}}$ a potřebné množství vodíku 22,3m³, musí být vytvořeno za dobu 0,77 hod = 46 min
- Jeden aparát produkuje 0,252 m³/h vodíku se spotřebou 500 W_e

$$\text{počet aparátů} = \frac{22,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,252 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,77 \text{h}} = 115 \quad (27)$$

$$\text{příkon aparátů} = 115 \cdot 500 \text{ W}_e = 57,5 \text{ kW}_e \quad (28)$$

Spotřeba vody na 100km :

- Objem H₂ : $V_H = 22,3 \text{ m}^3$
- Hustota H₂ (1atm, 20°C) : $\rho_H = 0,08376 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Hustota vodíku ve vodě : $\rho_{\text{Hvoda}} = 111 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$V_{\text{voda}} = \frac{V_H \cdot \rho_H}{\rho_{\text{Hvoda}}} = 0,0168 \text{ m}^3 \rightarrow 16,8 \text{ litrů} \quad (29)$$

Výpočet objemových průtoků motorem :

- Objem válců : $V_{\text{zdvih}} = 0,0016 \text{ m}^3$
- Otáčky motoru : $n = 3 \text{ 500} \frac{\text{ot}}{\text{min}}$
- Doba běhu motoru : $t = 60 \text{ min}$
- Počet sání na otáčku motoru : $s = 2$

$$\text{Celkový průtok} = \frac{V_{\text{zdvih}}}{s} \cdot n \cdot t = 168 \text{ m}^3 \quad (30)$$

$$\text{Průtok vytvořený aparáty} = \text{počet aparátů} \cdot 0,42 \text{ m}^3 = 48,3 \text{ m}^3 \quad (31)$$

$$\text{Celkový přebytek vzduchu} = 168 \text{ m}^3 - 48,3 \text{ m}^3 = 119,7 \text{ m}^3 \quad (32)$$

$$\text{Celkové množství kyslíku} = 48,3 \text{ m}^3 \cdot \frac{0,9}{3} + 119,7 \text{ m}^3 \cdot 0,21 = 39,6 \text{ m}^3 \quad (33)$$

$$\text{Přebytek kyslíku pro spalování s vodíkem} = \frac{39,6 \text{ m}^3 \cdot 2}{22,3 \text{ m}^3} = 3,5 \quad (34)$$

Byla vypočtena spotřeba 16,8 litrů čisté vody s požadavkem 115 aparátů o příkonu 57,5 kW, za předpokladu, že aparát neumožňuje vyšší výkon 9 kondenzátorů o průměru 19 mm a délce 430 mm. Takovéto požadavky pro provoz konkrétního automobilu, za konkrétních podmínek je nerealizovatelné i přesto, že se dá očekávat vyšší účinnost při použití vodíkového paliva. Pro představu, alternátor je schopen generovat 1 kW_e, tudíž je nutné snížit energetickou náročnost EPP o jeden řád. Podle patentu WO9207861 to možné je [32].

FSI - ÚPEI Návrh energetických systému využívajících vodík jako palivo

Vzhledem k bezpečnosti zpětného zápalu a nemožnosti využití ve vznětových motorech, by bylo zajímavým řešením celkový systém navrhnout jako vstřikování přímo do válce, ve kterém by proběhl rozklad vody a následné spálení, což by mohlo být aplikovatelné pro všechny motory. Toto řešení je možné pouze za předpokladu že EPP má exponenciální nárůst produkce vodíku.

Auto poháněné vodou, o malých rozměrech aparátu s technologií EPP, bylo nezávislou televizí natáčeno během jízdy po dobu 34minut.



Obr.14 Demonstrační technologie S.A.Meyera [26]

(a. dune buggy/objem 1,6dm³, b. pohled na kompletní jednotku WFC, c. ionizátor/GasGun, d. reaktor/WFC, e. elektrody, f. pulzní generátor a zesilovač napětí/VIC)

5.4.2. Utilizace spalování

Zlepšení palivové charakteristiky k lepšímu vyžití je v podobě zvýšení energie paliva nebo úpravě rychlosti hoření.

a. Zvýšení energie paliva

Zvýšení energie paliva má za následek snížení spotřeby. Jako dostupně známá metoda je přehřevem paliva nebo spalovacího vzduchu. Avšak zde bude popsána metoda S.A.Meyera (obr.14/c.), která neovlivní tepelné ani objemové parametry. Mělo by to být zajištěno ionizováním vstupního kyslíku, kde při sloučení tuto ionizační energii vyzáří. Jedná se o slučování, za nestandardních podmínek. Bohužel se nepodařilo najít potřebnou studii, tak je potřeba vytvořit teoretický model.

Při ionizaci je potřeba dostat fotony do atomu, kde tento foton je absorbován elektronem, který získává energii a vzdaluje se tak od jádra.

Počet elektronů	3	4	5	6	7	8
Ionizační energie, eV	138,1	113,9	77,4	54,9	35,12	13,62

Tab.5 Energetické hladiny elektronů kyslíku [15]

- $1 \text{ eV} = 1,60217646 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- $N_a = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ molekul/mol}$
- $1 \text{ kmol} = 22,414 \text{ m}_N^3$

Ionizační energie osmého elektronu molekuly kyslíku v 1 molu je potřeba :

$$E = 2 \cdot 13,62 \text{ eV} \cdot 1,60217646 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot N_a = 2 \ 628 \ 218 \ \text{J/mol} = 117,258 \ \text{kJ/m}_N^3$$

Světelnou energii dodáme do molekul kyslíku, která vyloučí elektrony. Bude energie uchována v elektronu nebo v kyslíku? Pokud energie bude v kyslíku, získáme vyšší energii při spalování? Pokud bude energie v elektronu, dostaneme energii při spalování nižší? A lze tyto elektrony zachytit a získat z nich energii? Možná se jedná jen o způsob, jak vytvořit atomární částice, které se během spalování sloučí a zvětší tak svůj objem. Pokud se podaří rozložit molekuly na atomy, je možné tuto technologii použít i k rozkladu nebezpečných molekul?

b. Úprava rychlosti hoření

Rychlosti hoření je potřeba snížit kvůli vysoké reaktivitě vodíku. Vysoká rychlost hoření má za následek náhlé tlakové rázy, které pravděpodobně snižují životnost spalovacího motoru. Jelikož běžné automobily mají časování zápalu před horní úvratí, je nutností změnit časování.

Rychlost hoření lze snížit tak, že do směsi se přidají nespalitelné látky, které blokují ve srážce molekul kyslíku s vodíkem.

5.5. Fúzní reaktory

V této části proběhne přehled současného stavu technologie, která má řešený ohřev pomocí elektrické energie. Snahou bude zajistit výrobu vodíku a snížit provozní náklady pomocí vodíkového ohřevu.

Jedná se o potenciální zdroj jaderné energie z vodíku, vhodného kovu a katalyzátoru. Na této problematice pracuje Andrea Rossi od roku 1990. Pro představu o technologii jsou uvedeny informace z webových stránek a vydaného patentu pro technologii E-Cat [7,33].

ECAT palivo (Ni-H) v porovnání s ropou :

- Cena : $\frac{1}{1000}$ ceny ropy
- Potenciální energie : 100 000 x vyšší než ropa
- Energetická hustota : $100 \frac{\text{kW}}{\text{litr}}$
- Odhadované světové rezervy na 10 bilion let, ropa 150 let
- Žádné emise, znečištění, hluk
- 1 litr paliva Ni-H = 2 000 000 litrů ropy
- Nízké náklady na provoz a údržbu
- Nízké náklady na dopravu paliva (pouze 2 náplně/rok při nepřetržitém provozu)

Princip :

Nejnovější design reaktoru má velikosti 20x20x4 cm. Práškový nikl, vodík a katalyzátor je uvnitř a kolem pláště proudí chladící voda s bórem. Práškový nikl s katalyzátorem je umístěn v reakčním prostoru a udržován při tlaku 2-20 bar. Do tohoto prostoru se zavádí plynný vodík. Je zapotřebí externí zdroj tepla pro aktivaci reakce 150-500 °C. Tepelný zdroj je umístěn mezi reaktorem a pláštěm. Plášť je z olova. Jako produktem reakce vznikají elementární prvky mědi s nízkou radioaktivitou (Cu_{59-64} ; pouze 2 jsou stabilní) a železa.

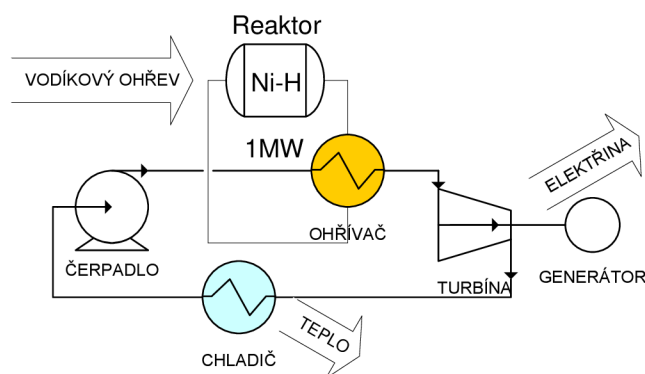
Technické parametry jednotky o výkonu 1 MW_t :

- Dimenze rozměru : 2,4x2,6x6 m (52 modulů)
- Výkon jednoho modulu : 20 kW_t
- Maximální příkon : 200 kW_e (167 kW_e průměr)
- Vstupní teplota vody : 4-85 °C
- Výstupní teplota vody : 85-120 °C
- Cenové náklady na provoz a údržbu : $1 \text{ \$/MWh}$
- Cenové náklady na palivo : $1 \text{ \$/MWh}$
- Vzniklá radioaktivita má malý poločas rozpadu

Předpoklady :

- Předpokládá se, že celková reakce bude omezena bodem tání niklu 1 455 °C.
- Velkou část tepla vytváří olovo, které absorbuje gama záření.(oficiální teorie nebyla doposud zveřejněna)
- Maximální dosažená teplota reaktoru je 500 °C
- Reaktor běží na $\frac{1}{3}$ svého nominálního výkonu (především kvůli stabilitě a bezpečnosti)
- Dosažená stabilita reakce při výstupu páry 260 °C (4 reaktory v sérii)
- Předpokládaná životnost 30let
- Spotřeba surovin za 6 měsíců : 10 000 g Ni a 18 000 g H
- Cena práškového niklu 1 Kč/g
- Možnost změnit externí zdroj tepla (na místo elektrického ohřevu)
- Investiční náklady : 30 000 000 Kč

Podle zjednodušeného schématu pro výchozího parametru páry (260 °C, 4,5 MPa), bude spočten hmotnostní průtok vody, mechanický výkon turbíny, elektrický výkon generátoru, příkon čerpadla, vodíkový ohřev, počet aparátů pro výrobu vodíku, spotřeba paliva pro fúzní reakci, tepelný výkon a ekonomická bilance.



Obr.15 Schéma integrovaného system E-Cat

Výpočet spotřeby vody pro zvolené parametry páry o teplotě 260 °C a tepelného výkonu reaktorů 1 040 kW_t :

- | | |
|---|---------------------------------|
| • Entalpie vstupní napájecí vody(1 atm) 85 °C | $H_{in} = 356 \text{ kJ/kg}$ |
| • Entalpie výstupní páry (4,5 MPa) 260 °C : | $H_{out} = 2 809 \text{ kJ/kg}$ |
| • Výkon ohřevu : | $P_t = 1 040 \text{ kW}$ |

$$\dot{m} = P_t \cdot \frac{3600 \text{ s}}{(H_{out} - H_{in})} = 1526,3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,424 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (35)$$

Výpočet mechanického výkonu na turbíně pro zvolené parametry :

- Entalpie vstupní páry(4,5MPa) 260 °C $H_{in} = 2\,809 \text{ kJ/kg}$
- Výstupní tlak páry 58 kPa $H_{out} = 1\,954 \text{ kJ/kg}$
- Efektivní účinnost isoentropického spádu $\eta_{ef} = 72\%$

$$P_m = \dot{m} \cdot (H_{in} - H_{out}) \cdot \eta_{ef} = 0,424 \cdot 855 \cdot 0,72 = 261 \text{ kW}_m \quad (36)$$

Elektrický výkon generátoru s účinností $\eta_g = 98\%$:

$$P_e = P_m \cdot \eta_g = 261 \text{ kW}_m \cdot 0,98 = 256 \text{ kW}_e \quad (37)$$

Příkon čerpadla pro vypočtené parametry :

- Průtok vody/páry : $\dot{m} = 0,424 \text{ kg/s}$
- Výtlačný výška : $H = 450 \text{ m} \rightarrow 4,5 \text{ MPa}$
- Gravitační zrychlení : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Účinnost čerpadla (zvolená) : $\eta_{\check{c}} = 20 \%$

$$P_{\check{c}} = \frac{\dot{m} \cdot H \cdot g}{\eta_{\check{c}}} = 9\,366 \text{ W} \quad (38)$$

Potřebné množství vodíku pro ohřev :

- Elektrický příkon elektrického ohřevu : $P_e = 200 \text{ kW}$
- Doba ohřevu 1 hodina : $t = 3\,600 \text{ s}$

$$Q = P_e \cdot t = 720 \text{ MJ} \quad (39)$$

- Výhřevnost H_2 (1atm, 15°C) : $LHV_H = 10\,050 \text{ kJ/m}^3$

$$V_H = \frac{Q}{LHV_H} = \frac{720\,000 \text{ kJ}}{10\,050 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}} = 71,64 \text{ m}^3 \quad (40)$$

Potřebný počet aparátů a potřebný příkon na ohřev :

$$\text{počet aparátů} = \frac{71,64 \text{ m}^3}{0,252 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 284 \quad (41)$$

$$\text{příkon aparátů} = 284 \cdot 0,5 \text{ kW} = 142 \text{ kW}_e \quad (42)$$

FSI - ÚPEI Návrh energetických systému využívajících vodík jako palivo

Spotřeba vodíku a niklu jako paliva pro fúzní reakci :

- rok, měsíc, den, hodina

$$\text{Spotřeba vodíku} = \frac{18\,000\text{ g}}{6\text{m}\cdot 30\text{d}\cdot 24\text{h}} = 4,2 \frac{\text{g}}{\text{h}} \rightarrow 0,349 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (43)$$

$$\text{Spotřeba niklu} = \frac{10\,000\text{ g}}{6\text{m}\cdot 30\text{d}\cdot 24\text{h}} = 2,3 \frac{\text{g}}{\text{h}} \rightarrow 2,3 \frac{\text{Kč}}{\text{h}} \quad (44)$$

Tepelný výkon :

$$P_t = \dot{m} \cdot \frac{(H_{\text{out}} - H_{\text{in}})}{3600} = 0,424 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(1954 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 356 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 677 \text{ kW}_t \quad (45)$$

Jednotku o výkonu 1 040 kW_t za výchozích podmínek, lze teoreticky využít k získání 256 kW_e elektrické energie a 677 kW_t tepelné energie s interní spotřebou 153 kW_e.
Index distribuce elektrické energie :

$$\text{distribuce} = \frac{(256 \text{ kW}_e - 153 \text{ kW}_e)}{(256 \text{ kW}_e - 200 \text{ kW}_e)} = 1,84 \quad (46)$$

Ekonomická bilance za výchozích předpokladů :

- Prodejní cena : $1 \text{ kW}_t = 0,1 \text{ Kč}$
 $1 \text{ kW}_e = 3 \text{ Kč}$
- V investičních nákladech není zahrnuta cena turbíny, čerpadla, aparátů a údržby.
- V prodeji není zahrnuta cena odpadních prvků mědi a železa.

$$\text{ekonomika} = \frac{\text{Investiční+provozní}}{\text{prodej tepla+prodej elektřiny}} \quad (47)$$

$$\text{ekonomika} = \frac{30\,000\,000 \text{ Kč} + (30 \cdot 365 \text{ d} \cdot 24 \text{ h} \cdot 2,3 \frac{\text{Kč}}{\text{h}})}{30 \cdot 365 \text{ d} \cdot 24 \text{ h} \cdot (0,1 \text{ Kč} \cdot 677 \text{ kW}_t + 3 \text{ Kč} \cdot (256 \text{ kW}_e - 153 \text{ kW}_e))} = \frac{30\,604\,440 \text{ Kč}}{98\,996\,760 \text{ Kč}} = 0,31$$

Při výchozích předpokladech a zjednodušení, lze počítat s návratností investice za 9 let a 105 dnů. Hrubý zisk za dobu 30 let při zachování cen bude 68 392 320 Kč.



Obr.16 52 reaktorů o výkonu 1MW_t [7]

6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo experimentálně ověřit perspektivní řešení výroby a využití vodíku, založené na nekonvenčním principu elektrolyzy a navrhnout způsoby využití vodíku. Vzhledem k omezeným možnostem pracovat s elektrickými pomůckami se experiment doposud nepodařilo dotáhnout do zdárného konce objasňujícího efektivitu procesu. Během návrhů vhodných energetických systémů byly vytipovány palivové články, hořáky, spalovací motory a fúzní reaktory. Jako zvolený zástupce palivových článků je PMEFC, kde se při výpočtu ukázala veliká nehospodárnost katalyzátoru. Jako doporučení by bylo vhodnější použít palivový článek typu SOFC od společnosti Bloomenergy. Hořáky určené pro spalování vodíku jsou jednoduché zařízení a nebyla jim věnována příliš velká pozornost, pouze bylo poukázáno na odlišnost charakteristiky vodíkového spalování. U spalovacích motorů byl proveden výpočet na 4-dobém zážehovém motoru, kde výsledky poukázaly na vysokou energetickou náročnost a utvrzení k tomu, že vybraný automobil je neúčinný spotřebič energie. Jako poslední aspekt energetického systému jsou fúzní reaktory, které mají před sebou perspektivní budoucnost. Energetický zisk fúzního reaktoru je 6-18x vyšší než jeho vlastní spotřeba. K vůli bezpečnosti je první komerční jednotka o výkonu 1 MW_t na 1/3 svého maximálního výkonu. Celková reakce je bezpečná, nevytváří se vysoká radioaktivita, nepoškozují se životní prostředí (kromě těžby paliva) a nehrozí havárie, protože při roztavení paliva se reakce zastaví. Celkovou reakci lze regulovat s časovou prodlevou jedné hodiny. Jako vedlejší produkty reakce jsou 2 stabilní prvky mědi a železo. Otázkou je, za jak dlouho tyto jednotky nahradí konvenční paliva a jestli tuto technologii lze použít na rozložení nebezpečných odpadů.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Big Oil conspiracy! 376 mpg 1959 Opel uncovered!. Practical Guide to Free-Energy Devices [online]. August 29, 2008 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://thecrit.com/2008/08/29/big-oil-conspiracy-376-mpg-1959-opel-uncovered/>*
- [2] *GEET Reactor by Paul Pantone. Rex Research [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: [http://peswiki.com/index.php/Directory:GEET Reactor by Paul Pantone](http://peswiki.com/index.php/Directory:GEET_Reactor_by_Paul_Pantone)*
- [3] *The Birth of New Technology: Explaining the hydrogen fracturing process on how to use water as new fuel-source [online]. 1995 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: www.globalkast.com/docs/The%20Birth%20of%20New%20Technology%20-%20S.Meyer.pdf*
- [4] *Aparatus for producing orthohydrogen and/or parahydrogen [patent]. Chambers, US 6,126,794. Uděleno 3.1.2000.*
- [5] *NUCLEAR TRANSMUTATION FROM LOW-VOLTAGE ELECTRICAL DISCHARGE: Paper presented at the MIT Cold Fusion Conference [online]. 2005 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: www.drjudywood.com/pdf/050521_EVOsHutchisonEffect.pdf*
- [6] *VENTURA, Tim. John Hutchison: American Antigravity.Com. Some of the stories that I write are about science; and others about experiences. This story covers a bit of both, but it's really about sharing, community-activism, and how one person can make a difference and inspire others to follow in kind. Get ready for a behind the scenes exposé on the remarkable work of John Hutchison, and how the media could get a story so incredibly wrong... [online]. 2005, s. 31 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: www.americanantigravity.com/files/articles/John-Hutchison.pdf*
- [7] *ECAT: COLD FUSION REVOLUTION [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://ecat.com/>*
- [8] *AMPLIFICATION OF ENERGETIC REACTIONS [patent]. Ahern, WO 2011/123338 A1. Uděleno 6.10.2011.*
- [9] *Directory:Blacklight Power. PESWiki.com -- Pure Energy Systems Wiki: Finding and facilitating breakthrough clean energy technologies. [online]. 2008 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://peswiki.com/index.php/Directory:Blacklight Power](http://peswiki.com/index.php/Directory:Blacklight_Power)*
- [10] *FREEDMAN, Samuel. A New Alloy for the Science Students. Free Energy [online]. 1957 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: www.free-energy.ws/pdf/chemalloy.pdf*
- [11] *Directory:MIT:Daniel Nocera:Catalytic Electrolysis: Electrolysis Breakthrough for Solar Storage. PESWiki.com -- Pure Energy Systems Wiki: Finding and facilitating breakthrough clean energy technologies. [online]. 2008 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://peswiki.com/index.php/Directory:MIT:Daniel_Nocera:Catalytic Electrolysis](http://peswiki.com/index.php/Directory:MIT:Daniel_Nocera:Catalytic_Electrolysis)*

- [12] Tisková zpráva: NASTÁVÁ ZAČÁTEK KONCE FOSILNÍCH PALIV. NEJLEVNĚJŠÍ, ČISTÉ VODÍKOVÉ PALIVO Z VODY SE PRÁVĚ STALO SKUTEČNOSTÍ. Tiskoviny.info: SERVIS PRO NOVINÁŘE [online]. 12. 12. 2010 [cit. 2012-05-20].
Dostupné z: <http://www.tiskovky.info/tiskove-zpravy/nastava-zacatek-konce-fosilnich-paliv-nejlevnejsi-ciste-vodikove-palivo-z-vody-se-prave-stalo-skutecnosti>
- [13] JANÍK, Luděk a Petr DLOUHÝ. Jak se vyrábí palivo budoucnosti: Vodík pro auta i elektroniku. In: Technet [online]. 28. 1. 2008 [cit. 2012-05-20].
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
- [14] Hydrogen fuel: production, transport, and storage [online]. Editor Ram B Gupta. Boca Raton: CRC Press, 2009, 611 s. [cit. 2012-05-04]. ISBN 978-1-4200-4575-8.
Dostupné z: www.hoahocngaynay.com/vi/kho-tu-lieu/doc_download/95-hydrogen-fuel-production-transport-and-storage.html
- [15] KOPECKÝ, Ladislav. VODA JAKO ZDROJ ENERGIE. KANAREV, Ph. M. 2001 KANAREV PHILIPP MICHAILOVICH. Free-energy.xf.cz: Stránky věnované potlačované vědě a zatajovaným vynálezům [online]. 2001 [cit. 2012-05-20].
Dostupné z: <http://free-energy.xf.cz/kanarev/zurich.pdf>
- [16] BIČÁKOVÁ, Olga. MOŽNOSTI VÝROBY VODÍKU BIOLOGICKÝMI PROCESY. Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, 2010.
Dostupné z: paliva.vscht.cz/download.php?id=29
- [17] Scientists Discover Dielectron Charging of Water Nano-Droplet. [online]. 27. 6. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.alexpetty.com/2011/06/28/scientists-discover-dielectron-charging-of-water-nano-droplet/>
- [18] Peter DAVEY: Sonic Resonance Boiler. Rex Research [online]. 30 . 1. 2008 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.rexresearch.com/davey/davey.htm>
- [19] Water Structure and Science [online]. 17. 5. 2012 [cit. 2012-05-20].
Dostupné z: <http://www.lsbu.ac.uk/water/index2.html>
- [20] Commercial Applications of the Hydrino. BlackLight Power Inc. [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.blacklightpower.com/applications.shtml#Power>
- [21] Method and apparatus for splitting water molecules [patent]. Puharich, US 4,394,230. Uděleno 19.7.1983.
- [22] J. KELLY, Patrick. A Practical Guide to Free-Energy Devices: Chapter 10: Automotive Systems. Practical Guide to Free-Energy Devices [online]. [cit. 2012-05-19].
Dostupné z: <http://www.free-energy-info.co.uk/Chapt10.html>
- [23] International Independent Test: Evaluation Report. Broadway, Grove City, Ohio 43123, 1995. Dostupné z: <http://waterfuelcell.org/documents.htm>
- [24] MLS-HYDROXYL FILLING STATION(MLS-HFS) [patent]. Patent Application Publication, Meyer, US 2005/0246059 A1. Uděleno 3.11.2005.

- [25] SANTILLI, Ruggero Maria. THE NEW FUELS WITH MAGNECULAR STRUCTURE. In: *Advanced Scientific Inquiries: INSTITUTE FOR BASIC RESEARCH (IBR)* [online]. International Academic Press, 2005 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.i-b-r.org/docs/Fuels-Magnecular-Structure.pdf
- [26] GRIES, Russ. Stanley Meyers WFC tech. RWG Research: Open Source Researche [online]. © 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://rwgresearch.com/open-projects/stanley-meyers-wfc-tec/>
- [27] SAFETY STANDARD FOR HYDROGEN AND HYDROGEN SYSTEMS : Guidelines for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage, and Transportation [online]. Washington, DC 20546: Office of Safety and Mission Assurance, 2005. ISBN NSS 1740.16. Dostupné z: www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/canceled/871916.pdf
- [28] Palivové články [online]. 2002[cit. 2012-05-08]. Ústav Jaderného Výzkumu Řez, a.s.: Divize jaderné bezpečnosti a energetiky. Dostupné z: www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf
- [29] Resources : Solid oxide fuel cells (SOFC) with hydrocarbon and hydrocarbon-derived fuels. Renewable Energy Resources: Bloomenergy [online]. © 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.bloomenergy.com/fuel-cell/resources/>
- [30] CHENG, Robert K. Low Swirl Combustion. Energy Lab [online]. 2007, 3.2.1.4.2 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/turbines/refshelf/handbook/3.2.1.4.2.pdf
- [31] ŠKODA FELICIA: technické parametry. EMBecko [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.embecko.inczech.net/mb/informace_mb_07.htm
- [32] Control and driver circuits for a hydrogen gas fuel producing cell [patent]. Meyer, WO 92/07861 A1. Uděleno 14. 5. 1992.
- [33] METHOD AND APPARATUS FOR CARRYING OUT NCKEL AND HYDROGEN EXOTHERMAL REACTION [patent]. Rossi, US 2011/0005506 A1. Uděleno 13.1.2011.
- [34] Method for the production of a fuel gas [patent]. Meyer, US 4,936,961. Uděleno 26.6.1990.

7.1. Použité symboly a zkratky

Symbol	Význam	Jednotka
N_a	Avantgardova konstanta	molekul. mol^{-1}
eV	elektronVolt	J
E	Energie	J
I	elektrický proud, Ampér	A
m	hmotnost vyloučené látky	kg
A	elektrochemický ekvivalent látky	$\text{kg}\cdot\text{C}^{-1}$
t	čas, doba trvání	s
M_m	molární hmotnost látky	$\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$
F	Faradayova konstanta, Culomb	$\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$
z	počet elektronů potřebných	-
e	elektron	-
ΔH	reakční entalpie	J
ΔG	Gibsova volná energie	J
η_t	teoretická účinnost	%
Q	tepelná energie	J
P_e	elektrický výkon	W
\dot{m}_H	hmotnostní průtok vodíku	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
HHV_H	výhřevnost vodíku	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
h_{fc}	účinnost palivového článku	%
S_e	plocha elektrod palivového článku	m^2
V_{fc}	objem palivového článku	m^3
Q_v	objemový průtok kyslíko-vodíkové směsi	m^3
S	průtočný průřez	m^2
v	rychlost proudění kyslíko-vodíkové směsi	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
d	průměr průtočného průřezu	mm
ρ	hustota kyslíko-vodíkové směsi	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
ρ_H	hustota vodíku	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
ρ_O	hustota kyslíku	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
P_{ef}	efektivní výkon motoru	W
M_t	točivý moment motoru	N.m
ω	úhlová frekvence	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
V_H	objemové množství vodíku	$\text{m}^3/100\text{km}$
Q_B	objemový průtok benzínu	$\text{dm}^3/100\text{km}$
LHV_B	výhřevnost kapalného benzínu	$\text{kJ}\cdot\text{dm}^{-3}$

FSI - ÚPEI Návrh energetických systému využívajících vodík jako palivo

LHV_H	výhřevnost plynného vodíku	$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$
V_{voda}	objemové množství vody	m^3
$\rho_{H\text{voda}}$	hustota vodíku ve vodě	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
V_{zdvih}	zdvihový objem motoru	dm^3
s	počet sání na otáčku motoru	-
n	otáčky motoru	$\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$
\dot{m}	hmotnostní průtok vody	$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$
P_t	tepelný výkon ohřevu	kW
H_{out}	entalpie výstupní páry za reaktore (35)	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
H_{in}	entalpie vstupní vody před reaktorem (35)	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
P_m	mechanický výkon na turbíně	kW
η_{ef}	efektivní účinnost isoentropického spádu	%
H_{out}	entalpie výstupní páry za turbínou (36)	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
H_{in}	entalpie vstupní páry do turbíny (36)	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
η_g	účinnost elektrického generátoru	W
$P_{\check{c}}$	příkon čerpadla	W
$\eta_{\check{c}}$	účinnost čerpadla	%
H	výtlačná výška čerpadla	m
g	gravitační zrychlení	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Symbol	Význam	Jednotka

Zkratka	Význam
ppm	parts per million (1ppm = 1miliontina)
rms	root mean square (střední kvadratická hodnota)
E-Cat	Energy Catalyzer
LENR	Low Energy Nuclear Reaction
CANR	Chemically Assisted Nuclear Reactions
HHV	High Heating Value (spalné teplo)
LHV	Low Heating Value (výhřevnost)
EXO	Exotermická reakce (uvolnění tepla)
ENDO	Endotermická reakce (spotřeba tepla)
EPP	Electrical Polarization Process (elektrická polarizace)
VIC	Voltage Intensifier Circuit (zesilovač napětí obvodu)
WFC	Water Fuel Cell (vodní palivový článek)
WFI	Water Fuel Injector (technologie vstřikovacího článku)
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
AFC	Alkaline Fuel Cell (alkalický elektrolyt)
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell (elektrolyt metanolu s PM)
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell (tavenina alkalických uhličitů)
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell (kyselina fosforečná)
PEMFC	Proton Exchanger Membrane Fuel Cell (polymerová membrána)
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell (pevný oxidický elektrolyt)

7.2. Seznam obrázků a tabulek

Obr.1 Elektrolyzér KOH [14]	16
Obr.2 Možnost integrace biologického systému výroby vodíku [16]	19
Obr.3 Schéma molekulové struktury vody [19]	21
Obr.4 Závislost teploty a tlaku na objemové koncentraci [14]	22
Obr.5 Schéma elektronického obvodu [22]	26
Obr.6 Pulzní generátor	29
Přehled použitých součástí (II.)	
Obr.7 Elektrické vinutí	31
Přehled použitých součástí (III.)	
Obr.8 Reaktor	32
Přehled použitých součástí (IV)	
Obr.9 Záběr na zapojený obvod.....	33
Tab.1 Analýza plyné směsi a obsah sodíku a draslíku ve vodě [23]	34
Obr.10 Celkový pohled na originální aparát S.A.Meyera [26] a graf [23]	35
Tab.2 Výsledek EPP	35
Tab.3 – Různé typy palivových článků [14]	37
Obr.11 Schéma palivového článku PEM [14]	37
Obr.12 Přehled účinnostních charakteristik PEM [28]	38
Obr.13 Možné řešení hořáku [30]	41
Tab.4 – Základní parametry vozidla [31]	42
Obr.14 Demonstrační technologie S.A.Meyera [26]	44
Tab.5 Energetické hladiny elektronů kyslíku [15]	45
Obr.15 Schéma integrovaného systému E-Cat.....	47
Obr.16 52 reaktorů o výkonu 1MWt [7]	49

7.3. Přílohy

7.3.1. CD-ROM

- Text diplomové práce (pdf)
- Vybrané texty, obrázky a záznamy (pdf, mp3, avi, JPEG)
- Výpočet odhadované účinnosti technologie patentu III. (Excel2010)

7.3.2. Patentová rešerše

Pro základní potřebu práce byly vybrány 3 patenty, kde patent (I.) má možnou spojitost s prvním vynálezem S.A.Meyera (obr.10) [24], ze kterého vzešla energetická bilance(4.5.). V té době se mohlo jednat o možné vysvětlení, které se snažil vědecky i experimentálně potvrdit Dr. Puharich. Patent (II.) je rozpracovaný design pro technologii WFC (Obr.14), která měla pohánět automobil po dobu 34 min a následně byla zdokonalována na technologii WFI. Patent (III.) vyšel shodou okolností chvíli po Meyerově smrti, kde tato technologie slibuje vyšší účinnost produkce vodíku než běžná elektrolýza a je doposud využívána ve společnosti zabývající se čištěním odpadních vod, Xogen Power Inc.

I. Metoda a přístroj pro rozklad vodních molekul [22]

U.S. Patent 4,394,230

Název : Method and apparatus for splitting water molecules

Autor: Henry K.Puharich

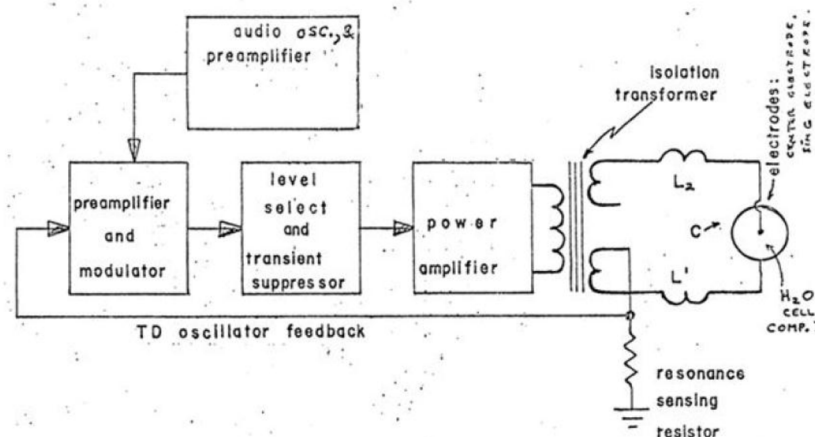
Datum zápisu : 10.7. 1981

Abstrakt:

Zveřejnění nového a lepšího termodynamického zařízení k produkci vodíkových a kyslíkových plynů z běžné nebo slané vody při standardních podmínkách. Odhalení nové a lepší metody elektrické stimulace vodních molekul k rozkladu na vodíkové a kyslíkové plyny s účinností 80-100%. Uvolněný vodík může být použit jako palivo a uvolněný kyslík jako oxidant.

Obecné vysvětlení vynálezu :

Z kvantové fyzikální chemie jsou známy dva základní úhly molekuly vody 104° a $109^\circ 28'$. Uvedený vynález ovlivňuje molekuly vody a mění jejich úhlové uspořádání ze 104° na $109^\circ 28'$ čtyřstěnné geometrické uspořádání(tetrahedron). Funkcí elektrického generátoru (I) je vytvořit složité elektrické vlnové frekvence, které jsou využity k odpovídající složitosti rezonanční frekvence čtyřstěnného uspořádání molekuly vody. Tento složitý elektrický tvar vlny použitý na vodu, obsaženou ve speciálním termodynamickém zařízení (II), které v rezonanci trhá molekuly vody na její komponenty vodík a kyslík.



Tento patent detailně popisuje poznatky, které směřují k maximalizaci účinnosti elektrolyzy vody, kde zařízení je rozloženo na několik aspektů. Celé zařízení je navrženo tak, aby veškeré komponenty byly sladěny jako celek s otevřeným obvodem. První snahou je vytvořit radiové vlny s modulací, které mají cyklus 3 vteřiny 0% - 100% - 0%, který má odpovídat jadernému spinu vodní molekuly. Tyto vytvořené vlny po průchodu vodou mění svoje vlastnosti, které jsou řízeny vyšším řádem a je pozorována bariera hydrolyzi naznačující vysoký stupeň polarizace vodních molekul náchylnějších k roztržení díky změně molekulárních vazeb na vyšší energetickou hladinu. Správnou rezonanční frekvencí a potenciálním napětí dochází k rozkladu vodních molekul. Voda pracuje jako kondenzátor s časovou konstantou 0,0002s a odpovídá frekvenci 5 kHz. Byly prováděny experimenty s čistou a slanou vodou. Během experimentu dochází ke změnám nosné vlny na čtvercové. Polarizační efekt je zaznamenán při výskytu kladného unipolárního pulzu, který je úvodem k pravé elektrolyze vody, kde je zaznamenán vývin vodíkového a kyslíkového plynu. Při generování vlny, aby odpovídala rezonanční frekvenční vlně polarizovaných molekul tetrahedronu (hranaté vlny) je charakterizována pilkovitým tvarem vlny o frekvenci 3.980Hz a jejich násobků, kde pravděpodobně na frekvenci 63.690Hz rezonuje každý ze čtyř vrcholů molekuly vody. Je velice pravděpodobné, že kombinací odpovídavé síly a správné rezonanční frekvence spolu trhá vodní molekuli na vodík a kyslík. Pod low-power mikroskopem je pozorována změna uspořádání bublinek do paprskové formace. Vývoj plynů je časově zastaven výskytem bariérového jevu, který bez ohledu na použitý výkon produkci zastavuje. Tento jev lze vyvolat vnořením prstu nebo s časem. Tento bariérový jev je pravděpodobně zapříčiněn vnikáním vodíkových molekul do elektrody a vytváří tak pasivní vrstvu, která zabraňuje formování vodíkových iontů. Tento jev lze odstranit zatřepáním nebo změnou polarity na elektrodách a nebo snížením dielektrika vody přidáním malého množství soli (NaCl, KOH).

FSI - ÚPEI Návrh energetických systému využívajících vodík jako palivo

Energie získaná ze dvou plynů vodíku (H_2) a poloviny kyslíku ($\frac{1}{2}O_2$) byla měřena ve dvou laboratořích na dvou různých zkalirovaných zařízeních, plynový chromatograf (Gas Chromatography Machine) a hmotnostní spektrometr (Mass Spectrometer Machine).

(rms) Proud = $I = 25$ až 38 mA ($0,025$ až $0,038$ A)

(rms) Napětí = $U = 4$ až $2,6$ V

Výsledkem měření kvadratických hodnot proudu a napětí je příkon.

$P = U \cdot I = 25 \text{ mA} \cdot 4 \text{ V} = 100 \text{ mW}$ ($0,1 \text{ W}$)

$P = U \cdot I = 38 \text{ mA} \cdot 2,6 \text{ V} = 98 \text{ mW}$ ($0,0988 \text{ W}$)

Při tomto příkonu byla na přesném zařízení naměřena rezonanční frekvence systému 600 Hz ($\pm 5 \text{ Hz}$).

Naměřené množství plynu se standardní chybou $\pm 10\%$ s výsledkem :

$16,2 \text{ cm}^3 H_2O(g)$ $10,8 \text{ cm}^3 H_2(g)$ a $5,4 \text{ cm}^3 O_2(g)$

exotermická / endotermická = $-\Delta H / \Delta G = 206,8544 \text{ J} / 180 \text{ J} = 1,14919 = 114,92\%$

Prakticky se jedná o energii získanou navíc pouze v případě pokud by se jednalo o termodynamicky uzavřenou (izolovanou) soustavu s vyrovnáním teplot v systému.

II. Metoda k produkci palivového plynu [34]

U.S. Patent 4,936,961

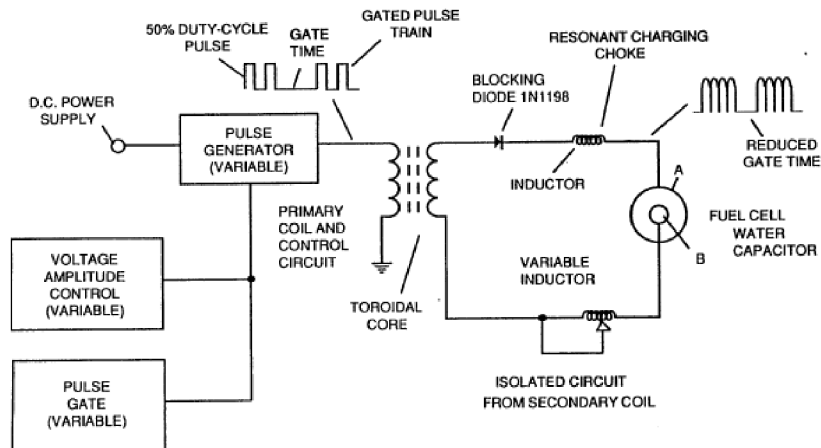
Název : Method for the production of a fuel gas

Autor: Stanley A. Meyer

Datum zápisu: 16.6. 1988

Abstrakt:

Metoda umožňující uvolnění směsi palivového plynu obsahující vodík a kyslík z vody, kde voda je zpracována jako dielektrické medium v elektrickém rezonančním obvodu.



Tento patent byl vybrán jako nejjednodušší verze z mnoha patentů popisující komplexní technologii nové produkce vodíku.

Vode je zpracována jako dielektrické medium v reaktoru koncipovaném jako kondenzátor. Kondenzátor je v serii s cívkou, která tvoří indukci a je napájena pulzujícím elektrickým napětím unipolárními kladnými pulzi. Takto vyvolané napětí působí na molekuli vody, které jsou polarizovány a podrobeny roztahování. Předmětem je nastavit pulzující elektrické pole tak, aby bylo v rezonanci. Pulzující napětí je kaskádově zvyšováno v závislosti na počtu pulzů, až do dosažení maximální amplitudy. Udržením nabitého kondenzátoru za pomoci diody, která vytváří další kladný pulz a způsobuje destabilizaci kovalentní vazby mezi vodíkem a kyslíkem. Pokud je použité elektrické pole vyšší než elektrická vazba v molekule vody, tak nastane uvolnění atomárního vodíku a kyslíku.

Optimální produkce plynů je dosaženo v rezonanci obvodu. Vodní molekuly jsou součástí obvodu a lze je polarizovat. Rezonance s vodními molekulami je doprovázeno kaskádovým nabíjením. Během kaskádového nabíjení se i kaskádově zvyšuje energie vodních molekul. Pokud je rezonanční energie vyšší než energie atomární vazby nastává uvolnění atomů, především vodíku a kyslíku. Rezonance je dosažena nastavením pulzujícího napětí. Produkce plynů může být řízena změnou tvaru pulzu a/nebo amplitudou nebo sekvencí impulzů(ON_OFF). Stimulace molekul napětím je nazván elektrický polarizační proces.

Na schématu elektrického obvodu je voda v kondenzátoru. Cívky jsou navinuty na konvenčním torodialním práškovém feromagnetu o průměru 3,81 cm, který se nestává magnetický. Cívka má primárním vinutí 200 závitů (24 AWG, cca 0,5 mm) a sekundárním vinutí 600 závitů (36 AWG, cca 0,13 mm). V obvodu je dioda 1N1198, která slouží jako bloková dioda a zároveň jako elektrický spínač, umožňující tok proudu jedním směrem a zabraňuje kondenzátoru změnit polaritu. Primární cívka je napájena stanovenými 50% cyklovými pulzy. Toroidní pulzní cívka umožňuje zvýšení napětí, které přesahuje 5x vstupní hodnoty. Taktéž toto zvýšení je stanoveno na přednastavených kritériích pro část aplikace. Jakmile pulz dorazí do prvního induktoru 100 závitů (24 AWG, cca 0,5 mm) na průměru 2,54 cm, vznikne elektromagnetické pole. Druhý induktor je variabilní a slouží k udržení náboje, vlivem přítomnosti kontaminantů ve vodě. Na konci pulzu je napětí vypnuto a elektromagnetické pole zkolabuje a vytvoří další pulz o stejné polaritě. Takto vytvořený

dvojitý pulz ve sledu unipolárních pulzů, je vystaven časové pauze, během které není žádný pulz. Kondenzátor s vodou je krokově nabíjen a při napětí nad 1 000 V začíná roztahování vodních molekul. Průběh pulzů je poté vypnut a napětí klesne na úroveň molekul, které byly nabity. Napětí na stěnách kondenzátoru je udržováno a sled pulzů je opakován. Čím vyšší napětí je aplikováno, tím více je vykonáno práce. Celý obvod je sestaven, tak aby v něm neprocházel proud, avšak ve vodě nastává proudění díky nečistotám a volným iontům. Cílem je rozbít subatomární elektromagnetickou vazbu v molekule, tak že použitý náboj v kondenzátoru musí být vyšší než síla vazby.

Jako příklad je uvedeno : 2 trubky o paramtrech 12,7x100 mm a 19x100 mm, meziprostor 1,59mm. Rezonance byla dosažena při 26 V a 0 kHz, začala produkce vodíku a kyslíku.

Rezonance závisí na dielektrické konstantě vody, velikosti kondenzátoru, konfiguraci a rozteči, indukci obvodu a podobně. Při dosažení rezonance je tok proudu minimalizován a napětí maximalizováno.

- K tomuto patentu se vztahuje i novější verze na řízení procesu WO9207861 [32]. Se stejným vinutím, diodou NVR1550 při frekvenci 5 kHz, byla dosažena rezonance s amplitudou napětí 650 V, při rezonanci se proud pohyboval na hodnotě 1– 2mA (mimo rezonanci 25 mA) a produkce plynné směsi odpovídala spotřebě 19 litrů vody za hodinu (pravděpodobně se jednalo o produkci zařízení ilustrovaného na (Obr.14/b.), které obsahuje 9 kondenzátorů.

III. Zařízení k produkci orthovodíku a/nebo paravodíku [4]

U.S. Patent 6,126,794

Název : Aparatus for producing orthohydrogen and/or parahydrogen

Autor: Stephen Barrie Chambers

Datum zápisu: 26.6. 1998

Abstrakt:

Zařízení k produkci orthovodíku a/nebo paravodíku. Zařízení se skládá z nádrže obsahující vodu a nejméně jednoho páru elektrod s malou roztečí ponořené ve vodní nádrži. První elektrický zdroj provádí specifický pulzní signál na elektrodách. Pokud je potřeba produkovat paravodík, musí se do vodní nádrže umístit i cívka. Druhý elektrický zdroj provádí druhý pulzní signál pomocí přepínače do cívky a nabíjí vodu. Když je druhý zdroj odpojen od cívky pomocí přepínače a je přijímán jen první signál, tak se produkuje orthovodík. Když je druhý zdroj spojen s cívkou a oběma elektrodama a cívka přijímá pulzní signály, potom první i druhý pulzní signál je možné ovládat k produkci paravodíku. Nádrž sama vytváří tlak a obsažená voda nepotřebuje žádné další chemické katalyzátory ke zefektivnění produkce orthovodíku a/nebo paravodíku. Proces nevytváří žádné teplo a nevytváří žádné bubliny na elektrodách.

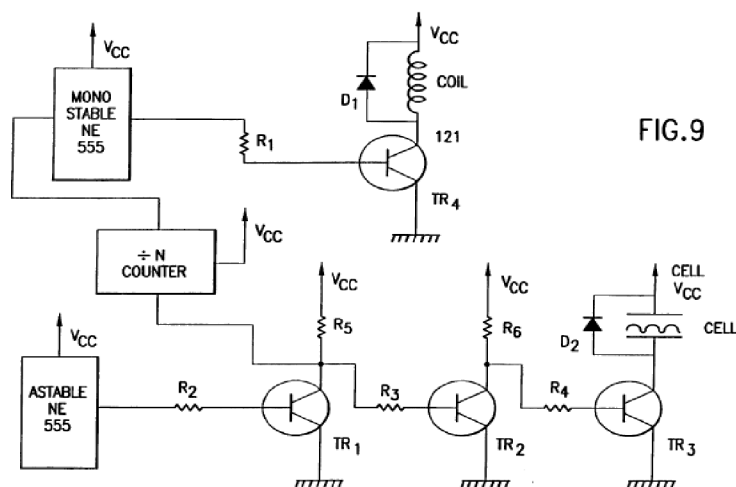


FIG. 9

Uváděná metoda slibuje kontrolovanou produkci otrhodíku/paravodíku speciálním pulzním signálem s lepšími provozními vlastnostmi a vyšší účinností než běžná elektrolýza. Důležitý aspekt je mezera mezi elektrodami, která musí být minimalizována 1–5 mm. Tuto technologii lze uplatnit k čištění vody, destilaci a k veškerým energetickým jednotkám pro spalování. Patent zahrnuje konkrétní součástky použité ve schématu.

Zdroj elektrického napětí potřebný k provozu jednotky má 12 V a 300 mA (3,6 W). Optimální produkce paliva je při pulzujícím čtvercovém signálu ON-OFF 10:1 s frekvencí 10–250 kHz. Při těchto parametrech je produkce 1 PSI_{min}. Celý obvod je nastaven pro generování popisovaného pulzu a dioda chrání obvod před zpětným elektromagnetickým polem. Přidavná cívka sloužící k zvýšení produkce paravodíku a je ponořena pod vodu o parametrech 5x7 cm a 1500 závitů s aplikovanou frekvencí do 30 Hz a je napájena samostatným zdrojem. Rozměry zkušební aparátu s párem válcových elektrod z nerezového materiálu a mezerou 1 mm jsou, 43 cm výška a 9 cm šířka. Z uvedeného obrázku níže (FIG.6), je patrné, že se jedná o válcovou nádobu s kulovým vrchlíkem.

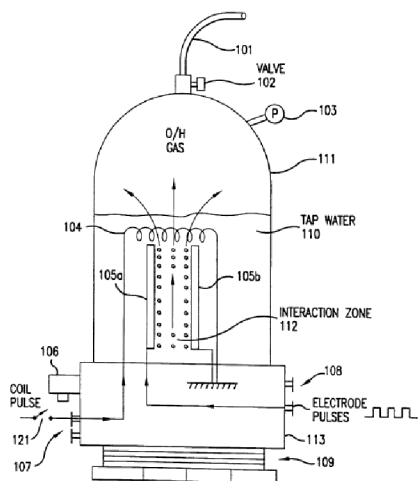


FIG. 6

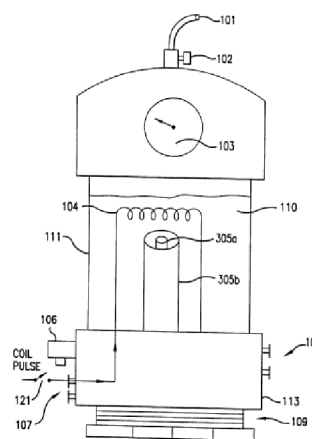


FIG. 8

7.3.3. Protokol o měření

Datum : 24. 5. 2012

Přehled použitých aparátů : I., II., III. (b.v2), IV.

Popis měřidel : průtokoměr FMA5506, osciloskop UTD2052CEL, 2x mutlimetr UT71A

Hodnoty byly odebírány po 30 vteřinách provozu :

Napětí (V)	Proud (A)	Příkon (W)	Průtok směsi (ml.min ⁻¹)	Průtok vodíku (ml.min ⁻¹)	Počet reaktorů	Použitá voda	Energetická náročnost pro výrobu 1m ³ vodíku (W)
22,15	0,95	21,0425	11	6,6	1	Městská	53 138
21,8	1,33	28,994	13	7,8	1	Městská	61 953
21	0,35	7,35	3,5	2,1	1	Městská	58 333
20,7	2,1	43,47	20	12	1	Městská	60 375
20,2	0,65	13,13	6	3,6	1	Městská	60 787
16,3	1,8	29,34	18	10,8	1	Městská	45 278
12,9	0,5	6,45	4,9	2,94	1	Destilovaná	36 565
13,1	0,36	4,716	3,3	1,98	1	Destilovaná	39 697
15,45	0,65	10,04	6,2	3,72	1	Destilovaná	44 993
19,4	0,87	16,88	8,2	4,92	1	Destilovaná	57 175
19,3	0,9	17,37	8,9	5,34	1	Destilovaná	54 213
22	1,08	23,76	10,5	6,3	1	Destilovaná	62 857
22	1,1	24,2	11,2	6,72	1	Destilovaná	60 020
26,1	0,27	7,05	2	1,2	1	Destilovaná	97 875
26,1	0,57	14,88	5,1	3,06	1	Destilovaná	81 029
26,1	0,62	16,18	5,6	3,36	1	Destilovaná	80 268
26,1	0,78	20,36	8	4,8	1	Destilovaná	70 688

Závěr :

Měření průtoku bylo obtížné měřit z důvodu nepravidelného uvolňování bublin. Nepodařilo se dosáhnout slibovaného efektu. Při pozorování na osciloskopu se amplituda začala zvyšovat a po dosažení maxima snižovat. Maximální amplituda napětí na reaktoru nepřesahovala 25 V. Slibovaných 1 200 V dosaženo nebylo. Celé měření bylo doprovázeno výraznou tepelnou ztrátou.