



**TRENDY VE VÝVOJI
VODÍKOVÉHO
HOSPODÁŘSTVÍ
VE SVĚTĚ A MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ
V ČESKÉ REPUBLICE**

**ČESKÁ
ENERGETICKÁ
AGENTURA**

TRENDY VE VÝVOJI VODÍKOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ VE SVĚTĚ A MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ V ČESKÉ REPUBLICE

OBSAH

1. CÍL PUBLIKACE	6
2. ÚVOD	7
2.1 VODÍK JAKO BUDOUCNOST	7
2.2 ČESKÁ VODÍKOVÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA	7
3. VODÍK	9
3.1 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI	9
3.1.1 <i>Vodík</i>	9
3.1.2 <i>Deuterium</i>	9
3.1.3 <i>Tritium</i>	10
3.2 VÝSKYT V PŘÍRODĚ	10
3.3 KVALITA VODÍKU A MOŽNOSTI ČIŠTĚNÍ	11
3.3.1 <i>Chlazené sorbenty</i>	12
3.3.2 <i>Měděné čističe</i>	12
3.3.3 <i>Chromniklové čističe</i>	12
3.3.4 <i>Paladiové čističe</i>	12
3.4 METODY DETEKCE VODÍKU	12
3.5 VÝROBA A VYUŽITÍ VODÍKU	14
3.5.1 <i>Výroba vodíku parním reformingem</i>	15
3.5.2 <i>Výroba vodíku elektrolýzou</i>	15
3.5.3 <i>Termochemická výroba vodíku</i>	15
3.5.4 <i>Výroba vodíku z vody pomocí bakterií</i>	18
3.5.5 <i>Hlavní využití elementárního vodíku</i>	19
3.6 SKLADOVÁNÍ VODÍKU	20
3.6.1 <i>Skládování vodíku v plynném skupenství</i>	21
3.6.2 <i>Skládování vodíku v kapalném skupenství</i>	22
3.6.3 <i>Skládování vodíku v hydridech kovů a alkalických zemin</i>	23
3.6.4 <i>Ukladnění vodíku v nádržích z materiálů na bázi uhlíku</i>	23
3.6.5 <i>Uchovávání vodíku ve vodíkových tabletách</i>	24
3.6.6 <i>Ukladnění vodíku v chemických sloučeninách</i>	24
3.6.7 <i>Další metody skladování vodíku</i>	25
3.7 PŘEPRAVA VODÍKU	25
3.7.1 <i>Přeprava plynovody</i>	25
3.7.2 <i>Přeprava v tlakových nádobách</i>	26
3.8 LEGISLATIVA VZTAŽENÁ K PROBLEMATICE VODÍKU	26
3.8.1 <i>ČSN EN ISO 15330</i>	26
3.8.2 <i>ČSN EN 10229</i>	27
3.8.3 <i>ISO 13984 a ISO 14687</i>	27
3.8.4 <i>Nové standardy pro stáčení kapalného vodíku</i>	27
4. VODÍKOVÁ EKONOMIKA	28
4.1 ÚVOD OD VODÍKOVÉ EKONOMIKY	28
4.2 TECHNICKÉ PŘEDPOKLADY VODÍKOVÉ EKONOMIKY	29

4.3	OBNOVITELNÝ VODÍK	30
4.3.1	<i>Zkušební provoz</i>	32
4.3.2	<i>Gaia</i>	32
4.3.3	<i>Projekt ECTOS</i>	32
4.3.4	<i>Projekt GOTLAND</i>	33
4.4	BUDOUCNOST VODÍKOVÉ EKONOMIKY	33
4.4.1	<i>Přednosti vodíku jako paliva.</i>	34
4.4.2	<i>Kdo a jak bude vodík vyrábět.</i>	34
4.4.3	<i>Výroba, doprava a skladování.</i>	34
4.4.4	<i>Bezpečnostní opatření.</i>	35
4.4.5	<i>Kde se vodíková energetika uplatní</i>	36
4.5	ZAPOJENÍ VODÍKU DO ENERGETICKÉHO HOSPODÁŘSTVÍ	36
5.	PALIVOVÉ ČLÁNKY	38
5.1	PALIVOVÉ ČLÁNKY	38
5.2	ZÁKLADNÍ KOMPONENTY PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ	40
5.3	POPIS JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ	41
5.3.1	<i>Alkalické články</i>	41
5.3.2	<i>Články s tuhými polymery</i>	42
5.3.3	<i>Články s kyselinou fosforečnou</i>	43
5.3.4	<i>Články s roztavenými uhlíčitany</i>	44
5.3.5	<i>Články s tuhými oxidy</i>	46
5.4	SHRNUTÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ - VÝHODY A NEVÝHODY	48
5.5	ENERGETICKÝ SYSTÉM S PALIVOVÝM ČLÁNKEM	49
5.6	OBLAST VYUŽITÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ	52
5.7	SOUČASNÝ STAV VÝVOJE TECHNOLOGIE PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ	52
5.8	MIKROBIÁLNÍ PALIVOVÉ ČLÁNKY	53
6.	VODÍKOVÉ TECHNOLOGIE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	55
6.1	PŘEHLED ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ ENERGIE PRO MOTOROVÁ VOZIDLA	55
6.1.1	<i>Alternativní paliva</i>	56
6.2	ZAVÁDĚNÍ VODÍKU DO AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU	56
6.3	VODÍKOVÉ PROJEKTY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	58
6.3.1	<i>Honda FCX</i>	58
6.3.2	<i>Hyundai Tucson FCEV</i>	59
6.3.3	<i>Toyota FCHV</i>	59
6.3.4	<i>Ford Focus C-Max H2 ICE</i>	60
6.3.5	<i>Opel HydroGen3 a Opel Hy-wire</i>	61
6.3.6	<i>Mazda RX-8 Hydrogen</i>	62
6.3.7	<i>Fiat Panda Hydrogen</i>	63
6.3.8	<i>BOC Gh2ost</i>	63
6.3.9	<i>Mitsubishi Nessie</i>	64
6.3.10	<i>Mercedes S-Klasse Direct Hybrid a Bluetec Hybrid</i>	65
6.3.11	<i>Lada – model 2111</i>	66
6.4	VODÍKOVÉ PROJEKTY V OSTATNÍ DOPRAVĚ	67
6.4.1	<i>Vlak na vodík</i>	67
6.4.2	<i>Městská hromadná doprava na vodík</i>	67
6.4.3	<i>Vodíkový skútr</i>	67
6.4.4	<i>Vodíkové autobusy M-B Citaro</i>	68

6.4.5	<i>Motorcykl na vodík</i>	68
7.	VÝZKUMNÉ AKTIVITY VODÍKOVÝCH TECHNOLOGIÍ	70
7.1	PROJEKTY A AKTIVITY VE SVĚTĚ	70
7.1.1	<i>Projekt HYCHAIN</i>	70
7.1.2	<i>Projekt CUTE</i>	71
7.1.3	<i>Projekt USHER</i>	71
7.1.4	<i>Cestovní mapa USA v oblasti využití vodíku v dopravě</i>	73
7.1.5	<i>Projekt HFP</i>	73
7.1.6	<i>Projekt HydroFueler</i>	74
7.2	PROJEKTY A AKTIVITY V ČR	75
7.2.1	<i>Vodíkový klastr v Moravskoslezském regionu</i>	75
7.2.2	<i>Aktivity společnosti Vítkovice Cylinders</i>	76
7.2.3	<i>Vodíkové vozidlo v ČR</i>	77
7.2.4	<i>Hybridní vozy v ČR</i>	77
7.2.5	<i>Otevřena nová stanice na výrobu vodíku a nová plnicí jednotka</i>	78
7.2.6	<i>Palivový článek na ČVUT FEL v Praze</i>	79
8.	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOECNÍ	81
	LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	83

1. CÍL PUBLIKACE

Cílem této publikace je na jedné straně poskytnout současný pohled na technologické a výzkumné směry využití vodíkových technologií, zejména s ohledem na využití palivových článků a dalším cílem této publikace je poskytnout ucelený, přehledně strukturovaný a aktuální přehled moderních technologických a systémových řešení využívání vodíkových technologií, zpracovaný na základě reálných projektů, praktických poznatků a aktuálních tuzemských i zahraničních informačních pramenů. Tyto informace by měly přispět ke rozšíření všeobecného povědomí o nové generaci a aktuálních směrech rozvoje energetiky, jakým přechod od tzv. „fosilní energetiky“ k vodíkové bezesporu je.

2. ÚVOD

2.1 Vodík jako budoucnost

Spotřeba a ceny energií celosvětově stoupají, zatímco zásoby energetických zdrojů se tenčí. Přejít na vodíkové hospodářství může představovat životaschopné řešení zejména pro automobilový průmysl. USA se výzkumu a vývoji vodíkových technologií intenzivně věnují a značnou pozornost věnuje vodíkovému hospodářství také EU.

2.2 Česká vodíková technologická platforma

Ministerstvo průmyslu a obchodu věří, že v ČR existuje potenciál rozvoje vodíkových technologií a iniciovalo proto založení České vodíkové technologické platformy.

Automobily jezdící na vodík, vodíkové palivové články v mobilních telefonech, fotoaparátech a notebookech nahrazující méně účinné akumulátory... tato vize budoucnosti je možná méně vzdálená než se zdá být. Zvýšení spotřeby ropných produktů a jejich cen jde obvykle ruku v ruce. V roce 2002 spotřeboval celý svět 28,46 miliard barelů ropy. Tato spotřeba se ročně zvyšuje zhruba o 360 milionů barelů a dynamický vývoj Indie a Číny naznačuje, že tento nárůst bude pokračovat. Na ropných palivech je nejvíce závislá doprava a vzhledem k neustálému zvyšování cen ropných produktů a ekologickým požadavkům na palivo se automobilový průmysl obrací k vývoji nových paliv. Mimo metanolu, etanolu a syntetických paliv se v budoucnosti jako s ekologickým palivem počítá i s vodíkem. Vodík zároveň může výrazným způsobem "zekologizovat" energetiku.

Evropská unie věnuje vodíkovému hospodářství značnou pozornost. V roce 2020 by měly být 2 % z celkového počtu vozidel poháněna vodíkem, v roce 2040 pak dokonce jedna třetina. Jednou z prvních vln je projekt veřejné "vodíkové" plnicí stanice, která byla v květnu 1999 oficiálně uvedena do provozu na mnichovském mezinárodním letišti Franze Josefa Strausse. V praxi se tak demonstruje úplný technologický řetězec, počínaje výrobou vodíku pomocí elektrolýzy přes jeho uskladňování a automatizované plnění vozidel až po konečné využití v autech a letištních autobusech.

Problémem vodíkových technologií zůstává jejich vysoká cena. Při financování vodíkového hospodářství se proto EU soustřeďuje především na snížení výrobních nákladů a vývoj levného, vysoce účinného palivového článku s dlouhou životností. Od sedmdesátých let je výzkum financován prostřednictvím tzv. Rámcových programů (Framework Programmes). Rozpočet se zvýšil z 8 milionů EUR v Druhém rámcovém programu (1988—1992) na více než 130 milionů EUR v Pátém rámcovém programu (1999—2002). V Šestém rámcovém programu (2003—2006) již rozpočet činí téměř 2,1 miliard EUR a očekává se, že 250—300 milionů EUR bude investováno do vodíkových technologií. Nejvýznamnějším evropským koordinačním centrem zabývajícím se

podporou vodíkových technologií je Evropská technologická platforma pro výzkum vodíku a palivových článků (HFP) založená v roce 2004, která sdružuje více než 200 subjektů z celé Evropy. Platforma je vedena zejména evropským průmyslem a má znatelnou podporu Evropské komise.

České firmy jsou zatím do evropských programů zapojeny minimálně. Můžeme hovořit o startovních projektech. Je to např. projekt znojemského autodopravce ČAS, který úspěšně realizoval elektromobil, a nyní se chystá navázat projektem autobusu, který bude kombinovat akumulátory a palivové články. Společnost ÚJV Řež iniciovala projekt městského autobusu v Neratovicích, který bude poháněn přebytky vodíku z chemické výroby SPOLANY Neratovice. Předpokládaný dojezd je přibližně 300 km.

V ČR doposud neexistovala obdoba evropské technologické platformy a některé české subjekty působící v oboru postrádají informace např. o možnostech financování projektů, zapojení do programů EU a ocenily by také systematické mapování rozvoje v oblasti vodíkového průmyslu.

Ministerstvo průmyslu a obchodu věří, že v ČR existuje potenciál rozvoje vodíkového hospodářství, a proto iniciuje založení České vodíkové technologické platformy, jejímž prostřednictvím chce podporovat rozvoj vodíkových technologií v ČR. Založení platformy bylo vyhlášeno 2. května 2006 na konferenci Vodíkové technologie v České republice, kterou pořádalo Ministerstvo průmyslu a obchodu ve spolupráci s občanským sdružením Societas Rudolphina. Technologická platforma bude otevřena všem právním subjektům a jejími hlavními úkoly bude propojit české aktivity s Evropskou technologickou platformou pro výzkum vodíku a palivových článků (HFP), monitorovat oblast vodíkového průmyslu a zajistit vzájemnou informovanost subjektů působících v této oblasti. Na vlastním založení platformy se budou podílet ÚJV Řež, a.s. (průmyslový výzkum), ČVUT, VŠCHT, VŠB—TU Ostrava (univerzity), Akademie věd a Škoda výzkum, s.r.o. (základní výzkum), Spolana Neratovice, a.s., Dopravní podniky (Nerabus), ČAS Znojmo, s.r.o., Astris s.r.o. (průmysl).

3. VODÍK

Vodík, chemická značka H (lat. Hydrogenium) je nejlehčí a nejjednodušší plyný chemický prvek, tvořící převážnou část hmoty ve vesmíru. Má široké praktické využití jako zdroj energie, redukční činidlo v chemické syntéze nebo metalurgii.

3.1 Základní fyzikálně-chemické vlastnosti

Vodík je bezbarvý, lehký plyn, bez chuti a zápachu. Je značně reaktivní, především s kyslíkem a halogeny se slučuje velmi bouřlivě i když pro spuštění této reakce je nutná inicializace (např. jiskra, která zapálí kyslíko-vodíkový plamen).

Vodík vytváří sloučeniny se všemi prvky periodické tabulky s výjimkou vzácných plynů, zejména pak s uhlíkem, kyslíkem, sírou a dusíkem, které tvoří základní stavební jednotky života na Zemi.

Vodík je schopen tvořit zvláštní typ chemické vazby, nazývaný vodíková vazba nebo také vodíkový můstek, kdy vázaný atom vodíku vykazuje afinitu i k dalším atomům, s nimiž není poután klasickou chemickou vazbou. Mimořádně silná je vodíková vazba s atomy kyslíku, což vysvětluje anomální fyzikální vlastnosti vody (vysoký bod varu a tání atd.).

Vodík má tři základní izotopy.

3.1.1 Vodík

Klasický atom vodíku (někdy nazývaný protium), tvořený jedním protonem a jedním elektronem. Tento izotop je nejjednodušší atom ve vesmíru a tvoří jeho převažující část.

3.1.2 Deuterium

Atom s jádrem 2H , který obsahuje v jádře jeden proton a jeden neutron a od běžného vodíku se liší především atomovou hmotností, která činí 2,01363 amu, se označuje jako deuterium. Někdy mu bývá přiřazována i chemická značka D, přestože se nejedná o jiný prvek.

Deuterium je stabilní izotop, který nepodléhá radioaktivní přeměně. V přírodě se běžně vyskytuje namísto lehkého vodíku. V průměru připadá na jeden atom deuteria 7 000 atomů normálního vodíku.

Ve spojení s kyslíkem tvoří deuterium tzv. těžkou vodu, D_2O . Tato sloučenina má významné využití v jaderném průmyslu. Je velmi účinným moderátorem, tedy látkou zpomalující rychlost neutronů. Této vlastnosti se již od druhé světové války využívá v určitém typu jaderných reaktorů k přípravě plutonia z uranu.

Německá armáda se za druhé světové války intenzivně snažila vyvinout jadernou bombu na bázi plutonia. V norském Rjukanu existoval průmyslový komplex společnosti Norsk

Hydro, vyrábějící těžkou vodu. Spojenci tento komplex zničili operací zvláštních jednotek (bombardování po jeho opravě způsobilo těžké ztráty na životech místních obyvatel, ale továrnu poškodilo jen mírně), přesto se však nacistům podařilo vyrobit dostatečné množství těžké vody pro další experimenty s jadernou zbraní.

Dnes je deuterium využíváno také jako účinný stopovač biochemických reakcí. Pokud je na počátku výzkumu distribuce určité sloučeniny v organismu použita látka, která má atomy vodíku nahrazeny deuteriem, lze vysledovat její cestu biochemickou přeměnou analýzou všech možných vzniklých produktů.

3.1.3 Tritium

Jako tritium se označuje vodík 3H , který má jádro složeno z jednoho protonu a 2 neutronů a bývá někdy označován chemickou značkou T. Jeho atomová váha má hodnotu 3,01605 amu.

Na rozdíl od deuteria je jádro tritia nestabilní a rozpadá se s poločasem rozpadu 12,4 roku za vyzáření pouze málo energetického beta záření.

V přírodních podmínkách vzniká tritium především v horních vrstvách atmosféry při kolizi kosmického záření s jádrem atomu deuteria. Uměle je tritium získáváno v těžkovodních jaderných reaktorech při výrobě plutonia z přírodního uranu. Tritium slouží přitom jako jedna ze složek náplně termonukleární bomby, doposud nejničivějšího destrukčního prostředku, jaký druh *Homo sapiens* vyrobil.

Tritium je také jedním ze základních meziproduktů jaderné fúze, která je pokládána za energetický zdroj všech hvězd v pozorovatelné části vesmíru.

Tritium se též v některých případech používá pro výrobu svítících ručiček a indexů hodinek, které pak září celou noc bez ohledu na to, zda byly před tím vystaveny světlu. Zde se tritium využívá jako zářič, který pak budí některou luminiscenční látku ke světélkování. S ohledem na poločas rozpadu tritia je životnost takové světélkující barvy řádově několik desítek let. Zdravotní rizika jsou na rozdíl od luminiscenčních barev, u kterých se používalo radium, nulové. Tritium však je používáno jen několika výrobci, protože výroba je dost nákladná. Tritium musí být vázáno jako plyn do mikrogranulí, nebo je obsaženo ve skleněných mikrotrubičkách. Obojí je technologicky náročné.

3.2 Výskyt v přírodě

Elementární vodík je na Zemi přítomen jen vzácně. Plynný vodík se v našem prostředí vyskytuje ve formě dvouatomových molekul H_2 , je však známo, že v mezihvězdném prostoru je přítomen z převážné části jako atomární vodík H. V zemské atmosféře se vyskytuje jen ve vyšších vrstvách a díky své mimořádně nízké hmotnosti postupně z atmosféry vyprchává. Elementární vodík je však jednou z podstatných složek zemního plynu, vyskytuje se i v ložiscích uhlí.

Ze sloučenin je nejvíce zastoupena voda, která jako moře a oceány pokrývá 2/3 zemského povrchu.

Další významný zdroj vodíku představují organické sloučeniny. Vodík patří společně s uhlíkem, kyslíkem a dusíkem mezi tzv. biogenní prvky, které tvoří základní stavební kameny všech živých organismů. Díky tomu se vodík vyskytuje prakticky ve všech sloučeninách tvořících nejvýznamnější surovinu současné energetiky a organické chemie – ropu.

Vodík je základním stavebním prvkem celého vesmíru, vyskytuje se jak ve všech svítících hvězdách, tak v mezigalaktickém prostoru. Podle současných měření se podílí ze 75 % na hmotě a dokonce z 90 % na počtu atomů přítomných ve vesmíru.

3.3 Kvalita vodíku a možnosti čištění

Jedním z nejdůležitějších parametrem kvality technického plynu je jeho čistota, případně množství nečistot, které jsou v něm obsaženy. Tento článek bude zaměřen na metody jeho čištění. Distribuované technické plyny se obvykle dodávají ve dvou kvalitách. Běžně dodávaný plynný vodík má čistotu 3.0 nebo 4.0. Vodík zvláštní čistoty bývá je obvykle označován obchodními názvy a je dodáván v čistotě 4.5 – 7.0.

Pouze pro informaci je do textu zařazena informační tabulka:

Číslo před tečkou označuje počet devítek v procentuální hodnotě a číslo uváděné za tečkou odpovídá hodnotě na posledním desetinném místě.

označení	čistota plynů	zbytkové nečistoty v ppm	zbytkové nečistoty v %
2.0	99,0 %	10000 ppm	1 %
3.0	99,9 %	1000 ppm	0,1 %
3.5	99,95 %	500 ppm	0,05 %
4.8	99,998 %	20 ppm	0,002 %
5.0	99,999 %	10 ppm	0,001 %
5.5	99,9995 %	5 ppm	0,0005 %
7.0	99,99999 %	0,1 ppm (100 ppb)	0,00001 %

Nejběžnějšími nečistotami, které se ve vodíku vyskytují jsou: vodní pára, kyslík, dusík, CO, CO₂ a uhlovodíky.

V praxi se nejčastěji využívá čištění pomocí molekulových sít nebo vymrazování. Pro čištění vodíku však byla vypracována řada dalších metod, nejčastěji se používají tzv. suché způsoby čištění. Při vyšších teplotách lze k tomu využít některé kovy (1000°C – Ti,

Zr, Mo, 800°C – Cu). Další možností je využít katalytické aktivity některých kovů nebo sorpce při nízkých teplotách. Nejčistší vodík lze připravit filtrací trubicí z kovového paladia, které je při teplotě 350°C prostupné pouze pro vodík.

3.3.1 Chlazené sorbenty

Metoda je založena na hluboké chlazení pevných sorbentů, jimž čištěný plyn prochází. Výhodou této metody je, že umožňuje odstranit různé nečistoty najednou.

3.3.2 Měděné čističe

Tyto katalyzátory obsahují CuO na vhodném nosiči. Protože se katalyzátor při provozu vyčerpá, je nutné ho znovu redukovat. Provozní teplota a účinnost je závislá na získání jemnozrnného CuO a na způsobu redukce.

3.3.3 Chromnikové čističe

Katalyzátor bývá nejčastěji nanesen na SiO₂, Al₂O₃ a Cr₂O₃. Nejčastěji se používá pro zachycování kyslíkových nečistot, k zachycování stop sirných sloučenin a odstraňování acetylenů.

3.3.4 Palladiové čističe

Největší katalytickou aktivitu vykazuje Pd, které se používá především pro snížení obsahu kyslíku ve výstupním proudu. Reakce probíhá při pokojové teplotě a tlaku, čištění může probíhat nepřetržitě a katalyzátor není pyroforický. Katalyzátor není potřeba regenerovat, protože obvykle ve výstupním proudu nejsou obsaženy katalytické jedy (síra, fosfor, arsen, organická rozpouštědla, páry kyselin a louhů, oleje apod.)

3.4 Metody detekce vodíku

Exploze a požár může způsobit rozsáhlé škody a to nejen z ekonomického hlediska (materiální škody na výrobních, skladovacích a transportních zařízeních, či okolních budovách), ale také z hlediska ekologického, sociálního a psychologického. Závažnost následků nehody potvrzují havárie, ke kterým při manipulaci s nebezpečnými látkami došlo. Proto je důležité věnovat pozornost detekci úniku.

Exploze, která následuje po inicializaci výbušné směsi vodíku a kyslíku je závažná nehoda. Tomuto tématu se budeme podrobněji věnovat v dalších článcích.

Pro každý plyn nebo hořlavou páru existuje za dané teploty a tlakových podmínek dolní a horní mez výbušnosti nebo hořlavosti. Dolní mez výbušnosti (LEL) je nejnižší koncentrace hořlavého plynu nebo směsí plynů ve vzduchu, která by mohla vyvolat explozi. Horní mez výbušnosti (UEL) je nejvyšší koncentrace hořlavého plynu nebo směsí hořlavých plynů ve vzduchu, při které může ještě dojít k výbuchu, ale při překročení této

koncentrace už k explozi nedochází pro nedostatek kyslíku. (Pro určování koncentrace plynu se užívá několika jednotek, nejčastěji to jsou % obj. a ppm (parts per million).

V případě toxických plynů je situace jednodušší - jsou stanoveny normy nejvyšší přípustné koncentrace během pracovního procesu v ukazatelích NPKP pro nejvyšší přípustnou průměrnou koncentraci a NPKM pro nejvyšší přípustnou mezní koncentraci. U analyzátorů a detektorů úniků plynů, které se do České republiky dovážejí, se pak ještě často navíc vyskytuje norma označovaná STEL (short term exposure limit), což představuje maximální průměrnou koncentraci během doby 15 minut.

K měření a detekci hořlavých a toxických plynů a para k vyhledávání jejich úniku je k dispozici celá řada detektorů nebo analyzátorů. Přenosný detektor má spíše jen signalizační světelnou a zvukovou funkci bez odečtu naměřených hodnot. Přenosný analyzátor umožňuje vedle výstražné signalizace i konkrétní odečet koncentrace plynu, případně i určení druhu plynu a nastavení poplachových stupňů do 60 % DMV. Detekční systém představuje zařízení trvale umístěné v kontrolovaném prostoru, s detektorem nebo analyzátozem, napájením, signalizací, vyhodnocením a případně i s napojením na akční zařízení. Základem všech měřicích systémů je vždy určitý senzor, který nejčastěji pracuje na některém z principů

- katalytického spalování
- tepelné vodivosti
- infračervené absorpce
- oxidačního procesu
- elektrochemického jevu.

Pro vyhledávání hořlavých plynů (vodík, LPG, zemní plyn) se používá nejčastěji senzor na bázi katalytického spalování nebo polovodičový senzor.

Katalytické senzory reagují na většinu hořlavých plynů a par používají se pro rozsah měření 0 - 100% DMV. Ke spalování hořlavého plynu u nich dochází na elektricky vyhřívaném platinovém vlákně, na kterém je nanášena vrstva s obsahem katalyzátoru. Vlivem spalování hořlavého plynu na pelistoru senzoru se poruší odporová rovnováha můstkového zapojení, jejíž velikost je úměrná koncentraci měřené látky.

Teplotně vodivostní senzory s měřením v rozsahu 0 -100% objemových jsou založené na obdobném principu jako senzory katalytické, s tím rozdílem, že rovnováha můstku je porušena vlivem rozdílné tepelné vodivosti měřeného plynu. K měření není nutná přítomnost kyslíku.

Senzory IR jsou použitelné opět v rozsahu měření 0-100% objemových u plynů, které jsou schopné pohlcovat IR záření, jako jsou např. CO₂, CH₄, nebo CO. Se změnou koncentrace přiváděného plynu se mění vstupní signál pro elektronické obvody, upravující

linearitu měření. K výhodám IR senzorů patří opět nevyžadování kyslíku k měření a nenáchylnost senzoru k přítomnosti katalitických jedů (síra, silikony, atd.).

Častým prvkem detektorů a analyzátorů bývají polovodičové, někdy nazývané oxidové senzory, které se podle svých výrobců liší povětšinou materiálem a elektrickými vlastnostmi. Měření je založené na změnách indukované elektrické vodivosti pohlcováním plynu na povrchu zvoleného kysličníku kovu.

Elektrochemické senzory jsou určeny zejména pro kyslík do 100% objemových jednotek a pro toxické plyny (v jednotkách ppm, ale jsou vhodné například i pro vodík až do DMV). Takový senzor je vybaven dvěma nebo třemi elektrodami, uloženými v elektrolytu. Tím může být kapalina, pórovité tuhé těleso nebo gel. Ke změnám výstupního proudu senzoru dochází na bázi elektrochemických jevů, úměrných koncentraci vstupního plynu.

Každý detekční a měřicí přístroj úniků plynů je charakterizován svými technickými parametry. Pro oblast práce s hořlavými plyny, zejména v prostředí s nebezpečím výbuchu, jsou podstatné předpisy dané normami ČSN EN, které rozlišují i oblast použití přístrojů například v dolech, kolektorech nebo chemických provozech, v podmínkách s různým vlivem teploty, tlaku a vlhkosti na přesnost měření.

Dnes již moderní přístroje umožňují předprogramovat parametry mnoha typických hořlavých plynů do paměti přístroje. Vše řídí mikroprocesor, který automaticky nastavuje po zvolení daného plynu potřebnou citlivost měřicího vlákna. Poslední vývoj přinesl do praxe i tzv. "inteligentní senzorový blok (smart block)", kdy se jedná o senzor, nesoucí předprogramované informace, který spolu s mikroprocesorem v přístroji umožňuje na základě spalitelné teploty daného plynu rozlišovat měřenou látku v ovzduší. Tak lze například vodík odlišit od ostatních měřených plynů (např. metan, propan, butan) a údaj přímo ihned zobrazit na displeji.

Některé typy přístrojů jsou svou konstrukcí určeny přímo pro detekování jak jednotek ppm, tak i DMV, a to i do 100% objemových jednotek. Tady se jedná o kombinace použití polovodičového senzoru a pelistoru, využívajícího principu katalytického spalování a tepelné vodivosti. Při vyšší koncentraci metanu a vytěsňování kyslíku může nastat u programově vybavených přístrojů i kombinace katalytického senzoru (0 - 100 % DMV) spolu s kyslíkovým senzorem, s možností odečítání na stupnici do 100 % objemových jednotek. Pelistor je přitom programově odpojen.

3.5 Výroba a využití vodíku

Průmyslově se dnes vodík vyrábí elektrolyzou vody nebo rozkladem zemního plynu. Vodík je, díky své vysoké reaktivitě, v čisté formě přítomný v atmosféře pouze ve stopových množstvích (kolem 0,00001 % obj.). Dále můžeme vodík získat z vody, a to jejím zahřáním na teplotu kolem 2800°C. V běžných podmínkách však není možné dosáhnout tak vysokých teplot (je to možné pomocí plasmy nebo při jaderné reakci).

Mezi další metody, které jsou nyní ve fázi vývoje, ale mohou v budoucnosti ovlivnit výrobu vodíku, patří například fotoelektrochemické metody (využití světla – fotovoltaiických článků - pro získání vodíku z molekul vody) a fotobiologické a biologické metody, které využívají schopnosti některých mikroorganismů produkovat vodík.

3.5.1 Výroba vodíku parním reformingem

Největší množství vodíku je obsaženo ve vodě a ve všech látkách ze skupiny uhlovodíků. Více než 90 % zužitkovaného vodíku se vyrábí parním reformingem. Důvodem je vysoká efektivita procesu a nízké provozní a výrobní náklady. Surovinou pro parní reforming jsou lehčí uhlovodíky, z nichž nejčastějším je zemní plyn. Jiným postupem výroby vodíku je proces parciální oxidace ropných frakcí. Postup je využíván k výrobě vodíku z těžkých uhlovodíkových frakcí.

Vodík je možné vyrábět i z uhlí nebo koksu redukcí vody uhlíkem. Proces je označován názvem zplyňování uhlí. Je analogií parciální oxidace těžkých uhlovodíkových frakcí.

3.5.2 Výroba vodíku elektrolýzou

Jednodušší a účinnější metodou je elektrolýza vody. Ve srovnání s předešlými způsoby výroby vodíku je elektrolýza finančně náročnější technologií. Srovnatelných výrobních nákladů s ostatními procesy lze u elektrolýzy dosáhnout pouze v případě, že je přístupný zdroj velmi levné elektrické energie. Právě na její ceně jsou totiž výrobní náklady elektrolýzy silně závislé. Samotná technologie výroby vodíku elektrickou energií má několik variant. Nejmodernějším způsobem je elektrolýza horké páry (při 900 až 1000°C) s očekávanou účinností přes 85%. Klasickou metodou je elektrolýza vody - kyselého nebo zásaditého vodného roztoku, elektrickým proudem, nevýhodou je však malá účinnost (asi 70%).

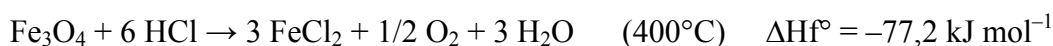
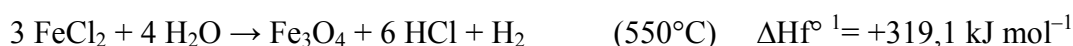
3.5.3 Termochemická výroba vodíku

Termochemická výroba vodíku je dnes možná v zásadě dvěma procesy: termickým rozkladem vody v aktivní zóně jaderného reaktoru a termochemickým rozkladem za pomoci sluneční energie. V následujících odstavcích se budeme zabývat variantou termochemického rozkladu solární energie a to cyklickou reakcí.

Získat sluneční tepelnou energii není takový problém, jako ji účinně využít. Z hlediska sluneční energie dopadající na zemský povrch, je její značnou nevýhodou pro využití v energetice především nízký stupeň koncentrace a proto je nutno ji soustřeďovat - koncentrovat. Způsoby koncentrování této řídké sluneční energie jsou relativně dobře propracované a zdokonalené, avšak co se týče způsobu jejího využití, ten již není tak dokonalý (vzhledem k účinnosti) a též je velmi málo rozšířený (například využití vysokopotenciálního slunečního tepla např. v průmyslu). Důvodem, proč bylo (a je) přímé sluneční energii věnováno jen málo pozornosti, je také malá spolehlivost, kdy např. jediný

mráček by mohl paralyzovat celou tovární výrobu (pokud by nepřešla na konvenční zdroj energie; zavedení jak konvečního tak slunečního zdroje však zvyšuje investiční náklady). Vybudováním zařízení rozkládajícího vodu termochemickým cyklem, využívající sluneční energii, v oblastech s nejvyšším slunečním zářením, lze tuto nevýhodu minimalizovat.

Nejdůležitějším bodem je zde existence cyklické chemické reakce, skládající se ze dvou na sebe vzájemně navazujících reakcí:



Kde chlorid železnatý reaguje s vodní párou při cca 550°C, přičemž vzniká oxid železnato-železitý a plynná směs chlorovodíku a vodíku. Tato směs (směs 6 HCl + H₂) je oddělována například zkapalněním HCl (teplota varu = -84,9°C, zatímco u vodíku T_v = -252,9°C). Tato reakce je endotermická.

Oxid železnato-železitý reaguje s chlorovodíkem při teplotě cca 400°C, přičemž vzniká výchozí látka - chlorid železnatý, vodní pára (vody je méně přesně o tolik, kolik se jí rozložilo na vodík a kyslík) a kyslík, který se z vodní páry odstraní po ochlazení směsi (na cca +90°C). Tato reakce je mírně exotermická. Vodík by byl uvedenou metodou získáván přibližně s 60 až 65% účinností.

Výhody využití termochemického rozkladu vody při výrobě vodíku

Výhodou využití přímé sluneční energie pro získání vodíku v termochemickém cyklu oproti využití tzv. „sluneční“ elektrické energie (získané např. fotovoltaickými články), které mění sluneční energii přímo v elektrickou, sluneční tepelnou elektrárnou a pod.) je především ve zvýšení účinnosti přeměny sluneční energie na energii elektrickou.

Účinnosti využití vložené sluneční energie dosud běžnými metodami (např. fotovoltaickými články - účinnost zatím max. 27%, klasické sluneční články 10%; sluneční tepelná elektrárna - účinnost: 10, 15, max. 30%, nebo využití Stirlingova motoru účinnost v intervalu 35 až 45%, je jak vidíme velmi malá a má své limity nejčastěji kolem 30%. To vyplývá především z toho, že klasické sluneční elektrárny pracují na principu tepelného stroje (na jedné straně stroj ohříváme (výroba páry, která pohání turbínu) na opačné straně chladíme (chladicí věže, kde se pára mění zpět ve vodu), kde tímto způsobem můžeme využít pouze 1/3 (33%) energie vynaložené na výrobu elektrické

¹ ΔH_f[°] je slučovací entalpie (slučovací teplo) - reakční teplo reakce.

energie (tedy jen 1/3 tepelné energie se přemění v elektřinu) zbylé 2/3 tepelné energie odchází chladícím systémem (+ ztráty), a nelze ji tedy využít.

Vyrobeného vodíku a kyslíku by mělo být využito i k výrobě elektrické energie v tzv. palivovém článku. V tom případě můžeme zařízení výroby vodíku a kyslíku rozkladem vody a následně navazující účinný (nad 90%) vysokoteplotní palivový článek (ten poskytuje horkou vodní páru, použitelnou k výrobě vodíku a tak i cyklus vody je tak uzavřen - produktem je pouze elektrická energie) nazvat Sluneční termochemická elektrárna. Tato by totiž z výše uvedeného principu nepracovala jako tepelný stroj. Energie se zde využívá z velkou účinností k rozkladu vody na vodík a kyslík tyto se pak rovněž z vysokou účinností slučují za vzniku elektrické energie. Žádné teplo tedy úmyslně neodebíráme, nic zde záměrně nechladíme a tak je účinnost maximalizována na pouhé státy a účinnosti jednotlivých přeměn.

Účinnost koncentrace sluneční energie: 70 - 75%

Předpokládaná účinnost chemické reakce: 95%

Předpokládaná účinnost palivového článku: 90%

Předpokládaná energie spotřebovaná pro vlastní provoz 5%

Předpokládané tepelné ztráty: 5%

Teoretický hrubý odhad účinnosti: 50 až 55%

Sluneční teplo (získané soustředěním slunečního svitu do malé plochy) odváděné do reaktoru (například sodíkovým médiem), by bylo využito ve zmíněné cyklické chemické reakci, která termochemicky rozkládá vodu na vodík a kyslík, přičemž tyto chemické prvky jsou následně vedeny do tzv. palivového článku, kde se jejich spalováním získá elektrická energie (+ pára, která může být využita v termochemické cyklické reakci).

Jak je patrné výroba elektrické energie ve sluneční termochemické elektrárně je několikanásobně účinnější než-li výroba elektrické energie klasickou metodou - tepelným strojem. Pro průmyslovou výrobu elektrické energie by však měla sloužit principiálně jednodušší termochemická cyklická reakce, přeměňující sluneční tepelnou energii na energii elektrickou.

3.5.4 Výroba vodíku z vody pomocí bakterií

Bakterie jsou netušenými zásobárnami energie. Slavný americký biolog John Craig Venter², který se podílel na rozluštění lidského genomu, této skutečnosti využívá. Snaží se vytvořit umělou bakterii produkující vodík na základě fotosyntézy.

Mikroskopické bakterie se nacházejí v každém vzorku půdy, vzduchu či vody v počtu milionů. Jejich zvláštní schopnosti přeměňovat hmotu na plyn se již zčásti využívá v průmyslovém měřítku. Konkrétně jde o bakterie schopné vyrábět hořlavý metan. V metanizační jednotce přemění bakterie v tento plyn ročně asi sto tisíc tun bioodpadu. Strávením jedné molekuly glukózy uvolní dvě molekuly metanu využívaného k výrobě elektrické energie. Jeden takový bioreaktor dodává 14 MWh (megawatthodin) elektřiny. Znamená to, že bakterie by mohly být v budoucnu využívány jako alternativní zdroje energie.

Problém je v tom, že při spalování metanu vzniká oxid uhličitý, což je jeden z plynů způsobujících skleníkový efekt. Craig Venter se rozhodl zkusit revoluční řešení. Najít mikroorganismus, který by dokázal z vody fotosyntézou vyrobit vodík, takže by šlo o naprosto čistý proces, jenž by nepoškozoval životní prostředí.

Dosud jsou známy například kyanobakterie (sinice) žijící ve vodě a schopné fotosyntézy. Vyrábějí ale vodík jen za velmi speciálních podmínek: například ve stavu anoxie (nepřítomnosti kyslíku) nebo v prostředí chudém na dusík a hlavně ve velmi malých množstvích nebo během krátkého časového období. Dále jsou k dispozici jednobuněčné zelené řasy chlamydomonády. Nejsou to sice bakterie, ale vzhledem ke schopnosti produkovat vodík za pomoci vody a slunce jsou žhavými kandidáty. Až na to, že vyrobený vodík vzápětí recyklují přímo uvnitř buňky. Ideální organismus neexistuje.

Mnohé laboratoře se proto snaží mikroorganismy geneticky modifikovat a odstranit jejich nevýhody. Craig Venter se vydal jiným směrem. Jeho cílem je vytvořit umělou bakterii, která by měla všechny požadované vlastnosti. Jaký je postup? Nejprve se z žijících bakterií vyberou ty, které jsou jednoduché, schopné fotosyntézy nebo produkce vodíku a rozluští se jejich genom. Pak je třeba genomy jednotlivých bakterií porovnat a vybrat nejvhodnější geny. Ty se pak ve speciálních přístrojích sestaví do částí dvojitého řetězce DNA, části se napojí a vznikne umělý chromozom, který bude sloužit jako genetická výbava budoucí syntetické bakterie. V poslední fázi se zářením zničí chromozom nějaké živé bakterie a nahradí uměle vytvořeným. Měl by vzniknout nový ideální organismus schopný vytvářet vodík.

² JOHN CRAIG VENTER, doktor fyziologie a farmakologie získal vysokoškolský diplom na Kalifornské univerzitě v San Diegu roku 1975. Nejprve vyučoval v New Yorku, pak nastoupil do Státního institutu pro výzkum neurologických poruch. V roce 1990 vynalezl revoluční technologii pro vyhledávání a dešifrování genů. O dva roky později založil vlastní institut pro genomický výzkum - TIGR. V roce 1995 jako první rozluštil celý genom živého organismu, bakterie *Haemophilus influenzae*. O tři roky později se pustil do luštění lidského genomu. Práce byla ukončena roku 2001.

Tým Craiga Ventera pracuje více než jedenáct let na luštění genomů bakterií. Jejich porovnáváním zatím vědci vybrali asi 300 genů, které jsou nezbytné pro přežití mikroorganismu. Zároveň vyvinuli systém na sestavení řetězce DNA složeného z několik stovek tisíc párů bází, což znamená, že by byl mnohem delší než jakýkoli dosud vytvořený řetězec. Ve Venterově institutu pro genomický výzkum (TIGR) mezitím probíhá nejdůležitější fáze celého projektu: vývoj nových bakterií. Nejprve je vytvořen minimální organismus se základními životními funkcemi. Jeho chromozomová výbava obsahuje geny nutné k řízení energetického metabolismu, tvorbě buněčné stěny, buněčnému dělení a podobně. Dále je nutné jej vybavit mimořádnými vlastnostmi podle toho, jakou funkci má plnit. V tomto případě schopností fotosyntézy a produkce vodíku. K tomu je potřeba nalézt v přírodě vhodné bakterie, které by se staly dárce příslušných genů, což je velmi obtížný úkol.

Není možné hledat bakterie ve všech vodách světa. Craig Venter si pro své účely zvolil vzorek vody z Atlantského oceánu odebraného v Sargassovém moři proslulém jako Bermudský trojúhelník. Proč právě zde? Tato oblast je známá intenzivní biologickou aktivitou. Navíc je chudá na živiny, takže fotosyntéza se stává nezbytnou schopností. Během práce objevují vědci stovky nových bakterií, které budou pro biologii přínosem, i kdyby se prvotní Venterův záměr nezdařil.

Pokud se syntetický mikroorganismus podaří vytvořit, bude jej před vložením do bioreaktoru potřeba vybavit ještě jednou vlastností. Mechanismem sebedestrukce. Život bakterií bude závislý na jediné molekule, kterou nebudou moci najít jinde než v laboratoři nebo v biologickém reaktoru. Jakákoli snaha o ovládnutí okolního prostředí bude tudíž marná. Tím vytvořil Venter pojistku proti možné ekologické katastrofě. A co víc. Nechal sestavit etickou komisi, která dohlíží na to, aby práce s bakteriemi byla ve všech směrech bezpečná.

3.5.5 Hlavní využití elementárního vodíku

- V chemickém průmyslu je vodík hydrogenacním činidlem, sloužícím k sycení násobných vazeb organických molekul, např. při ztužování rostlinných olejů.
- Redukčních vlastností plynného vodíku se někdy využívá v metalurgii k získávání kovů z jejich rud. Tento proces je ovšem nasazován pouze tehdy, kdy nelze využít běžnější redukční činidla, jako např. koks nebo dřevěné uhlí. Je to jednak kvůli poměrně vysoké ceně vodíku, ale především s ohledem na riziko možného výbuchu vodíku při kontaminaci prostředí kyslíkem nebo vzduchem za vysoké teploty.
- Vodík jako zdroj energie představuje pravděpodobně budoucnost energetiky i dopravy. Při spalování vodíku vzniká vedle značného energetického zisku pouze ekologicky naprosto nezávadná voda. Automobilové motory na bázi spalování

plynného vodíku jsou v současné době předmětem intenzivního výzkumu předních světových výrobců motorů.

- Významnou novinkou posledních několika let je zdokonalení a zlevnění palivového článku. V tomto energetickém zařízení dochází k přímé přeměně energie chemické reakce vodíku s kyslíkem na elektrickou energii. Jako paliva se přitom používá plyného vodíku, kyslík je dodáván z atmosféry jako při normálním hoření. Účinnost tohoto procesu dosahuje v současné době hodnoty 60 %, což je podstatně více než bychom dosáhli spalováním vodíku a následným využitím vzniklého tepla pro výrobu elektrické energie. Nevýhodou současných palivových článků je stále ještě jejich vysoká cena a fakt, že proces je doposud značně citlivý vůči katalytickým jedům a vyžaduje proto použití velmi čistých chemikálií. Proto se palivové články už od šedesátých let 20. století využívají především v kosmických technologiích, kde uvedené nevýhody nejsou příliš významné.
- Perspektivně jsou izotopy vodíku pokládány za hlavní energetický zdroj při využití řízené jaderné fúze, kdy lze slučováním lehkých atomových jader dosáhnout velmi významného energetického zisku. V současné době je však tento energetický zdroj pouze ve stádiu experimentálních prototypů a jejich zavedení do reálné praxe lze očekávat v horizontu několika dalších desítek let. Praktického využití jaderné fúze se doposud uskutečnilo pouze při výrobě termonukleární bomby a lze jen doufat, že experimenty vedené tímto směrem nebudou dále pokračovat.
- Hoření, neboli reakce kyslíku s vodíkem je silně exotermní a lze při ní dosáhnout teplot přes 3 000 °C. Toho se běžně využívá při svařování nebo řezání kyslíko-vodíkovým plamenem nebo v metalurgickém průmyslu při zpracování těžko tavitelných kovů.
- Mimořádně nízké hustoty plyného vodíku se dříve využívalo v letectví k plnění vzducholodí a balónů. Náhrada výbušného vodíku inertním heliem byla prakticky využitelná pouze v severní Americe s přírodními zdroji podzemního helia. Navíc se helium v době mezinárodního napětí stalo předmětem obchodního embarga především pro vývoz do Německa. Katastrofa vzducholodi Hindenburg v roce 1937, která shořela při přistání s několika desítkami obětí, éru vodíkem plněných dopravních prostředků lehčích než vzduch definitivně skončila.

3.6 Skladování vodíku

Skladování vodíku ve velkém je již principiálně vyřešeno. Například pro americký kosmický program jsou velká množství kapalného vodíku uskladněna ve vakuových mrazících nádržích; kde jedna nádrž pojme 3400 m³ vodíku. Kapalný vodík může být přepravován též po moři. Po silnici nebo po dráze v nádržích o kapacitě 75,7 m³. Pro

skladování lze též užít podzemní zásobníky, které v současné době slouží pro uskladnění směsi methanu a vodíku a lze jej převádět potrubím o velkém průměru. V USA a jižní Africe byl vodík převáděn potrubím až do vzdálenosti 80 km a v Evropě do vzdálenosti 200 km. Na skladování menšího množství (např. pro domácnosti a automobily) byly navrženy zásobníky obsahující slitiny kovů. Například LaNi_5 může absorbovat až 7 molů vodíkových na 1 mol LaNi_5 při normální teplotě a tlaku 253 kPa (do 1 kg lze absorbovat 32,6 g - 362 litrů plynného vodíku - 3,16 hmotnostních %) . Hustota rozpuštěného vodíku je dvojnásobná než v samotném zkapalněném plynu a hustota uložené energie je asi 35krát větší než v klasickém olověném akumulátoru.

Skladování vodíku je však zatíženo specifickými obtížemi. Vodík má nízkou hustotu, molekuly vodíku jsou malé, proto může difúzně pronikat i některými materiály (plasty, některé kovy,...) v kapalném i plynném stavu, způsobuje vodíkové křehnutí a je vysoce reaktivní. Existuje několik technických možností skladování vodíku.

Nejpoužívanější variantou je skladování plynného vodíku v bateriových zásobnících. Pro větší skladovací množství se využívá skladování v kapalném skupenství. Skladování velkého množství vodíku v hydridech kovů se z finančních důvodů nevyužívá, skladování vodíku v pevném stavu nebo v tzv. Slush modifikaci se dosud prakticky nepoužívá.

3.6.1 Skladování vodíku v plynném skupenství

V případě skladování plynného vodíku se obvykle používají tlaky mezi 40-200 MPa. Zásobníky se vyrábějí z nízkouhlíkové oceli bez použití svaru. Nádoby jsou obvykle v bateriovém uspořádání. Pro vyšší objemy se používají vysokotlaké nádoby (tlaky kolem 100 MPa). Energetická náročnost skladování stlačeného plynného vodíku je nižší než v případě skladování vodíku v kapalně formě. Poměrně vysoké jsou náklady na výrobu vysokotlakých nádrží, stejně jako náklady na kompresi. Přes tuto skutečnost se však jedná o variantu nejčastěji používanou.

Obrázek 1: Skladování stlačeného plynného vodíku



Další možností skladování vodíku v plynné formě je skladování v podzemních úložištích. Obvykle se jedná o vytěžené solné doly, nebo jeskyně zemního plynu. Tlak skladovaného vodíku se obvykle pohybuje kolem 11 MPa, vyšší tlak se nepoužívá z důvodu možného překročení kapilárních sil udržujících vodu v mikropórech a následného úniku vodíku.

Ve světě se tato metoda využívá na několika místech, např. v Amarillo v Texasu (850 mil. m³), ve francouzském Beynes (330 mil. m³), anglickém Billingtonu (2,2 mil m³). Další úložiště se nacházejí např. v Německu a Holandsku.

3.6.2 Skladování vodíku v kapalném skupenství

Varianta skladování kapalného vodíku je schůdná, je však složitá a energeticky i finančně náročná. Vodík totiž musí být ochlazen pod teplotu varu při požadovaném tlaku (při normálním tlaku je teplota varu -253 °C). Proces ochlazení a komprese při tom znamená ztrátu až 30% energie, uchovávané v kapalném vodíku. Další energie se spotřebovává při přechodu ortoformy vodíku na paraformu (paravodík je stabilnější při nižší teplotě a má nižší entalpický obsah).

V neposlední řadě je zapotřebí uvážit náklady na čištění vodíku – všechny plyny kromě helia mají vyšší teplotu varu a proto by při ochlazování zkapalnily a nebo ztuhly. Zvláštní pozornost je zapotřebí věnovat stopovému množství zbytkového kyslíku, jehož koncentrace v kapalném vodíku nesmí kvůli nebezpečí výbuchu překročit hranici 1 ppm. Sečteme-li náklady na proces převedení plynného vodíku do kapalně fáze a náklady na výstavbu tepelně izolovaných nádrží, pak skladování vodíku v kapalně formě se stává finančně velmi náročným procesem.

Obrázek 2: Skladování kapalného vodíku



Vzhledem k fyzikálně-chemickým vlastnostem vodíku a s tím souvisejícím nárokům na skladovací zařízení je obvykle kapalný vodík skladován ve vysokotlakých nádržích vybavených tepelnou izolací, nebo v Dewarových nádobách, které jsou vybaveny dvojitou stěnou a vakuovým meziprostorem.

3.6.3 Skladování vodíku v hydridech kovů a alkalických zemin

Systémy skladování v metalhydridech jsou založeny na principu snadné absorpce plynu určitými materiály, za podmínek vysokého tlaku a mírných teplot. Tato látky pak uvolňují vodík jako plyn v případě, kdy jsou zahřívány při nízkých tlacích a relativně vysokých teplotách. V podstatě tyto materiály, kovy, nasávají a uvolňují vodík jako „houba“.

Výhoda metal-hydridových skladovacích systémů se soustřeďuje na fakt, že vodík se stává součástí chemické struktury těchto kovů, a proto dále není požadován vysoký tlak nebo kryogenní teplota pro vlastní provoz. Jelikož vodík je uvolňován z hydridů pro použití při nízkém tlaku, jsou hydridy ze své podstaty nejbezpečnější ze všech systémů skladování.

Právě pevný lithium hydrid je nejvážnějším kandidátem na náhradu tlakové nádrže na vodík v automobilech. Problém však je, že místo šedesátilitrové nádrže, která i s palivem váží 70 kilogramů, je zapotřebí trojnásobně větší a čtyřnásobně těžší zásobník, nemluvě o vysoké ceně lithia a nutnosti jeho regenerace (opětovné nasycení vodíkem). Dosavadní praktické zkušenosti s tímto způsobem skladování vodíku pocházejí většinou z kosmických programů.

3.6.4 Uskladnění vodíku v nádržích z materiálů na bázi uhlíku

Ministerstvo energetiky USA uzavřelo dohodu se společností Air Products o výzkumu nádrží na vodík z materiálů na bázi uhlíku (tzv. nanotubes). Pětiletý projekt je součástí

výzkumných a vývojových programů vodíkové ekonomiky Spojených států, jejichž celková hodnota činí 350 milionů dolarů.

Uhlíkové materiály by měly v budoucnu nahradit těžké ocelové nádoby, které jsou pro skladování a dopravu velkých objemů vodíku nevyhovující. Při skladování v ocelových lahvích představuje vodík pouze asi 1 % celkové hmotnosti. Výhodou uhlíkových kompozitů je mnohonásobně vyšší pevnost při nízké hmotnosti. Součástí výzkumu budou i nové technologie skladování vodíku, které by měly nahradit skladování pod extrémně vysokým tlakem (až 70 MPa) nebo za extrémně nízkých teplot (-250°C). Pozornost se zaměřuje především na skladování tekutého vodíku v pomocných nosných materiálech. Na projektu se účastní vědecká pracoviště sdružená v CHSC, a to Kalifornského technologického institutu, Michiganské, Severokarolínské a Pennsylvánské univerzity, Oak Ridge National Laboratory a dalších institucí

3.6.5 Uchovávání vodíku ve vodíkových tabletách

Tým Prof. Clause Hviida Christensena z Technické univerzity v Dánsku objevil nový způsob uchování vodíku - vodíkové tablety. Může to být důležitý poznatek, který povede k jeho širšímu uplatnění jako paliva v automobilech.

Jedním z problémů, který provází vodík při jeho využití v automobilové dopravě, je jeho nízká hustota. V plynné fázi se jeho hustota pohybuje od $1,331\text{ kg/m}^3$ v normálním bodě varu ($-252,8^{\circ}\text{C}$, 1 atm) až po $0,089\text{ kg/m}^3$ při atmosférických podmínkách (20°C , 1 atm). Využití vodíku v kapalném stavu představuje významné zvýšení rizik.

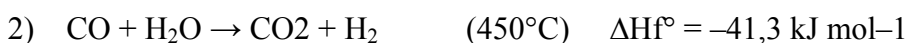
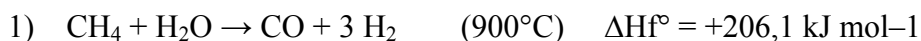
Tablety jsou bezpečné a nejsou drahé. V tomto ohledu se jedná o zcela novou technologii uskladnění plynu. Tablety jsou tvořeny čpavkem, který je absorbován na mořskou sůl. Dánské vodíkové tablety obsahují velké množství vodíku díky tomu, že je v nich vázán ve formě amoniaku (NH_3). Čpavek je z tablety uvolněn pomocí katalyzátoru, který zároveň dokáže z molekuly uvolnit volný vodík. O jaký katalyzátor jde autoři neuvádějí. Jakmile je tableta prázdná, je jí údajně možno po jednoduchém „dobití“ opakovaně použít.

Na vývoji této technologie se podílel pětičlenný tým, všichni z Dánské technické univerzity (DTU). Pokud se ukáže, že je tato metoda opravdu tak jednoduchá a účinná, jak Dánové tvrdí, byl by to velký krok k překonání dvou největších bariér širšího uplatnění tohoto ekologického paliva – nízké hustoty a vysokých rizik. Na uvádění do komerčního uplatnění se má s Dánskou technickou univerzitou podílet firmou Amminex A/S.

3.6.6 Uskladnění vodíku v chemických sloučeninách

Molekulární vodík lze převádět na sloučeniny (např. amoniak, metan, které se snáze zkapalňují než vodík samotný a proto se lépe skladují; a navíc hustota vodíku ve sloučenině je větší než v samotném zkapalněném vodíku, což je další výhodou). Tohoto bodu lze využít především při dlouhodobém skladování vodíku. Vodík se zpětně získává u

čpavku jeho katalytickým rozkladem na vodík a dusík a v případě methanu termickou reakcí s vodní párou následujícími reakcemi:



Pozoruhodným příkladem využití vodíku je výroba amoniaku na Islandu. Tato země se nejspíš stane první vodíkovou ekonomikou světa. Má k tomu oba základní předpoklady: fosilní paliva jsou tam drahá (musí je dovážet) a elektrická energie (z geotermálních a vodních elektráren) je naopak velmi levná. Dosud se export přebytku elektrické energie řeší výrobou a exportem amoniaku.

3.6.7 Další metody skladování vodíku

Mezi další alternativní metody skladování patří skladování vodíku ve skleněných mikrokapslích, apod. Dosud se tato metoda prakticky nevyužívá.

3.7 Přeprava vodíku

Transport energie je obecně větší problém, než se zdá. V následující kapitole budou představeny základní možnosti přepravy vodíku.

Jediným způsobem, kde cena představuje jen zanedbatelnou položku v celkových nákladech na provoz systému, je převoz kontejnerů s jaderným palivem. Druhým nejlevnějším způsobem je doprava ropy, ať už ropovodem nebo v tankerech. Převoz uhlí je už dražší - a ještě dražší je doprava zemního plynu, ať plynovody nebo v zkapalněném stavu pomocí tankerů. To vysvětluje, proč se při těžbě ropy na Aljašce zemní plyn vhání zpět pod zem.

Elektrická vedení vycházejí - možná překvapivě - jako ještě dražší. Elektrárny se proto stavějí tak, aby se většina vyrobené elektřiny spotřebovala v okruhu asi 150 kilometrů a dálková vedení slouží pouze k vykrývání dočasné nerovnováhy mezi výrobou a spotřebou.

Doprava vodíku je ještě dražší. Důvodem je hlavně to, že vodík má asi jen třetinovou výhřevnost na jednotku objemu oproti zemnímu plynu. Jinými slovy, k přesunu stejného množství energie je třeba dopravit trojnásobně víc vodíku než zemního plynu.

Vodík je možno přepravovat buď pomocí dálkových plynovodů a nebo uskladněný v tlakových nádobách.

3.7.1 Přeprava plynovody

Přeprava plynovody se realizuje v případě kumulace mnoha výrobců a spotřebitelů v jedné lokalitě. Ve světě existuje několik i poměrně rozlehlých sítí, nejvýznamnější je asi v Německu, celková délka této sítě je přes 200 km. Provozní tlak této sítě je 2,5 MPa,

přepravní kapacita sítě je 50 mil. m³ za hodinu, potrubí má průměr 20 cm a je umístěno metr nad zemí, provozní ztráty se pohybují kolem 1%. V USA (Texas) funguje síť dlouhá 96 km s podobnými parametry. Další menší sítě existují např. i ve Francii, Velké Británii i v jiných státech. Celkem na světě pracuje přes 1000 km vodíkových plynovodů.

Obrázek 3: Vodíkový plynovod, Texas USA



Největší problémy v tomto případě způsobuje vodíkové křehnutí a vodíková koroze materiálu a požadavky na těsnost zařízení (kvůli velké difuzivitě vodíku).

3.7.2 Přeprava v tlakových nádobách

Přeprava v tlakových nádobách může probíhat v plynném nebo v kapalném stavu. Tento způsob přepravy je finančně nákladný a je používán nejčastěji pro občasné odběratele nebo maloodběratele. Cena vodíku díky tomu stoupne na 2-5 násobek výrobní ceny.

Pro přepravu vodíku v plynném stavu se používá bateriových vozů s tlakem nejčastěji 20-60 MPa.

Pro přepravu v kapalném stavu se tradičně používají dvouplášťové vakuové zásobníky. Kvalita izolace musí být taková, aby vodík v kapalném stavu vydržel po dobu několika dní. Zásobníky obvykle mají objem 60 m³ a jsou vyprazdňovány tlakováním (řízeným odpařováním). Přeprava kapalného vodíku je vhodná pro středně velké odběratele (tisíce m³ denně). V Evropě se tento způsob přepravy používá např. ve Francii - 10t/den, Německu - 3t/den a Holandsku - 5t/den.

3.8 Legislativa vztažená k problematice vodíku

3.8.1 ČSN EN ISO 15330

ČSN EN ISO 15330 - Spojovací součásti - Zátěžová zkouška pro zjištění vodíkové křehkosti - Metoda rovnoběžné opěrné plochy.

Tato norma byla vydána v listopadu 2000 a znamenala přijetí normy EN ISO 15330 vydané v roce 1999 do systému českých norem. Tato mezinárodní norma specifikuje

zátěžovou zkoušku, která umožní zjistit výskyt vodíkové křehkosti u spojovacích součástí při pokojové teplotě. Tato norma souvisí s normou ČSN EN 10229, kterou jsme již představili v jiném článku.

3.8.2 ČSN EN 10229

ČSN EN 10229 - Hodnocení odolnosti ocelových výrobků vzniku trhlin indukovaných vodíkem (HIC).

Norma ČSN EN 10229 byla vydána v červenci 2000 a znamenala přijetí normy EN 10229 vydané v roce 1998 do systému českých norem. Tato norma stanovuje postup pro hodnocení odolnosti ocelových výrobků, se jmenovitými tloušťkami od 6 mm, před vznikem trhlin indukovaných vodíkem. Tato norma však může být používána i pro výrobky s tloušťkami menšími než 6 mm. Tato norma neplatí pro stanovení odolnosti jiným druhům koroze, jako např. koroze pod napětím atd.

3.8.3 ISO 13984 a ISO 14687

Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO zahájila podrobné systematické přezkoumání norem týkajících se vodíku.

Toto přezkoumání se týká zejména norem ISO 13984:1999 Liquid hydrogen - Land vehicle fuelling system interface (kapalný vodík - rozhraní napájecího systému pozemních vozidel) a ISO 14687:1999 Hydrogen fuel - Product specification (Vodík - specifikace produktu). Přezkoumání bude zaměřeno na to, zda dokumenty mají být zachovány, přepracovány, změněny nebo zrušeny. O normě ISO 13984 je nyní rozhodováno členy ISO TC 197, norma ISO 14687 není odeslána na hlasování, protože se bude hlasovat o opravě této normy. O zachování těchto norem bude rozhodnuto podle míry jejich integrace do systémů norem jednotlivých členských států ISO (zda je někdo využívá). Pro úplnost dodáváme, že v ČR tyto normy zatím nejsou zahrnuty do systému norem ČSN.

3.8.4 Nové standardy pro stáčení kapalného vodíku

ISO FDIS 17268 Spojovací zařízení pro stáčení stlačeného vodíku do pozemních vozidel.

Druhým návrh normy ISO 16111 Převratitelná zařízení pro skladování plynu - Vodík absorbovaný ve vratných hydridech kovů.

IEC 62282-3-3 Ed.1: Technologie palivových článků - Část 3-3 Stabilní jednotky palivových článků - Instalace.

ISO/WD 26142 - Detektory vodíku.

ISO 13984: Kapalný vodík - Rozhraní napájecího systému pozemních vozidel prochází systematickou revizí..

4. VODÍKOVÁ EKONOMIKA

4.1 Úvod od vodíkové ekonomiky

Mezi perspektivními návrhy zajímavými svou originalitou a úzce souvisejícími s úspěšným rozvojem obnovitelné i jaderné energetiky patří i úvahy o zcela novém uspořádání energetiky Země v budoucnosti.

Myšlenka předpokládá, že v určitém stupni vývoje techniky bude možné vyrábět energii v dostačujícím přebytku. Vychází z toho, že kapacitní jaderné elektrárny již budou v běžném provozu. Úvahy pak vedou k dalšímu předpokladu, že těmito zdroji vyrobená energie by vyráběla vodík. Při dostatku energie by se ho mohlo produkovat obrovské množství.

Výrobu vodíku můžeme provádět tradiční, starou a osvědčenou elektrolýzou, která probíhá s účinností využití elektrické energie přibližně na 60 %. Novým, efektivnějším způsobem je využití vysokotlakých elektrolyzérů (v pokusných zařízeních se dosáhlo účinnosti až 85 %). Teoretická hodnota účinnosti je 120 %. Tento zdánlivý paradox je způsoben povahou reakce, při jejímž ideálním průběhu lze k rozkladu kromě elektrické energie využívat i tepla okolí. V budoucnosti lze očekávat, že praktická účinnost elektrolýzy se bude pohybovat kolem sta procent.

Ještě výhodnější by však bylo vynechat fázi výroby elektřiny úplně a vodu rozkládat na vodík a kyslík bez elektrolýzy, pouze teplem reaktoru. Voda by se v horkém prostředí reaktoru ionizovala a horké plyny, směs iontů, by se pak jednoduše fyzikálními metodami dělily na vodík a kyslík.

Doprava vodíku je již bez dalších vážnějších technických problémů. Porovnáme-li vodík s methanem, je vodík podstatně lehčí, ale méně výhřevný. Pro získání stejného množství energie bude sice potřeba dopravit trojnásobné množství plynu, ale vodík je "tekutější" a projde ho potrubím víc než srovnávaného methanu. Náklady na dopravu jednotky energie do vzdálenosti 1000 km v podobě vodíku činí dnes asi 0,38 dolaru, zatímco elektřiny linkou vysokého napětí 2,5 dolaru. Při větších vzdálenostech by se možná i vyplatilo měnit elektřinu na vodík, ten přepravit potrubím a pak znovu přeměnit na elektřinu.

Spalováním vodíku vzniká voda. Jedná se tedy o ekologicky naprosto čisté palivo. Skladovatelnost vodíku oproti elektřině je nesporná.

Uplatnění vodíku je nepřeberné. V domácnostech, v dopravě, v chemickém průmyslu, v hutnictví a v řadě dalších odvětví průmyslu by pomáhal zavádět výrobní postupy neznečišťující životní prostředí. V současnosti je myšlenka na vodíkové hospodářství zatím jen vidinou budoucnosti. Dnes při tradiční výrobě elektrolýzou je to zdroj stále ještě velice drahý. Při použití jaderné energie se stane daleko levnějším.

Je zřejmé, že používání vodíku je velmi výhodné. Z pohledu současného stavu znalostí a stavu techniky se však jeví jako velmi rizikové pro svou vysokou reaktivnost a ve směsi s

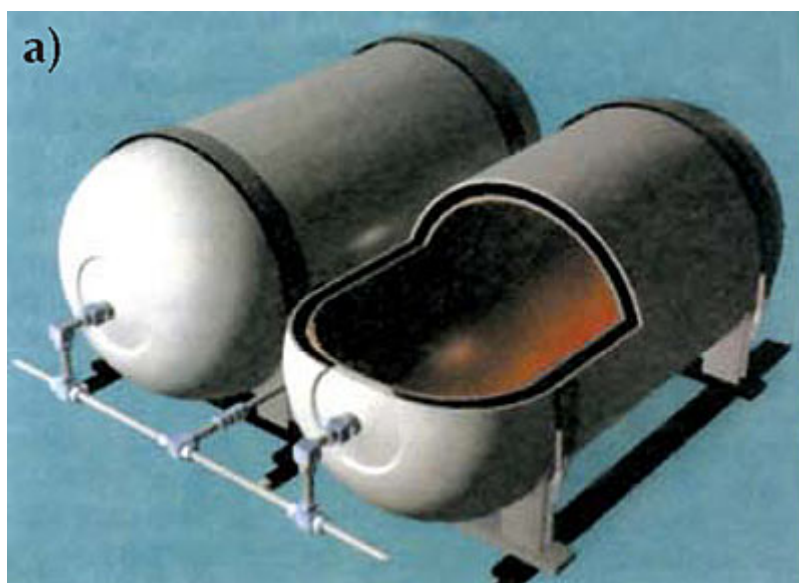
kyslíkem i výbušnost. Lze jen doufat, že do vyřešení podstatně obtížnějších otázek spojených s bezpečností jaderné energetiky bude uspokojivě zodpovězena i otázka vodíku.

4.2 Technické předpoklady vodíkové ekonomiky

Vodík - lehký a prakticky všudypřítomný plyn, je schopen vydávat po snadném přenosu a rozvodu potrubím nebo v kapalném stavu svou energii nejen spalováním, ale i přímou přeměnou v palivových článcích v elektřinu. V kterémkoliv stavu pak jako nositel chemické energie je schopen akumulovat velké množství elektrické energie např. ze slunečních článků nebo z větrných elektráren. Je schopen pohánět spalovací i turbínové motory. Není jedovatý a odpadním produktem jeho spalování je jen voda nebo pára. Dílčí technologie byly v několika průmyslových projektech již vyzkoušeny. Otázka, kdy a jak s nimi začít v praxi, je vázána na jeho levnou výrobu. V současné době svět spotřebovává ročně asi 250 mil. tun průmyslového vodíku. Získává ho převážně ze zemního plynu, štěpením ropy v petrochemických kombinátech nebo konverzí fosilních paliv parokyslíkovou směsí. Zavádějí se i technologie s termochemickými procesy na katalyzátorech.

Nejčistější vodík se získává rozkladem vody elektrickým proudem - **elektrolýzou**. Je to děj, při kterém se na elektrodách napájených stejnosměrným proudem a ponořených do vodních roztoků (voda s hydroxidem draselným nebo sodným) podle jednoduchých rovnic na anodě uvolňuje kyslík a na katodě dvojnásobné množství vodíku. Současné **pokročilé tlakové elektrolyzéry** používají v roli elektrody iontové membrány, nebo rozkládají vodní páru na keramickém elektrolytu z oxidu zirkoničitého. Na výrobu 1 kg H₂ spotřebují 45 kWh. Účinnost výroby vodíku se podle použité metody pohybuje od 40 do 60 %. Cena kg vodíku je ve většině zemí srovnatelná s kg propanu nebo ropy. Ke zkapalnění kilogramu vodíku je třeba vynaložit 40 až 50 MJ.

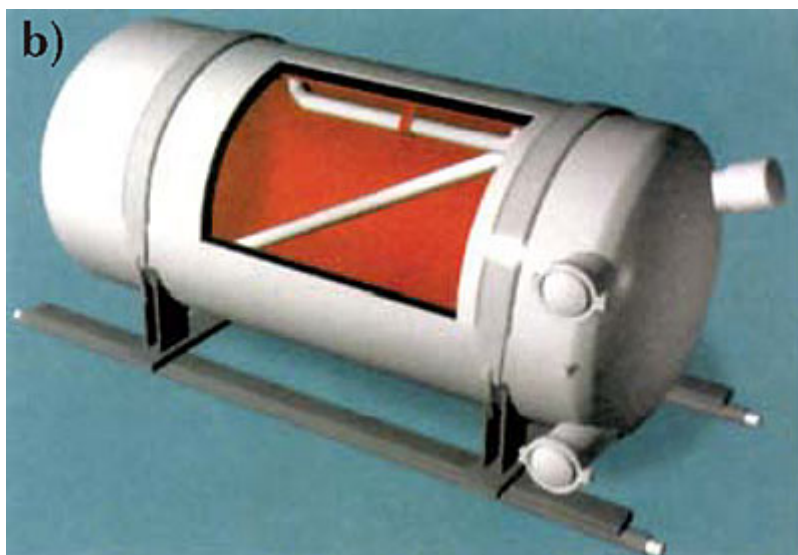
Obrázek 4: Uskladňování vodíku - plyný vodík pod tlakem 30 MPa (250 litrů)



Vodík lze přepravovat potrubím pod tlakem jako zemní plyn, vzhledem k jeho explozivním schopnostem však musí být pamatováno na příslušná bezpečnostní opatření. Přepravuje se i v tlakových nádobách pod tlakem 20 až 35 MPa .

V kapalném stavu (při teplotě $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$) se dopravuje trailery nebo speciálními tankery a uchovává se v kryogenních, dobře izolovaných nádržích, obvykle při mírném přetlaku 0,4 MPa. Problém s jeho uložením v palivových nádržích dopravních prostředků s vodíkovými motory rozřešilo vázání vodíku na kovy v podobě hydridů kovů. Nádobu vyplněná porézním kovem (např. slinutý kovový prášek prostupný pro plyn), např. na bázi lanthanu a niklu při 0,5 MPa pohltní tolik vodíku, jako tisíckrát objemnější nádržka plynu. V 10 cm³ titanových třísek se dá takto uskladnit 160 litrů vodíku. Když se náplň mírně zahřeje, vodík se opět uvolní.

Obrázek 5: Uskladňování vodíku - kapalný vodík LH₂ při tlaku 0,4 MPa, $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ (140 litrů)



4.3 Obnovitelný vodík

Vodík vyrobený pomocí obnovitelných zdrojů energie (OZE) by mohl být teoreticky ideálním palivem pro ekonomiku na celém světě. Rostoucí obavy o změny klimatu a jiné environmentální problémy týkající se bezpečnosti zásob energie, prohlubování závislosti na dodávkách ropy a rozvoje technologie vedou svět ke konečnému stavu, kdy vodíkové palivo bude produkováno pomocí OZE, např. solární nebo větrné energie, je to způsob, kdy nevznikají při produkci vodíku emise.

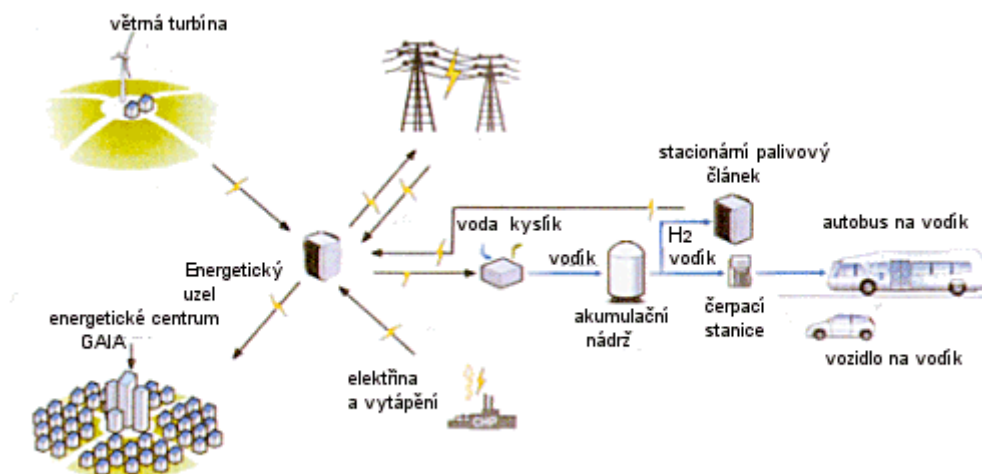
V současné době spočívá velká část produkce vodíku v přeměně fosilních paliv za použití páry jako zdroje vodíku nebo využitím fosilních paliv jako zdroje energie pro výrobu elektřiny potřebné k pohonu elektrolyzátorů používaných k oddělení molekul vodíku z vody.

Je předpokladem, že OZE by mohly hrát významnou roli při výrobě elektřiny potřebné k pohonu elektrolyzátorů. Prosazení využití OZE k pohonu elektrolyzátorů při výrobě vodíku, který by mohl být energetickou zásobárnou, by mohlo pomoci také vyřešit občasný problém spojený s OZE, stejně tak jako pozvednutí ekonomiky producentů obnovitelné elektřiny, kteří často nemohou garantovat bezpečnost požadovaných dodávek v souvislosti se současným uspořádáním obchodování s elektřinou.

Nedostatek infrastruktury je často citován jako překážka rozvoje ekonomiky vodíku. Mnoho společností zabývajících se plynem se již zapojilo do dodávání vodíku jakožto komerčního průmyslového plynu a chemického produktu. Je velmi rozšířen a má velmi dobrý bezpečnostní výkaz. Většinu překážek přechodu k vodíku je v tom, že velká část vyspělých světových ekonomik ještě není k používání vodíku vybavena. Tato situace se může změnit, protože výhody ekonomiky vodíku pokud jde o kvalitu místního ovzduší, redukci skleníkových plynů a využití OZE jsou skutečně pádné důvody.

V Evropě a Velké Británii existuje mnoho projektů zaměřených na to, aby demonstrovaly, jaké existují možnosti. Zajímavé na těchto demonstračních projektech je to, že dokazují, že hospodářství založené na vodíku vyrobeném pomocí OZE je uskutečnitelné a tedy budoucnost hospodářství vodíku se stává spíše otázkou ekonomie. Politika společně s regionálními odchylkami v různých oblastech světa (např.: postoj k energii a přírodě) bude hrát roli v ovlivňování výběru původu energie. Například pro USA je nejdůležitější hledisko bezpečnosti zásobníků energie, ale přestože i pro Evropu je otázka bezpečnosti důležitá, nejdůležitějším hlediskem v Evropě je snížení emisí uhlíku. Následkem toho má Evropa k problému trochu jiný postoj.

Obrázek 6: Koncept energetických uzlů, který propojuje nezávislé obnovitelné zdroje energie s ostatními formami energie a vodíkové hospodářství



4.3.1 Zkušební provoz

V současnosti je nejlepší využití energie vodíku jako paliva pro dopravu, které je bezemisní a neznečišťující. Existuje mnoho projektů všude na světě demonstrujících využití vodíku vyrobeného za použití fosilních paliv, který pohání palivový článek vozidel. Například EU podpořila projekt Clean Urban Transport for Europe (CUTE), jehož partnerem je BP a usiluje o zařízení tří autobusů poháněných vodíkem v každém z deseti evropských měst včetně Londýna. Tento projekt se plánuje na třetí či čtvrté čtvrtletí roku 2003. Významné projekty zkoumající technologii palivových článků probíhají také v Japonsku, Kanadě a USA (např. www.fuelcelltoday.com).

V Evropě probíhá také několik pilotních projektů zaměřených na průzkum využití vodíku vyrobeného pomocí OZE v dopravě. Je to řada malých regionálních demonstračních projektů jako je - vodík v dopravě pro Gaia Energy Centre v Delabole v Cornwall - Velká Británie, o kterém se v současné době diskutuje, až po rozsáhlejší projekty v oblasti dopravy jako je projekt USHER (Urban Integrated Solar to Hydrogen Energy Realisation) a ECTOS (Ecological City TranspOrt System) a projekty, které tvoří část náročného plánu Campaigne for Take-off, zaměřeného na dosažení absolutní nezávislosti na tradičních zdrojích energie do roku 2025 na švédském ostrově Gotland.

4.3.2 Gaia

Gaia Energy Centre je environmentální centrum sloužící jako turistická atrakce, které již významně přispělo k obnovení oblasti ve východním Cornwallu. Cílem projektu Gaia je využívat elektřinu získanou z nedaleké větrné farmy Dalebole Wind farm (první komerční větrná farma ve Velké Británii, která byla uvedena do provozu v roce 1991) pro elektrolyzu vody na vodík a kyslík. Vodík bude dále využíván pro pohon dvou autobusů na vodík, které zajistí veřejnou dopravu v okolí. Autobusy budou poháněny spalovacími motory zkonstruovanými k pohonu vodíkem. Projekt zajistí neznečišťující dopravu a obnovitelné palivo a bude také demonstrovat řešení problému nestability spojené s elektřinou vyráběnou větrnými turbínami. Partneři také doufají, že projekt vyvolá v regionu další zájem.

4.3.3 Projekt ECTOS

Koncem 20. století si Island, země, která navzdory hojnosti geotermálních a vodních zdrojů produkuje na osobu více plynů způsobujících skleníkový efekt než jakákoli jiná země, dal za úkol vytvořit první vodíkové hospodářství na světě založené na OZE. Projekt ECTOS zahájený v březnu 2001 byl prvním krokem přechodu k hospodářství založenému na vodíku. Na projektu se podílejí obyvatelé Islandu, zahraniční a mezinárodní společnosti jako např. Daimler Chrysler, Shell Hydrogen a Norsk Hydro. Úkolem projektu je demonstrovat prostřednictvím tří autobusů na palivové články = 4 % autobusů v Reykjavíku, jak může fungovat hospodářství založené na vodíku vyráběném pomocí OZE.

Vodík bude vyráběn z vody elektrolýzou s využitím vydatné geotermální a vodní energie, poté stlačen a uskladněn v čerpacích stanicích postavených pro tento účel, kde budou autobusy na palivové články doplňovat palivo. Konference na téma zpřístupnění vodíku veřejnosti se konala na Islandu koncem dubna 2003 při příležitosti otevření čerpací stanice.

4.3.4 Projekt GOTLAND

Ostrov Gotland má velký potenciál pro rozvoj využití větrné a sluneční energie a energie z biomasy, roku 1996 byl zahájen Eco-Programme, který zveřejnil cíle "stát se během jedné generace ekologicky obnovitelnou společností". Produkce vodíku založená na pohonu solární energií je pouze jednou částí celého spektra možností jak využít OZE pro vytvoření kompletní energetické nezávislosti ostrova Gotland. Ostrovní energetický plán také zahrnuje rozvoj získávání energie z biomasy, větru a slunce, stejně jako zavedení měření účinnosti energie pro snížení celkové spotřeby energie.

Gotland již podnikl mnoho kroků k dosažení těchto cílů. Větrná energie již činí 15 % dodávky elektřiny na ostrově a očekává se, že během pěti let dojde ke zdvojnásobení. Velmi dobře se také vyvíjí využití dálkového topení na rostlinná paliva. Stejně tak jako produkce elektřiny pro pohon elektrolýzérů vyrábějících vodík v rámci projektu USHER. Solární panely byly instalovány na některých městských budovách a cílem je využití solární energie k zajištění energetických potřeb nové městské knihovny a univerzitních budov ve Visby.

4.4 Budoucnost vodíkové ekonomiky

Očekává se, že těžba fosilních paliv (zejména ropy a zemního plynu) klesne a jejich ceny porostou. Jedním z náhradních paliv by mohl být vodík, jehož zásoby ve vodě jsou téměř nevyčerpatelné. Zatím ale ještě není jasné, která z technologií výroby vodíku je nejvýhodnější, jak lze vodík skladovat ve velkém, jak nejlépe ho bez nebezpečí výbuchu dopravovat na velké vzdálenosti, z čeho a jak by se měly konstruovat vodíkové motory, kam by se měly umístit palivové nádrže a kolik to všechno bude stát. Téma výzkumu a vývoje vodíkové energetiky se objevuje v prestižních časopisech 1) a zabývají se jím velké nadnárodní firmy.

Inženýr Cyrus Smith ve Verneově Tajuplném ostrově (1874) rozvíjí vizi, že jednou kapalným vodík a kapalným kyslík získané elektrolýzou vody nahradí pod kotli parníků či lokomotiv uhlí a „stanou se nevyčerpatelnými prameny tepla a světla“. Spalného tepla vodíku si přírodovědci i technici všimli dávno, ale průmyslově se vodík začal využívat až počátkem 20. století (při svařování či jako hydrogenační a redukční činidlo). 2) První pokusy s využitím vodíku jako paliva pro raketové motory začaly počátkem 50. let a do

realizační fáze se dostaly až v polovině 60. let (druhý stupeň nosných raket Atlas Centaur a Saturn 1 a druhý a třetí stupeň rakety Saturn 5).

Již r. 1839 zjistil W. R. Grove, že vodík a kyslík mohou v „plynovém galvanickém článku“ poskytovat stejnosměrný elektrický proud. Toto zařízení (palivový článek) dlouhý čas nepřekročilo status laboratorní kuriozity (jednak nebyly odstraněny některé materiálové potíže, jednak se vývoj elektrotechniky zaměřil na střídavý proud). Teprve v 60. a 70. letech 20. století přinesl rozvoj vojenské techniky takovou podobu článku, která se dala využít jako mobilní zdroj elektřiny pro kosmickou a telekomunikační techniku. 3)

4.4.1 Přednosti vodíku jako paliva.

Zásoby vodíku ve vodě jsou téměř nevyčerpatelné. Vodík má vysokou hustotu energie (vztaženo na jednotku hmotnosti) a dá se transportovat i skladovat. Z hlediska ochrany životního prostředí je spalování vodíku čistší než spalování fosilních paliv, vznik vody není provázen toxickými sloučeninami ani skleníkovými plyny.

Problémem zůstávají oxidy dusíku vznikající ve spalovacím prostoru vodíkového motoru. Jejich množství závisí na přebytku kyslíku, teplotě, tlaku a době zdržení spalín při vysokých teplotách ve spalovacím prostoru. Co se týče exhalací oxidu uhličitého a uhlikatých sloučenin z vodíkového motoru, ukázaly analýzy, že jsou minimálně o tři řády nižší než u stejně silného motoru spalujícího benzin, naftu či zemní plyn. Všechny exhalace ve vodíkovém motoru přitom pocházejí z tepelného rozkladu motorových olejů ulpívajících na stěnách válců, popřípadě mazacích a těsnících turbinových olejů. Nelze však opomenout, že z charakteru hoření, které je u vodíku výrazně rychlejší, vyplývá poměrně vysoká, dle provozních podmínek motoru až o řád vyšší koncentrace nenasyčených uhlovodíků (zejména benzenu) ve spalínách.

4.4.2 Kdo a jak bude vodík vyrábět.

V průmyslovém měřítku se vodík vyrábí jednak petrochemickými procesy včetně zplyňování uhlí (90 % produkce), jednak elektrolýzou vody. Krom toho je významným vedlejším produktem nebo součástí plynů odcházejících z rafinerií, koksáren a elektrochemických výrob na bázi vodných roztoků anorganických kyselin nebo solí. Se zplyňováním uhlí se samozřejmě nepočítá (zásoby budou vyčerpány). Za perspektivní postupy se považují: elektrolýza vody, termické štěpení vody a zplyňování biomasy, jmenovitě biomasy odpadní.

4.4.3 Výroba, doprava a skladování.

Velkovýrobní vodíku budou vázány na zdroje energie tepelné (jaderné), elektrické (vodní) nebo solární. Ty nebudou rozmístěny rovnoměrně, proto se bude uvažovat o dálkovém transportu (viz rámeček 2), možná i transoceánském a transkontinentálním,

příčemž druhý by mohl navazovat na první – zkapalněný vodík lze přepravovat buď v kontejnerech, nebo v říčních tankových lodích. Kontejnerová přeprava bude zřejmě efektivnější, neboť nebude vázána jen na splavné řeky, bude se kombinovat s železniční a silniční dopravou. Přepavní kontejnery umožní i skladování, resp. vyrovnaní bilančních výkyvů mezi výrobou, dopravou a spotřebou. Jejich nevýhodou zůstane výbušnost směsi vodíku se vzduchem, tedy riziko výbuchu při netěsnostech systému a při dopravních nehodách.

Vedle dálkového transportu zkapalněného vodíku se jistě uplatní potrubní rozvod plynného vodíku, tak jak je to běžné u zemního plynu. Lze očekávat zachování principu rozvodu vodíku vysoko-, středo- a nízkotlakými plynovody. Tím bude zajištěna dosažitelnost vodíku jako nosiče energie jak pro velké, tak pro menší odběratele.

Největší zkušenosti se skladováním a použitím vodíku jako paliva mají firmy angažující se v kosmické technice, např. americká firma Lockheed Martin vyrábějící raketoplány. Pro užití mimo kosmickou techniku vyvinula a vyrobila r. 1996 německá firma Linde A. G. kovovou dvouplášťovou nádobu s evakuovaným prostorem mezi stěnami s vnější tepelnou izolací. Předpokládá se, že se k naplnění nádrží kapalným vodíkem buď využijí čerpadla, nebo přepouštění při tlakovém spádu mezi skladovací nádrží a nádrží dopravního prostředku. Prakticky již byl uvedený systém distribuce zvládnut v rámci projektu Solar-Wasserstoff v SRN, kdy trvalo plnění 120litrové nádrže na kapalný vodík u zkušebního vozu BMW-735 pouhých 5 minut. Dnes se v osobních automobilech poháněných zemním plynem místo ocelových tlakových láhví využívají tlakové nádoby z kompozitních materiálů na bázi aramidových nebo uhlíkových vláken a syntetických pryskyřic. Mají při shodném provozním tlaku třetinovou hmotnost, jednodušší konstrukci a nižší cenu. Jejich použití pro stlačený plynný vodík je v principu také možné, ale akční rádius vozidel se oproti použití zkapalněného vodíku sníží.

4.4.4 Bezpečnostní opatření.

Výbušnost směsi vodíku se vzduchem vyžaduje přísná bezpečnostní opatření ve všech prostorách, kde se s vodíkem manipuluje, zejména pak v těch uzavřených. Bezpečnostní pravidla (přísnější než pravidla pro manipulaci s benzinem a naftou) se budou vztahovat i na prostory pro řidiče a pasažéry dopravních prostředků poháněných vodíkovými motory. Nízká hustota vodíku oproti vzduchu vyvolává intenzivní promíchávání směsi plynů, a tím rychlý vznik velkého objemu výbušné směsi v širokém rozmezí koncentrací. Lidskými smysly nelze únik vodíku do atmosféry poznat (ani při použití odorizačních prostředků). Bude nevyhnutelné používat detektory hořlavých plynů, které jsou schopny registrovat již 10 % dolní meze výbušnosti směsi vodíku se vzduchem. Mohou být připojeny na optickou a akustickou signalizaci, popřípadě mohou blokovat chod zařízení pracujících s vodíkem (motory, kompresory, čerpadla a zkapalňovací stanice, odpařovače) nebo startovat havarijní ventilaci ohrožených prostor. Významný nástup vodíku jako nosiče energie – paliva – lze proto očekávat až v „post-ropném věku“.

4.4.5 Kde se vodíková energetika uplatní

Po přechodnou dobu může vodíku jako nosiči energie konkurovat metanol, biopaliva z obnovitelných zdrojů a plynná paliva, především zemní plyn a bioplyny. S rostoucím nedostatkem uhlíkatých surovin a důrazem na produkci potravin bude jejich význam klesat.

Využití vodíku jako paliva bude zajímavé pro proudové letecké motory. Ty mají měrnou spotřebu paliva na tunokilometr nebo osobokilometr nejvyšší (přibližně třikrát až pětkrát vyšší proti např. silničním motorovým vozidlům) a jejich relativní podíl na ceně přepravy je vysoký. Odhaduje se, že do r. 2030 vzroste cena jejich současného paliva (kerosinu) zhruba pětkrát. Proto se v posledních deseti letech známé letecké konstruktérské firmy (Tupolev, Daimler-Benz Aerospace, Dornier, Airbus Aerospace aj.) a firmy se zkušenostmi v kryogenní technice (např. Linde A. G.) zabývají vývojem motorů, palivových nádrží a letounů poháněných vodíkem. Již r. 1988 se zkoušel vodíkový tryskový motor na dopravním letounu TU-154 (vzlétl pod typovým označením TU-155).

Výhodou spalovacích turbín a jimi poháněných turbodmychadlových leteckých motorů je jejich poměrně jednoduchá adaptace na vodík. Spočívá hlavně v úpravě počtu směšovacích trysek nebo zkrácení spalovacích komor pro vyšší rychlost hoření vodíku a nutnost jeho dokonalého směšování se spalovacím vzduchem. Větším problémem je konstrukce a umístění palivových nádrží, jejichž provozní teplota musí být $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ při provozním tlaku 1,2 MPa. Proto nemohou být v křídlech jako dosud, bude se muset změnit konstrukce letadel. Navíc se palivové systémy musí doplnit o tepelné výměníky – výparníky pro zplynění kapalného vodíku, čímž se patrně (dle dosavadních technologických znalostí) sníží nosnost nebo dolet letadel.

Složitá bude též konstrukce pístových zážehových spalovacích motorů na vodík, konkrétně zajištění optimálních podmínek hoření při tak mimořádné rychlosti hoření a výbušnosti směsi vodíku se vzduchem v koncentraci od 4 do 74 objemových procent. Bude se muset upravit systém směšování paliva se vzduchem a časování zážehu.

4.5 Zapojení vodíku do energetického hospodářství

Otázkou zůstává: kdy a jak začít. Použití velkého množství vodíku má smysl jen v případě, že primární energie spotřebovaná k jeho výrobě je ekologicky čistá. Navíc musí být v místě výroby nadbytek energie.

Restrukturalizace existujícího energetického systému trvá dlouhou dobu, třeba i několik desetiletí. S ohledem na dlouhou dobu potřebnou k jeho realizaci, je třeba se zaváděním vodíkových technologií začít už dnes. Zavádění vodíku a obnovitelných zdrojů energie musí probíhat současně.

Ve fázi přeměny musí být koloběh obnovitelné energie a vodíku oddělen. K výrobě vodíku je třeba použít konvenčních energetických zdrojů. Především v oblastech s

vysokými hodnotami znečišťujících emisí. Vodík je vhodný jako palivo pro kombinovanou výrobu tepla a energie, anebo pro přepravní účely: - v autobusech MHD, v letadlech apod.

Vodík může být vyráběn existujícími elektrárnami energeticky optimálním způsobem. Elektrolyzátor pro výrobu vodíku by bylo možné umístit do elektrické sítě jako prostředek ke kontrole a řízení elektrického systému.

Zavedení elektrolyzátorů v místech poptávky umožňuje přemístit řízení zátěže z elektrárny do odběrného místa. Elektrárny budou schopny vyrábět za optimálních podmínek při plném zatížení. Sníží to nákladovou nevýhodu, kterou má elektrická produkce vodíku oproti výrobě ze zemního plynu. Kromě tržní ceny vodíku je výhodný i lepší výkon elektráren.

Vodík nabízí energetickým společnostem do budoucna řadu možností. Subjekty vyrábějící energii mají zkušenosti s nosiči energie. Ty mohou být užitečné kupříkladu pro použití vodíku jako primárního paliva pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Navíc se nabízí šance prodávat vodík sektoru dopravy a vstoupit tak na nový trh.

V současnosti je zavádění vodíku do energetického hospodářství teprve na začátku. Ačkoliv se jeho výroba a aplikace v posledním období bez problémů začlenily do průmyslového sektoru, v energetickém systému ještě existují některé otázky.

Každý člověk potřebuje energii a musí být schopen akceptovat nosič energie. Elektrické vodiče, dálkové rozvody tepla a zemního plynu, benzín, topný olej. O totéž je třeba usilovat i v případě vodíku. Šíření poctivých a spolehlivých informací (založené na ryzích argumentech) musí vytvořit důvěru v tento prostředek přenosu energie. Jasná prezentace podpořená praktickými aplikacemi ukáže proveditelnost celé koncepce.

Navíc musí být učiněny příslušné právní kroky. Důležité je vytvoření bezpečných podmínek pro zacházení s vodíkem, protože nelze předpokládat, že každý uživatel v průmyslovém i komerčním sektoru bude mít s vodíkem zkušenosti.

Se zřetelem na technické zdroje je stále potřebný základní a aplikovaný výzkum. Musí být vyvinuty účinné a ekonomicky konkurenceschopné systémy na výrobu vodíku a jeho aplikace.

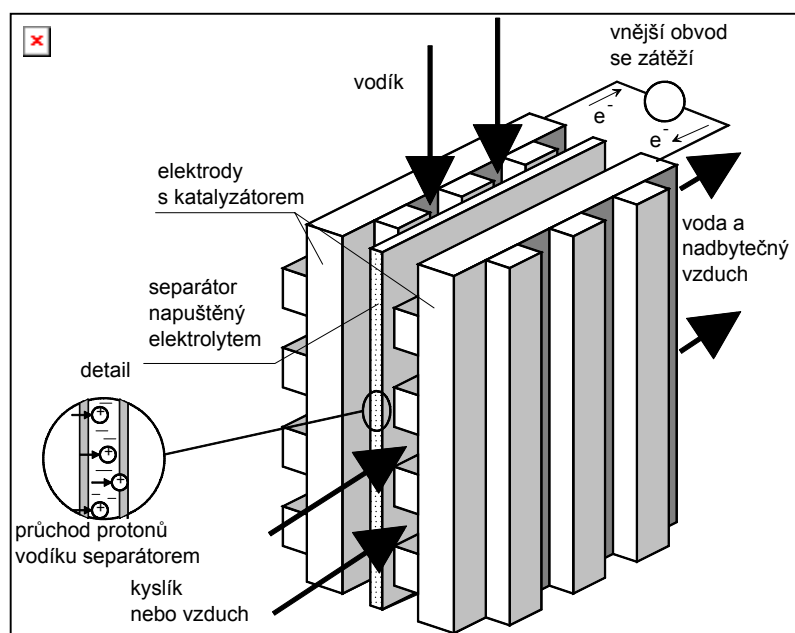
5. PALIVOVÉ ČLÁNKY

Palivové články jsou energetická zařízení primárně využívající vodík přímo a nebo vodík reformovaný z jiných paliv. V následujících kapitolách bude uvedeno základní shrnutí technologie palivových článků a dále aktuální vývojové a výzkumné trendy v oblasti výroby, nasazení a využití palivových článků.

5.1 Palivové články

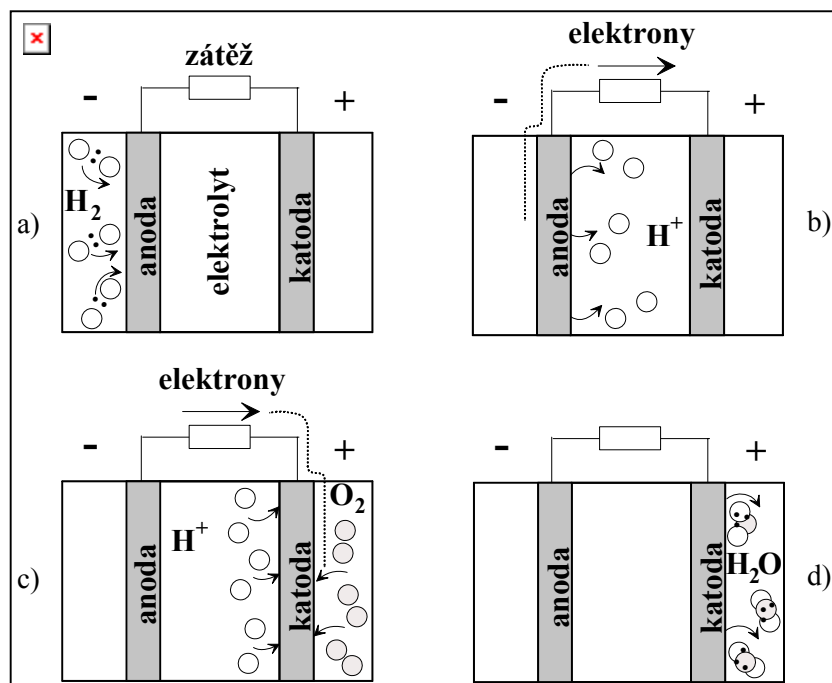
Palivové články patří mezi zařízení, v nichž na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. V tomto ohledu jsou tedy podobné článkům primárním či sekundárním (bateriím). Existují zde ovšem značné rozdíly. Ten zásadní spočívá ve skutečnosti, že aktivní chemické látky nejsou v případě palivových článků součástí anody a katody, ale jsou k nim průběžně přiváděny zevnějšku. Obě elektrody působí výlučně jako katalyzátor chemických přeměn, během činnosti článku se téměř neopotřebovávají a jejich chemické složení se nemění. Palivový článek se tedy nevybíjí. Pokud jsou do něho aktivní látky přiváděny trvale, může pracovat prakticky bez časového omezení. Mízí zde tudíž i pojem "kapacita článku". Kromě napětí se proto mezi charakteristické parametry obvykle řadí i velikost proudu či výkonu odebíraného z 1 dm^2 (1 cm^2) elektrod. Často se také udává měrný výkon (W/kg), objemový výkon (W/dm^3) nebo výkon na jednotku plochy elektrod (W/cm^2). Další rozdíl spočívá v tom, že pracovní teplota většiny palivových článků je vyšší (u některých typů velmi výrazně) než u baterií, což se odráží jak v technologii výroby, tak i v určité době náběhu, než dosáhnou jmenovitých provozních parametrů. Principiální schéma je znázorněno na následujícím obrázku:

Obrázek 7: Schéma technologie výroby elektřiny v palivovém článku



Princip činnosti palivového článku je velmi jednoduchý. Na zápornou elektrodu, které říkáme palivová (jedná se o anodu), se přivádí aktivní látka (palivo). Ta zde oxiduje (její atomy se zbavují - často za přispění katalyzátoru - jednoho nebo několika elektronů z valenční sféry) a uvolněné elektrony představující elektrický proud se vnějším obvodem pohybují ke kladné elektrodě (katodě). Na kladné elektrodě, kam se přivádí okysličovadlo, naopak probíhá redukce (atomy okysličovadla volné elektrony přijímají) za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikají elektrolytem. Pokud se vnější obvod se zátěží přeruší, probíhající chemické reakce se z důvodu deficitu elektronů okamžitě zastaví. Možný průběh reakcí v palivovém článku pro případ, že palivem je vodík a okysličovadlem kyslík, je znázorněn na následujících obrázcích, výsledkem spalování je zde v závislosti na pracovní teplotě článku voda či vodní pára.

Obrázek 8: Schéma činnosti palivového článku



První palivový článek (velmi primitivní) sestrojil již v roce 1839 Angličan William Grove. V té době se však jednalo o zcela ojedinělý počín a jejich další vývoj více než na sto let prakticky ustrnul. Teprve koncem padesátých let došlo v souvislosti s požadavky na různá zařízení potřebná pro kosmický výzkum (nezávislé zdroje energie v družicích a satelitech) k renesanci v jejich výzkumu. Ten slavil v následujících dvou desetiletích řadu úspěchů, v jejichž důsledku se začaly (a odborný tisk nebyl výjimkou) objevovat nepřiměřeně optimistické prognózy. Předpovídalo se například, že do konce tisíciletí nastane soumrak klasických spalovacích a dieselových motorů (svět ovládnou elektromobily poháněné vysoce výkonnými palivovými články), uplatnění článků vzroste i v mnoha dalších odvětvích od letectví až po lehký průmysl, v řadě aplikací postupně vytěsňují klasické

baterie apod. Později ovšem tento optimismus s rostoucími nároky na materiály a technologii výroby poněkud vyvanul. Ukazuje se, že palivové články nelze především z cenových důvodů stále ještě počítat k běžně dostupným zdrojům elektrické energie. Lze však očekávat, že jejich význam do budoucna určitě poroste; příčinou je především relativně vysoká účinnost přeměny energie a pozitivní dopad na životní prostředí. Tento trend potvrzuje i fakt, že velké množství teoretických i firemních pracovišť (včetně všech významných světových výrobců automobilů) vynakládá nemalé prostředky na jejich další intenzivní výzkum.

5.2 Základní komponenty palivových článků

Základními prvky každého palivového článku jsou dvě elektrody (záporná - anoda a kladná - katoda) a elektrolyt. Jejich struktura zpravidla závisí na použitém palivu, případně na vlastnostech okysličovadla.

Palivem mohou být plynné, kapalné i tuhé látky. Z plynů lze jmenovat již zmíněný vodík H_2 , oxid uhličitý CO nebo hydrazin N_2H_4 , z kapalin metanol CH_3OH a další složitější alkoholy a z tuhých látek některé kovy (sodík Na , hořčík Mg , zinek Zn , kadmium Cd). Okysličovadlem mohou rovněž být plynné (kyslík O_2 , chlor Cl_2), kapalné či tuhé látky (oxid rtuťnatý HgO , oxid manganitý MnO_2), ale z praktických důvodů se nejčastěji využívá kyslík z okolního vzduchu.

Záporná elektroda musí být uzpůsobena skupenství přiváděného paliva. Je-li palivem plyn, musí na ní být co nejvíce míst kde se může setkávat fáze pevná (elektroda a případný katalyzátor), kapalná (některé elektrolyty) a plynná (palivo). Tato místa jsou tvořena soustavou pórů a kapilár, které vznikají během výroby například tak, že se jednotlivé vrstvy elektrody lisují z materiálů o určité velikosti zrn, nebo obsahují snadno rozpustné materiály, po jejichž odplavení vznikají ve strukturách elektrody další dutinky. Během činnosti článku jsou póry vyplněny plynem a kapiláry elektrolytem. Takové elektrody jsou většinou kovové a říká se jim difúzní. Jinou možností je hydrofobizace pórovité elektrody, kdy se vnitřní struktura pórů upravuje smáčením v organickém polymeru. Stěny pórů pak mají různou smáčivost vůči přítomnému elektrolytu, takže některé póry elektrolyt přijmou, jiné nikoli (drží se v nich plynné palivo). Této úpravy se užívá zejména u elektrod uhlíkových. Je-li palivem kapalina, pracuje palivová elektroda pouze s pevnou a kapalnou fází, takže jemná porézní struktura ztrácí na důležitosti. Rozhodujícím faktorem se nyní stává velikost aktivního povrchu elektrody, poněvadž palivo se k ní přivádí rozpuštěné v elektrolytu. Záporná elektroda je pak od kladné oddělena separátorem, který propouští pouze vybrané ionty.

Vzhledem k tomu, že okysličovadlem je zpravidla plyn, platí pro kladnou elektrodu stejné zásady, jako pro zápornou s možným stykem všech tří fází.

Je-li provozní teplota článku nízká, musí být povrch elektrod navíc opatřen vhodným katalyzátorem příslušných reakcí. Známa je především platina nebo palladium. Tyto kovy jsou ovšem velmi drahé a proto se v současné době hledají látky, které by je byly schopny nahradit.

Palivové články se však dělí především podle typu elektrolytu. V současné době rozeznáváme následujících pět systémů (závorky obsahují zkratky běžně užívané v literatuře):

- alkalické články (AFC's - alkaline fuel cells), v nichž je elektrolytem zpravidla zředěný hydroxid draselný KOH,
- články s tuhými polymery (PEFC's - proton exchange fuel cells), v nichž je elektrolytem tuhý organický polymer,
- články s kyselinou fosforečnou (PAFC's - phosphoric acid fuel cells), jejichž elektrolytem je jmenovaná kyselina (H₃PO₄),
- články s roztavenými uhličitany (MCFC's - molten carbonate fuel cells), v nichž je elektrolyt tvořen směsí roztavených uhličitánů,
- články s tuhými oxidy (SOFC's - solid oxide fuel cells), kde elektrolytem jsou oxidy vybraných kovů.

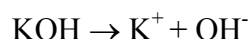
Uvedené systémy se liší jednak chemickými reakcemi probíhajícími na jednotlivých elektrodách, provozní teplotou i účinností elektrochemických přeměn. Jejich podrobnější popis je předmětem následujícího odstavce.

5.3 Popis jednotlivých systémů

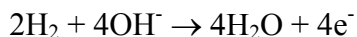
Tato kapitola obsahuje stručný popis jednotlivých systémů palivových článků. Palivem je ve všech případech buď vodík, zemní plyn nebo jiné látky schopné uvolňovat vodík (například uhlovodíky), okysličovadlem pak plynný kyslík.

5.3.1 Alkalické články

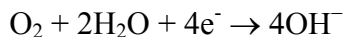
Obě elektrody jsou zpravidla vyrobeny ze spékaného práškového niklu s přísadou uhlíku (za účelem zvýšení elektrické vodivosti), a opatřené vrstvičkou platiny jakožto katalyzátoru (článek pracuje při teplotách od 50 do 100° C). Molekuly KOH obsažené v elektrolytu disociují (štěpí se) podle reakce



Vodík přiváděný na anodu reaguje s anionty OH⁻ podle rovnice



Uvolněné elektrony dospějí vnějším obvodem ke katodě, kde reagují s přiváděným kyslíkem a vodou podle rovnice



Anionty OH^- pronikají elektrolytem zpět k anodě, kde se dále zúčastňují reakce (a2). Dále je patrné, že se voda na anodě vyvíjí dvakrát tak rychleji, než se spotřebovává na katodě (u některých jiných typů článků je tomu právě naopak).

Alkalické články se během let osvědčily zejména v zařízeních pro kosmický výzkum (Gemini, Apollo, Shuttle). Jejich největší předností je poměrně vysoká účinnost (až 70%), energetická vydatnost a značné množství vody, která je vedlejším produktem a lze ji recyklovat. Nevýhodou jsou pořizovací náklady, v nichž hlavní roli hraje cena elektrod. To je důsledek přítomnosti platiny nebo jiných katalyzátorů z vzácných kovů (již v sedmdesátých letech začala NASA používat u těchto článků katalyzátor na bázi slitiny zlata s 10-20% platiny). Trh s těmito články je proto dosti omezený. Další nevýhodou je skutečnost, že hydroxid draselný KOH přítomný v elektrolytu reaguje se vzdušným oxidem uhličitým CO_2 za vzniku uhličitanu draselného K_2CO_3 . Ten postupně degraduje vlastnosti elektrolytu a rovněž zanáší póry elektrod. Z tohoto důvodu musí být jako okysličovadlo dodáván čistý kyslík, což rovněž provoz článku prodražuje.

5.3.2 Články s tuhými polymery

Měrný výkon těchto článků je až o řád vyšší, než u ostatních typů (s výjimkou moderních článků s kyselinou fosforečnou, jejichž parametry jsou srovnatelné). Tyto články pracují s vodíkovým palivem získávaným z uhlovodíků a vzdušným kyslíkem. Tuhý polymer jakožto elektrolyt snižuje nebezpečí koroze a dalších nepříznivých jevů obvyklých v člancích s kapalnými elektrolyty. Nízká provozní teplota (70 - 85° C) zajišťuje dostatečně rychlý náběh článku a nevyžaduje žádné tepelné odstínění k ochraně obsluhy.

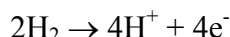
Elektrolytem je tenká polymerová membrána, která vypadá jako silnější fólie na balení potravin. Ta působí jako elektronový izolátor a současně jako výtečný vodič vodíkových kationtů (protonů, odtud název). Používaným materiálem je polymer na bázi uhlíku a fluoru podobný Teflonu, k jehož řetězci jsou připojeny skupiny obsahující sulfonovou kyselinu. Protony mohou volně přes membránu migrovat, přičemž ztráty v důsledku vnitřního odporu elektrolytu jsou nepatrné.

Anoda a katoda jsou vyrobeny aplikací malého množství platinové černi na jednu stranu tenkého listu porézního grafitického papíru, jenž byl předem opatřen teflonovou ochranou proti zvlhnutí. Elektrolytická membrána je posléze vložena mezi anodu a katodu a všechny tři části jsou za tepla a pod tlakem spojeny do jednoho celku. Tento celek, který

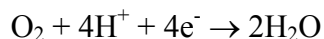
představuje srdce palivového článku, má tloušťku menší než 1 mm. Díky nižšímu množství platiny poklesla jeho cena na přijatelnou úroveň.

Obě elektrody jsou na opačných stranách opatřeny destičkou s jemnými kanálky, která je vyrobena z grafitu. Stěny mezi kanálky zajišťují elektrický kontakt se zadní částí elektrody a vedou elektrický proud do vnějšího obvodu. Samotné kanálky rozvádějí na anodě palivo a na katodě okysličovadlo.

Na anodě dochází k rozkladu molekul vodíku podle rovnice



Obě složky protékou ke katodě: elektrony vnějším obvodem se zátěží, zatímco kationty vodíku migrují membránou. Na katodě poté probíhá reakce za vzniku vody v kapalně fázi.



Hlavním výrobcem těchto článků je pravděpodobně společnost Ballard Power Systems v Kanadě. Ta například vyvinula články vhodné pro pohon busů ve Vancouveru, Chicagu a dalších městech (délka busu 12 m, 60 pasažérů, celkový výkon cca 200 kW, dojezd 400 km). Jejich výkonové parametry jsou přitom zcela srovnatelné s parametry podobných vozidel s dieselovým pohonem a daleko příznivěji vyznívají ekologické aspekty a účinnost přeměny energie. Použité články jsou charakterizovány proudovou hustotou více než 4 A na 1 cm² aktivní plochy a napětím 0.5 V, což dává plošný výkon na úrovni více než 2 W/cm². Je-li však jako okysličovadlo použit místo kyslíku vzduch, klesá proudová hustota až na 50%.

Dalším z řady výrobců je americká firma DAIS. Ta vyrábí jednotky ve tvaru mnohvrstvého sendviče sestávajícího z více (nejčastěji 12) dílčích článků. Celá jednotka se vkládá do pouzdra obsahujícího ještě nádrž s vodíkem a regulátor, jehož úkolem je nastartovat a ukončit výrobu elektřiny. Dílčí článek má hmotnost asi 60 g, jednotka o výkonu 10 W má s oběma uvedenými doplňkovými prvky hmotnost asi 1.7 kg. Při teplotě 30° C, celkovém napětí 7 - 10 V a 40 l vodíkové náplně je jednotka schopna 12 hodin provozu. Její životnost je vyšší než 2500 hodin. Používá se jí např. v přenosných svítilnách a menších elektrických spotřebičích.

Má se však zato, že tyto články naleznou nejlepší uplatnění v automobilismu a obecně dopravní technice.

5.3.3 Články s kyselinou fosforečnou

Tyto články se řadí mezi teplé (pracují při teplotách okolo 190° C). Vyrábějí se již více než 20 let a technologie jejich výroby je zvládnuta na velmi vysoké úrovni. Palivem může být buď čistý vodík, nebo některé uhlovodíky (např. metan CH₄).

Elektrolytem je kyselina fosforečná, která je obsažena v matrici z karbidu křemíku s přísadou Teflonu. Jemná porézní struktura matrice do značné míry zabraňuje úniku elektrolytu během činnosti článku, i když jeho menší množství může být strženo proudem paliva či okysličovadla. Po určité době se proto elektrolyt kontroluje a případně doplňuje.

Obě elektrody jsou tenké destičky z pórovitého uhlíku opatřené platinovým povlakem sloužícím jako katalyzátor. Palivo i okysličovadlo jsou přiváděny k zadním stěnám elektrod paralelními drážkami v deskách z uhlíku či uhlíkatých sloučenin. Tyto desky jsou dobře elektricky vodivé a odvádějí elektrony od anody ke katodě sousedního článku. Často mívají drážky po obou stěnách; takové desky se nazývají bipolární. Podél jedné strany se přivádí palivo k jednomu článku a podél druhé okysličovadlo k článku sousednímu. V některých z těchto desek bývají i chladičí kanálky, kterými proudí buď vzduch či voda za účelem odvádění nadbytečného tepla.

Anodová i katodová reakce jsou totožné s reakcemi popsány v předchozím odstavci. Vzhledem k vyšší pracovní teplotě je však produktem spalování vodní pára vznikající na katodě. Je-li provozní teplota o poznání nižší než 190°C , část vodní páry je pohlcena elektrolytem (nežádoucí). Naopak, při teplotách vyšších než 210°C dochází k rozkladu elektrolytu (což je rovněž nežádoucí). Článek je náchylný k otravě oxidem uhelnatým.

Plošný výkon běžného článku s kyselinou fosforečnou se pohybuje kolem 0.2 W/cm^2 . Jednotky obsahující tyto články dosahují v současné době výkonů až 200 kW (Fuel Cells Corporation, USA a další výrobci). Užívají se jako kombinované zdroje elektřiny a tepla pro vytápění nebo ohřev užitkové vody (USA, Evropa, Japonsko). Jejich cena je však doposud velmi vysoká (2500 - 3000 USD/kW). Jsou velmi spolehlivé a během dlouhodobých experimentů pracovaly bez poruchy více než 1 rok. Elektrická účinnost se pohybuje v oblasti 36 - 42%, přičemž vyšších hodnot se dosahuje při zvýšeném tlaku paliva a okysličovadla. To ovšem vyžaduje další náklady na přídatná zařízení. Tepelná účinnost se naopak pohybuje v intervalu 37 - 31%.

5.3.4 Články s roztavenými uhličitany

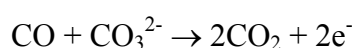
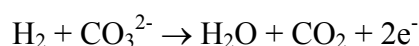
Výzkum v oblasti těchto článků se rozvíjí od šedesátých let, kdy byly prováděny experimenty týkající se přímého využití uhlí jako paliva. Jedná se o teplé články, jejichž pracovní teplota se pohybuje kolem 600°C . Důsledkem je skutečnost, že elektrody nemusí být opatřeny katalyzátorem z ušlechtilých kovů, které jinak zajišťují plynulý průběh oxidace a redukce.

Elektrolytem je směs roztavených uhličitánů v pórovité chemicky inertní keramické matrici sestávající ze směsi oxidů lithia a hliníku (LiAlO_2). Složení elektrolytu se může měnit, avšak zpravidla obsahuje uhličitán lithný Li_2CO_3 a uhličitán draselný K_2CO_3 . Za provozu článku je směs uvedených solí roztavena a má velmi vysokou iontovou vodivost. Malá část elektrolytu se během provozu článku může odpařit, což však nemá na parametry

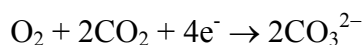
člátku rozhodující vliv. Palivem je zemní plyn, který se v důsledku vysokých teplot uvnitř článku rozkládá za vzniku plynného vodíku, nebo plyny vznikající zpracováním uhlí.

Obě elektrody musí být navrženy tak, aby byly schopny trvale pracovat ve velmi agresivním a teplém prostředí vyvolávajícím korozi. Anoda je vyrobena spékáním práškového niklu s přísadou chrómu a je vysoce porézní. Katoda je vyrobena z oxidu nikelnatého NiO dopovaného lithiem. Rychlost koroze katody je významným faktorem životnosti článku.

Chemické reakce na anodě jsou popsány rovnicemi

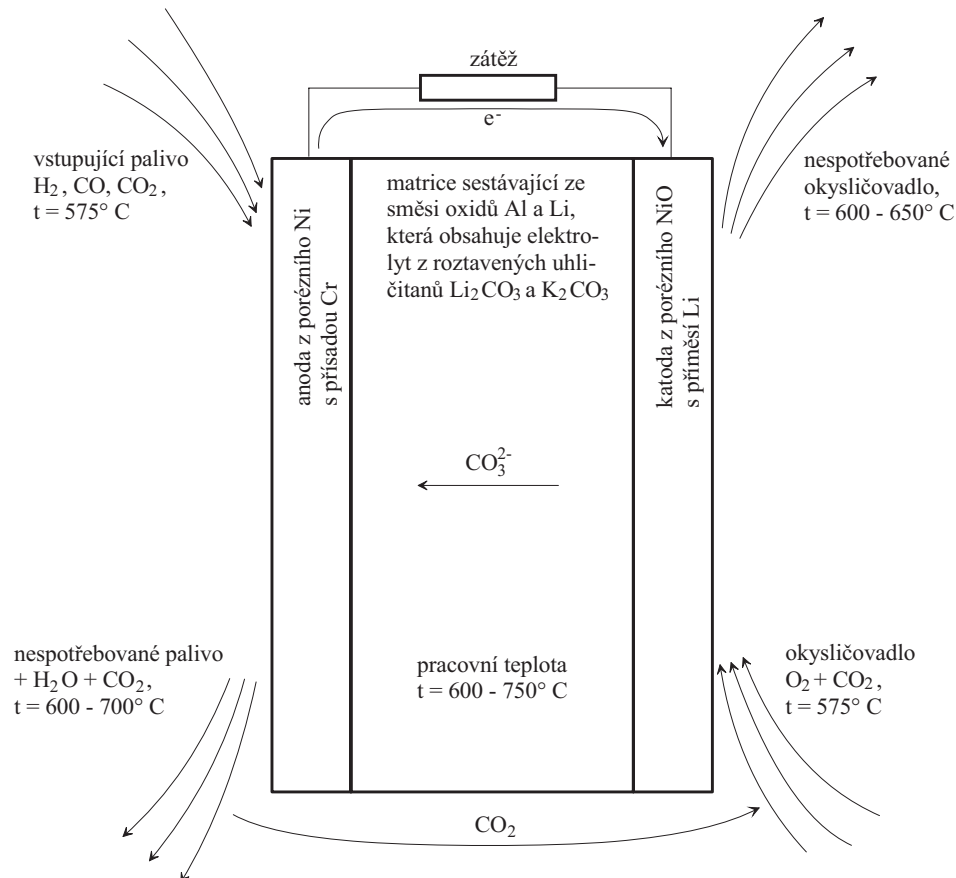


kde CO_3^{2-} představují dvojmocné uhličitánové anionty získané disociací molekul elektrolytu. Na katodě přitom probíhá reakce



při níž se uhličitánové anionty znovu vytvářejí a postupují elektrolytem k anodě. Oxid uhličitý CO_2 potřebný pro zdárný průběh katodové reakce se odebírá z anody, kde vzniká spolu s vodní párou jako vedlejší produkt. Celý proces je pro ilustraci znázorněn na obr. 2.

Obrázek 9: Děje v palivovém článku



Dílčími nevýhodami je komplikovanější nastartování článku (než se dostane do teplého stavu) a nebezpečí otravy sírou, která je v určitém množství v zemním plynu přítomná.

S rostoucí provozní teplotou se mění teoretické napětí článku a spolu s ním i elektrická účinnost. Vyšší teplota urychluje popsané reakce a tedy velikost proudu při daném napětí. Teplotu (zejména na katodě) lze udržet regulací rychlosti proudu vzduchu. Obecně lze říci, že výstupní výkon článku je o něco vyšší, než u článku s kyselinou fosforečnou.

Energii přehřáté vodní páry, která pod vysokým tlakem odchází, lze samozřejmě dále zužítkovávat. Lze ji například přivádět do soustrojí turbína - generátor a vyrábět tak dodatečnou elektrickou energii. Při kombinovaném využití článku (elektrická energie, teplo) dosahuje elektrická účinnost až 60%. Zdá se proto, že tyto články naleznou své uplatnění především v uvedených aplikacích. V roce 1996 byla v Santa Clara v USA vybudována experimentální elektrárna s těmito články o celkovém výkonu 2 MW.

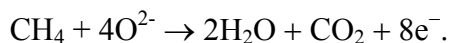
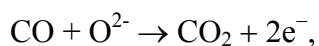
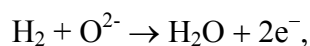
5.3.5 Články s tuhými oxidy

Články s tuhými oxidy využívají keramický elektrolyt. Ten má tři základní výhody. Nevyvolává korozi, eliminuje problémy spojené se zacházením s tekutým elektrolytem a neklade žádná omezení na tvar článku. Aby však byla zajištěna jeho přiměřená iontová

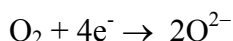
vodivost, musí článek pracovat při teplotách blízkých 1000° C. Na druhé straně není při takových teplotách nutné používat katalyzátor, palivem nemusí být čistý vodík a současně lze produktů spalování (přehřáté vodní páry) využívat k další výrobě elektrické energie či tepla.

Elektrolytem bývá nejčastěji tuhá směs oxidů yttria a zirkonu. Tyto látky patří při dostatečně vysokých teplotách mezi výborné vodiče dvojmocných aniontů kyslíku. Anoda sestává z niklu a oxidu zirkoničitého ZrO_2 stabilizovaného oxidem yttritým Y_2O_3 (někdy s přísadou chromu); jedná se o látky, které zabraňují spékání částic niklu. Poréznost anodové struktury se pohybuje mezi 20-40%. Katoda má rovněž porézní strukturu a připravuje se ze slitiny lanthanu a oxidu manganového dopované menším množstvím stroncia. Tato slitina ($La_{1-x}Sr_xMnO_3$, kde $x = 0.1 - 0.15$) vykazuje vlastnosti polovodiče typu p.

Palivem jsou obvyklé plynné látky získané zpracováním uhlí. Tyto látky mohou obsahovat čistý vodík H_2 , oxid uhelnatý CO , případně metan CH_4 . Na anodě pak dochází k reakcím mezi těmito složkami a dvojmocnými anionty kyslíku, jejichž rovnice mají tvar



Na katodě naopak anionty kyslíku vznikají podle rovnice



Na rozdíl od článků s roztavenými uhlíčitany zde prakticky nehrozí otrava sírou, případně oxidem uhelnatým.

Vzhledem k vysoké pracovní teplotě vyžaduje článek určitou dobu k tomu, aby se nastartoval. Parametry článku jsou značně závislé na teplotě (pokles teploty o 10% vyvolá pokles výkonu o 12%, poněvadž silně vzroste vnitřní odpor elektrolytu vůči pronikání kyslíkových aniontů). Článek musí být tepelně stíněn s cílem jednak ochránit obsluhu a jednak udržet potřebnou teplotu. Z těchto důvodů není vhodný pro využití v drobných spotřebičích nebo v dopravě. Perspektivní se zatím jeví zejména pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla ve středním a větším měřítku. Firma Westinghouse dodává jednotky o výkonu 25 kW a v současné době se pracuje na vývoji jednotek o řád i více vyšších.

Napětí článku je přibližně 0.6 V při proudové hustotě cca 0.25 A/cm². Životnost přesahuje 30000 hodin. Elektrická účinnost článku závisí na tlaku paliva a vzduchu. Při normálním

tlaku je asi 45%, při vyšších tlacích teoreticky až 60%. Využije-li se odpadní teplo, vzroste účinnost o dalších několik desítek procent.

5.4 Shrnutí palivových článků - výhody a nevýhody

K nesporným výhodám palivových článků patří

- nízké opotřebení,
- vysoká životnost (někteří výrobci udávají až desetitisíce hodin),
- nepřítomnost pohyblivých částí a z toho vyplývající tichý chod,
- schopnost snášet i značná přetížení (krátkodobě až stovky procent).

Kromě klasického uplatnění je lze perspektivně využívat pro kombinované systémy ohřevu a výroby elektrické energie. To plyne i z následujících údajů rámcově charakterizujících základní typy energetických přeměn.

- velké uhelné, plynové či olejové elektrárny: cca 35% energie se promění na elektřinu, 65% na neužitečné teplo,
- diesel nebo plynové turbíny: 30% energie se přemění na elektřinu, 50% na teplo a 20% na pohon systému (krytí ztrát),
- palivové články: 40-45% energie se přemění na elektřinu, 35-40% na neužitečné teplo a 20% na pohon systému.

Vyrábějí se v širokém rozsahu velikostí od malých článků pro napájení přenosných počítačů nebo rádiových vysílačů až po velké články a jejich skupiny určené pro elektrárny o výkonech řádu několika MW.

Nevýhody palivových článků plynou ze skutečnosti, že pracují v dlouhodobém nepřetržitém provozu. Jedná se zejména o

- nutnost kontinuálně odstraňovat zplodiny chemických reakcí, jejichž množství závisí na velikosti odebíraného proudu (u článků H₂-O₂ jde o odčerpávání vody či vodní páry, u jiných článků o produkty oxidace),
- udržování optimální teploty a tlaku aktivních médií (např. u alkalických článků nesmí pracovní teplota přesáhnout 110° C, čehož se docíluje cirkulací elektrolytu přes výměník tepla s chladičem),
- uvedení do provozu (může trvat několik minut a článek se na provozní teplotu ohřívá buď proudem, který sám za studena dodává, nebo teplem z vnějšího zdroje),

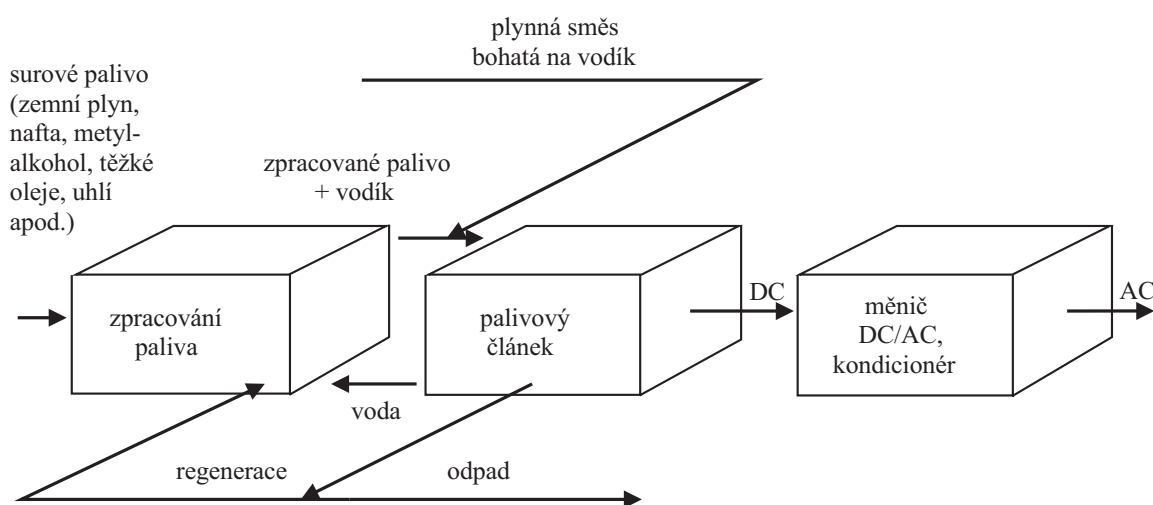
Z uvedeného je zřejmé, že řádný provoz palivových článků se prodražuje díky vynucené přítomnosti různých pomocných zařízení vybavených automatickou regulací (podrobněji bude pojednáno dále). Za dílčí nevýhody lze pokládat i skutečnost, že výkon odebíraný z 1 cm² elektrod je doposud dosti nízký (běžně desetiny W, nejvýše asi 2W) a nutnost přítomnosti nákladných katalyzátorů u nízkoteplotních článků.

Jak je navíc zřejmé z předchozího textu, technologie výroby samotných článků je vesměs náročnější a složitější a tedy i dražší než u klasických baterií.

5.5 Energetický systém s palivovým článkem

Palivový článek obvykle bývá jen jednou z částí energetického systému. Ten ještě obvykle obsahuje jednotku na zpracování paliva, měnič nebo energetický kondicionér a případně další jednotku, která je schopna zužítkovat vyprodukované teplo. Zjednodušené schéma takového systému je na následujícím obrázku.

Obrázek 10: Energetický systém s reformerem fosilních paliv a palivového článku



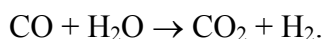
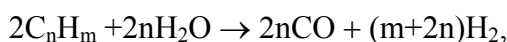
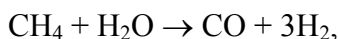
Návrh celého systému zahrnuje nejen optimalizaci samotného článku, ale i dalších součástí, přičemž šířka možností návrhu je omezena danou aplikací. Roli zde hraje například typ paliva, hladina emisí, využití odpadního tepla (které lze využít k další přeměně na elektřinu nebo na výrobu páry), požadovaná úroveň výkonu, objemová a hmotnostní kritéria (m^3/kW nebo kg/kW). Rozeberme si nyní podrobněji některé z těchto aspektů.

Zpracování paliva závisí jak na typu paliva, tak na technologii samotného článku. Technologie článku vymezuje, které složky jsou v palivu žádoucí a které nikoli. Tak například u článků s kyselinou fosforečnou se v palivu vyžaduje vysoký obsah vodíku, zatímco obsah CO by neměl přesáhnout 5%. Vysokoteplotní články jsou naopak schopny oxid uhelnatý, vznikající během pracovních reakcí, dále využívat. Současně jsou schopny využívat i metan CH_4 . Znečištění paliva jinými přísadami je rovněž limitováno a ovlivňuje proto průběh čistícího procesu. Pokud je palivem čistý vodík (dodávaný například z tlakové láhve), nemusí být jednotka pro čištění paliva přítomná, nebo slouží výlučně jako

jeho zdroj. Ve většině energetických aplikací je však nutno vodík vyrábět z jiných paliv, která je třeba nejprve vhodným způsobem upravit a zbavit nečistot.

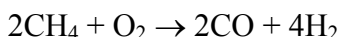
Uvažujme například zemní plyn. Ten obsahuje síru, která je vázaná v tzv. odorantech (merkaptany, disulfidy a jiné látky, které se přidávají hlavně proto, aby signalizovaly jeho únik). Přítomnost síry v článcích (výjimkou je článek s tuhými oxidy) je ovšem s ohledem na průběh elektrochemických reakcí a možnou otravu velmi nežádoucí a proto je nutno ji předem odstranit. To se provádí za vyšších teplot buď pomocí oxidu zinečnatého ZnO (ten je schopen vázat síru z merkaptanů a disulfidů) nebo látek, které se nazývají hydrodesulfurizéry (ty je nutno použít v případě odorantů na bázi thiofanu).

Sirných příměsí zbavený zemní plyn obsahující metan (a do jisté míry i různé vyšší uhlovodíky) se pak v parním reaktoru rozkládá na vodík a oxid uhelnatý (případně uhličitý) podle rovnic



Kromě zemního plynu se mohou v parním reaktoru rozkládat i další lehké uhlovodíky jako propan nebo butan. Pokud se použije speciálních katalyzátorů, lze zde rozkládat i naftu. Reakce v reaktoru probíhá při teplotách 760 - 980° C a je vysoce endotermická (vyžaduje značný přísun tepla). K tomu se často využívá tepla generovaného v samotném článku.

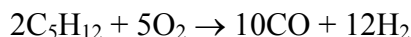
Kromě parních reaktorů lze původní palivo rozkládat i v jiných, tzv. oxidačních reaktorech, které jsou založeny na nekatalytické dílčí oxidaci látky proudem kyslíku v prostředí obsahujícím vodní páru při teplotách 1300 -1500° C. Tak například oxidační reakce pro metan má tvar



Vzhledem k tomu, že výtěžnost je zde podstatně nižší, používají se tyto reaktory především pro konverzi tekutých paliv.

Pro články s kyselinou fosforečnou musí být palivo zbaveno oxidu uhelnatého CO, aby nedošlo k otravě katalyzátoru. To se zajistí jedno nebo dvoustupňovou oxidací podle stávající hladiny CO.

Pokud se palivo pro články získává z kapalných látek jako je nafta, různé oleje apod., užívají se, jak již bylo řečeno, oxidační reaktory. Tak například reakce pro tekutý uhlovodík pentan má tvar



Tato reakce je exotermická (uvolňuje teplo) a její průběh prakticky nezávisí na tlaku.

Pro získávání vodíku lze rovněž využít uhlí. Příslušný proces se nazývá plynofikace. Existují celkem tři způsoby, z nichž každý je založen na dílčí oxidaci uhlí prostřednictvím vodní páry a kyslíku. Teploty se pohybují podle typu reakce od 400 - 1400° C. Potřebné teplo se získá dílčí oxidací uhlí. Zplyňovače uhlí ovšem kromě čistého paliva produkují i řadu nežádoucích příměsí jako sirovodík H₂S, amoniak NH₃, kyanovodík HCN, dehet, oleje, fenoly a další látky. Hladina znečištění je závislá na složení uhlí a typu zplyňovače. Směs plynů obsahující nečistoty lze čistit za studena i za tepla. Častěji se využívá studená technologie, u níž navíc existuje řada variant (tím pádem má návrhář energetického systému s palivovými články volnější ruce; na druhé straně však tato technologie spolehlivě odstraňuje pouze síru). Horká technologie je doposud spíše ve stadiu vývoje, ale zdá se být účinnější a univerzálnější, zejména ve spolupráci se studenou technologií. Tak například dehet, oleje, fenoly a dusičnany lze odstranit ochlazením paliva ve vodě, po němž následuje jeho znovuohřátí. V každém případě však takové technologie výrazně zvyšují složitost celého systému a náklady na jeho provoz. Navíc mnohé z nich kladou různé požadavky na rozsah teplot, což se poměrně komplikovaně zajišťuje prostřednictvím výměníků tepla a přímých chladičů. V současné době probíhá intenzivní výzkum ve směru dalšího zjednodušování uvedených procesů

Energetický kondicionér zajišťuje stabilitu dodávané elektrické energie, řízení proudu a případně konverzi stejnosměrného proudu na střídavý. Důležitým hlediskem je zde účinnost přeměny elektrické energie a využití zde vznikajících ztrát. Účinnost kondicionéru se pohybuje kolem 95%.

Posledním požadavkem na energetický systém s palivovými články je možnost využití vznikajícího tepla. Toto teplo je schopné produkovat páru, ohřívat vodu, nebo může být přeměněno na elektřinu pomocí plynové turbíny či parním cyklem. Tak například u článků s kyselinou fosforečnou, který pracuje při teplotách kolem 200° C, lze produkovat páru o tlaku nejvýše 14 atm. To je bez ohledu na nízké teploty pro parní cyklus příliš málo. Na druhé straně, teplo z článků s tuhými oxidy pracujícími při teplotách kolem 1000° C je schopno vyprodukovat páru o teplotě 540° C, což bohatě na provoz parního cyklu stačí. Nevýhodou je, že takto získaného tepla či páry z článků běžných velikostí a výkonů je málo a využití příslušné tepelné energie je proto ekonomicky výhodné až od jednotek určité velikosti.

5.6 Oblast využití palivových článků

Již v předchozím textu bylo naznačeno spektrum možných aplikací palivových článků. Lze je využívat všude tam (s výjimkou drobných spotřebičů), kde se uplatňují klasické baterie (počítače, camcordéry, svítilny), v dopravě (pohon osobních automobilů, busů apod.) a také pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla.

Podívejme se nyní podrobněji na využití palivových článků pro pohon automobilů. Je známo, že se téměř všechny větší firmy, které se zabývají výrobou osobních automobilů, zajímají o možnost jejich alternativního pohonu. Z amerických a kanadských firem lze jmenovat Chrysler (Daimler-Chrysler), General Motor, Ford a Ballard, z evropských Daimler-Benz, Volkswagen, Renault a Peugeot a z japonských Toyota, Mazda, Nissan a Honda. Důvodem je skutečnost, že zásoby ropy, z níž se připravuje klasické palivo, jsou omezené, a i přes značný pokrok v likvidaci škodlivých zplodin spalování se jich do životního prostředí dostává jejich nemalá část.

Řada z těchto automobilek již dokonce prezentovala několik takových vozů, které se však využívají spíše pro výzkumné účely. S masovou výrobou se počítá až ke konci prvního desetiletí příštího tisíciletí. Aktuální vývoji a výzkumu v automobilovém průmyslu je věnována samostatná kapitola.

5.7 Současný stav vývoje technologie palivových článků

Nejaktuálnější stav současného poznání, výzkumu a vývoje na poli palivových článků byl veletrh palivových článků v Tokiu v roce 2005.

V palivových člancích dochází ke styku paliva (např. vodíku) a vzduchu, které se přímo mění na energii, teplo a vodu. Termoplastické složky (membrány, bipolární desky, monopolární svazky, čelní stěny, konstrukční celky a rozvody) by měly být pro výrobce plastů velkou budoucí příležitostí. Palivové články s polystyrenovými membránami na bázi sulfonátu používali astronauti v programu Gemini před 40 roky. Neměli ovšem dlouhou životnost a byly velmi drahé. Současné vývojové směry se zaměřují na snižování nákladů a zvýšení výstupního výkonu.

Veletrh palivových článků měla vysokou návštěvnost a provázel ji velký zájem médií. Většina prezentovaných technologií se ovšem nachází ve stadiu vývoje. Jedinou společností, která zde ukazovala komerční palivový článek, byla německá SFC (Smart Fuel Cells, Brunthal- Nord). Předváděla palivový článek SFC A50 pro plachetnice a obytné automobily. Články SFC vyrábějí elektřinu z tekutého metanolu a ne z vodíku, který vyžaduje tlakové nádrže. Metanol se skladuje v přenosných vyfukovaných kontejnerech z HDPE.

Nový typ článku MFC- 100 má dostatek paliva k výrobě 400 Ah elektřiny. Tekutý metanol ve vyfukovaném kanystru (s objemem kolem 20 l a s hmotností 4,3 kg) vyrobí

energii odpovídající bateriím, majícím přes 100 kg. SFC spolupracuje s japonskou Mitsui a americkým Du-Pontem.

Základním prvkem článku společnosti Du-Pont Fluoroproducts (Wilmington, USA) je film pro membránové elektrody v palivových článcích. Firma disperzně odlévá nebo vytlačuje membrány (označované Nafion) z kopolymeru kyseliny perfluorsulfonové a tetrafluoru (PTFE). Například filmy NRE- 211 a 212 s tloušťkou od 25 do 51 μ m pracují tak, že selektivně dopravují kladně nabitě ionty přes přechod článku v palivovém článku vybaveném membránou s výměnou protonů (PEM).

Společnost Arkema (Paříž) představila vývoj nové membrány založenou na polyvinyllovém fluoridu. Předpokládá, že vyvíjené prvky se budou používat ve stacionárních zařízeních i v přenosných zařízeních s metanolvými palivovými články (např. v automobilovém průmyslu).

Firma Gore Fuel Cell Technologies (Elkton) se soustřeďuje na kompozitní membrány ze zesíleného PTFE a fluoroionomeru, která má být stabilnější membránou, eliminující vnější zvlhčování, a má poskytovat více energie za nižší cenu.

Všichni ovšem nevěří fluorovým polymerům: Poly Fuel (Mount View) se domnívá, že jsou lepší membrány z lacinějších uhlovodíkových polymerů a sulfonátových skupin jako vodivých prvků (přesné složení tají, má se jednat o polyethylen s velmi vysokou molekulovou hmotností). Poly Fuel vyrábí membrány odléváním roztoku, kdy se používá dočasných nosičů jako nekonečných pásů nebo válců s následným tuhnutím. Testování má proběhnout letos, komerční start se očekává v roce 2007. " Příležitosti pro výrobce plastů v tomto odvětví trhu jsou materiály a komponenty pro palivové články a nádrže na metanol", říká ředitel Poly Fuel.

5.8 Mikrobiální palivové články

Levnou energii z kukuřičného odpadu slibuje objev amerických vědců. Ti našli způsob, jak pomocí mikrobů vyrábět z listů a stonků kukuřice elektřinu přímo v palivovém článku.

Vyrábět na polích paliva, která by nahradila fosilní zdroje, je jednou z nejperspektivnějších cest alternativní energetiky řešící současně i problém nadprodukce zemědělských plodin a ekonomického rozvoje venkova. Ještě lepší by ale bylo z rostlin - například kukuřice - vyrábět přímo elektřinu bez spalování v generátorech. Na první pohled poněkud šílený nápad, přesně o to se ale snaží odborníci z Pennsylvania State University.

Až dosud se výzkumníci snažili z rostlinné celulózy vyrábět jenom etanol jako palivo. Samozřejmě, udělat z kukuřice cukr a pak etanol není žádný problém. Jenže když už jednou máte cukr, šlo by z něj přímo získávat i elektrickou energii.

Vědci z Penn State pro výrobu elektřiny z kukuřice využívají takzvané mikrobiální palivové články. V principu jde o jednoduché zařízení skládající se ze dvou elektrod a roztoku, v němž jsou umístěny anaerobní bakterie, tj. bakterie žijící v prostředí bez kyslíku. Oblast katody je od anody oddělena polopropustnou membránou - zatímco na katodě dochází k okysličování, v okolí anody musí mít bakterie přísně bezkyslíkaté prostředí.

Když mikroorganismům předložíme cukry nebo některé jiné organické materiály, začnou je zpracovávat prostřednictvím metabolických procesů, přičemž uvolňují elektrony. Ty putují k anodě a po propojení elektrického obvodu skrz něj ke katodě - tak vzniká elektrický proud. Zdrojem kladných nábojů jsou vodíkové kationty z vodního roztoku, dalším produktem procesu je voda. Vědci už ale vyzkoušeli i upravený mikrobiální palivový článek, který vyrábí přímo vodík.

Mikroorganismy "pracující" v článcích jsou druhy běžně žijící v odpadních vodách z domácností. Po jejich naočkování do roztoku obsahujícího glukózu brzy vznikne početná kolonie. Pak už stačí jen průběžně přidávat vhodně upravené rostlinné odpady nebo jiný organický materiál.

Mikrobiální palivové články se v laboratořích už dříve osvědčily při výrobě elektrické energie z komunálních odpadních vod. Přeměna rostlinného odpadu na elektřinu by ale byla ještě výhodnější. Jen v USA po výrobě kukuřičného zrna ročně zůstává přibližně 250 milionů tun listů a stonků, přičemž jde o třetí největší zdroj pevného odpadu v zemi. Celých 90 procent tohoto množství proto zůstává bez užitku ležet na polích.

Odpad z výroby kukuřice přitom představuje obrovský zdroj energie - přibližně 70 procent jeho hmoty tvoří celulóza nebo hemicelulóza, tedy komplexy jednodušších uhlovodíků pospojovaných do řetězců. Tyto řetězce lze poměrně snadno rozpojit tak, aby vznikly cukry a další organické sloučeniny vhodné jako palivo pro mikrobiální palivové články.

Činnost mikrobiálních palivových článků vyniká vysokou účinností, na elektřinu se promění veškerá dostupná energie obsažená v biomase. Poněkud horší je to s výkonem. Z jednoho čtverečního metru aktivního povrchu článku lze získat přibližně jeden watt při napětí půl voltu. Pro zvýšení výkonu je proto třeba zvětšit plochu, pro zvýšení napětí řadit mikrobiální palivové články do série.

Ve skutečnosti není nízký výkon takový problém a lze jej vyřešit při úpravách principu pro praktické využití. Kolonie bakterií mohou například růst na materiálech s velkým vnitřním povrchem, takže rozměry článku budou poměrně malé.

Přímá výroba elektrické energie z upraveného kukuřičného odpadu může být vítaným přírůstkem do portfolia alternativních obnovitelných zdrojů, které máme k dispozici, že všeho nejdříve by mohla najít využití na farmách, například při čerpání vody, osvětlení a vytápění. Může ale být také jedním ze zdrojů vodíku pro energetiku založenou na využití tohoto plynu.

6. VODÍKOVÉ TECHNOLOGIE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

6.1 Přehled alternativních zdrojů energie pro motorová vozidla

S ohledem na růst spotřeby motorových paliv a na velikost světových ložisek ropy se odhaduje, že těžba ropy bude vrcholit přibližně v roce 2020 a v dalších letech bude trvale klesat. Budoucí útlum těžby ropy vede ke snahám o snižování spotřeby motorových paliv vyráběných z ropy a o přechod na alternativní motorová paliva. V případě zemního plynu se očekává, že prokázané a pravděpodobné světové zásoby zemního plynu budou mít životnost 140 až 160 let. Nedávným podpisem dohody o rozšíření zemního plynu jako alternativního paliva v dopravě se také Česká republika zařadila k zemím, které se zcela vážně starají o to, jak postupně nahrazovat ropné produkty v jejich dosud nezastupitelné roli pohonné jednotky automobilů.

Mnohem závažnějším problémem, než je výhledový nedostatek pohonných hmot, je snaha vyhnout se závislosti na jejich dodávkách, pocházejících převážně z nestabilních oblastí světa, protože krize v těchto regionech opakovaně a především nevratně vyhánějí cenu pohonných hmot vzhůru.

Ke snižování spotřeby paliv ropného původu - nafty a benzínu, v automobilové dopravě může přispět další vývoj pohonných jednotek směřující ke zvýšení jejich účinnosti, využití alternativních paliv a zefektivnění provozu automobilů.

Vývoj pohonných jednotek automobilů bude v příštích letech postupovat pravděpodobně následujícími směry:

- zvyšování celkové účinnosti pístových spalovacích motorů,
- uplatnění nových koncepcí pohonů automobilů - hybridních pohonů s rekuperací energie a akumulací
- elektrické energie v akumulátorech nebo v superkondenzátorech,
- snižování energetických nároků na jízdu automobilu snižováním jízdních odporů, zejména cestou snížení hmotnosti automobilu,
- využití alternativního paliva zemní plyn, případně paliv vyráběných ze zemního plynu,
- využití alternativních paliv biologického původu (estery rostlinných olejů, etylalkohol),
- využitím energie z jaderných, vodních a větrných elektráren (elektrická energie, vodík vyráběný elektrolyzou vody).

6.1.1 Alternativní paliva

Snížení spotřeby automobilových benzinů a nafty je možné docílit jejich náhradou netradičními palivy buď fosilního původu, tj. zemním plynem a palivy vyráběnými ze zemního plynu, nebo biologického původu (estery rostlinných olejů, etanol), případně palivy získávanými s využitím obnovitelných energií z vodních a větrných elektráren (elektrická energie, vodík vyráběný elektrolýzou vody).

ZEMNÍ PLYN

- CNG stlačený 20 -35 MPa
- LNG zkapalněný teplota – 160°C tlak <0,6 MPa

VODÍK

- CH₂ stlačený 35 MPa
- LH₂ zkapalněný teplota -250°C, tlak <0,6 MPa

BIOETANOL

- Palivo E 95 95 % ethanol + 5% přísady
- Palivo E 85 85 % ethanol + 15 % benzin
- Palivo E 15 15% ethanol + 85 % benzin
- Palivo E 10 10% ethanol + 90 % benzin
- Palivo E 5 5 % ethanol + 95 % benzin
- Přísada do benzinů ETBE etyltercbutyléter

ESTERY ROSTLINNÝCH OLEJŮ

- FAME (fatty acids methyl ester), např. MEŘO (metylester řepkového oleje)
- Bionafta 100 % MEŘO (ČSN EN 14 214)
- Směsné motorové nafty např. SMN 30 >30 % MEŘO, <70 % nafta
- Motorová nafta s max. 5 % MEŘO (ČSN EN 590)

6.2 Zavádění vodíku do automobilového průmyslu

V důsledku ropného zlomu, který ohrožuje západní civilizaci, na sebe nemusí první velká energetická krize dlouho čekat. První krize by podle pesimistických odhadů měla přijít do

20 let. EU nechce zůstat pozadu za Amerikou, která na rozšíření vodíkových technologií intenzivně pracuje.

Proto hodlá Evropská komise i Spojené státy podpořit vizionářské projekty. Automobilky už auta budoucnosti testují - například vodíkových mercedesů se po evropských silnicích prohání šedesát. Pokud budou testy úspěšné, chce firma Daimler-Benz začít vyrábět auta na vodík sériově. Své prototypy mají i Ford a Nissan. Ale zavést nové vozy není tak jednoduché. Vodíková auta zatím nedokážou konkurovat těm, která jezdí na benzin. Také výroba nového paliva potřebuje spoustu energie. Místo ropných rafinerií bude muset vyrůst mnoho nových elektráren. Nejdál je zatím Island. Energie z geotermálních zdrojů má dostatek. První vodíkové autobusy už v ulicích Reykjavíku začaly jezdit letos. Někdy v roce 2030 se obejdeme bez ropy, předpokládají Islandané. Zbytku Evropy se to však zřejmě podaří až o dvacet let později. Z diskuzí v EU vyplývá, že vodíkové technologie podpoří. Svět se musí za poměrně krátký čas změnit - jinak se zhroutl nejen automobilový průmysl, ale celá současná civilizace. Ne pro každého to bude katastrofa. Ta čtvrtina lidstva, která nemá přístup k elektřině, si toho sotva všimne. Ale bude to konec Západu, pokud nenajde jiné zdroje energie. Optimističtí vědci věří, že je ještě čtyřicet let času. Jejich skeptičtější kolegové tvrdí, že první velká energetická krize přijde za necelých dvacet let, druhá jen o málo později. Okolo roku 2020 začne klesat těžba ropy, před rokem 2030 se čeká totéž u zemního plynu. Poptávka však poroste dále a s ní i ceny. Jasný plán - založený na vodíku má pro tuto situaci ledový Island. Od letošního roku se na ulicích Reykjavíku začínají objevovat vodíkové autobusy. Do roku 2015 má na vodík přejít islandská rybářská flotila - hlavní zdroj příjmů této země. V roce 2030 či 2040 má tento plyn na Islandu převzít úlohu, kterou nyní hraje ropa. "Je to dobrá vize. A když vyrostou moji vnuci, bude to jejich energetický systém," tvrdí propagátor vodíku, profesor Bragi Arnason z Reykjavické univerzity. Island je však k zavedení vodíkové ekonomiky skvěle vybaven - odpadá u něj jedna ze slabin, které vodík má. Tento plyn je nejhojnější látkou ve vesmíru i na této planetě. Nikde na Zemi však nejsou žádné vodíkové "sloje" či "ložiska". Je nutné ho vyrábět. A také skladovat. Obojí představuje obrovský problém. Zatím se vodík vyrábí hlavně z plynu a uhlí - z látek, kterých záhy nebude dost a jež znečišťují ovzduší. Ale Island má dost "čisté" geotermální a vzdušné energie, takže může vyrábět vodík z vody. Může tak naplnit předpověď Julesa Verna, spisovatele z věku parních strojů. Ten ve svém Tajuplném ostrově napsal: "Voda bude uhlím zítřka." Jenže pokud by chtěly totéž dělat USA, musely by jen kvůli výrobě vodíku postavit elektrárny za 400 miliard dolarů. A to je možná jen menší část ceny za sny o "autě svobody" a o ekonomice, jež nebude závislá na ložiscích ropy v nestabilních částech světa. Vodík je totiž nutné nejen vyrobit, ale také stlačit nebo zkapalnit, aby se dal jakžtakž skladovat. Jinak by nádrž vodíkového auta musela být třitisíckrát větší než nádrž benzínu, aby vůz zítřka ujel to, co auto dneška. Jen stlačení pohltí jednu až dvě pětiny energie, která je ve vodíku uložena. Hledá se proto cesta, jak problém obejít. Možností jsou vodíkové články. V nich se vodík nespaluje jako benzin, a proto ho není potřeba tolik. Pouze reaguje s

kyslíkem a přitom vzniká elektřina. Je to daleko výhodnější. Naše auta dokážou v nejlepším případě využít energii z každého čtvrtého litru benzínu, který spálí - energie ze zbylých tří litrů přijde vniveč. Auta s vodíkovými články mají využívat ne čtvrtinu, ale aspoň polovinu energie skryté ve svém palivu. Pokud by to mělo úspěch, svět by se mohl obejít bez toho, že nejdříve s pomocí elektřiny vyrobí vodík a ten bude zpátky proměňovat na vodu a elektřinu. Americká i evropská "auta svobody" by pak "netankovala" tekutý plyn, ale jen elektrický proud. Evropa dělá pro obnovitelnou energii možná nejvíce na světě. I Češi se museli při jednání o vstupu do EU zavázat, že prudce zvýší její podíl na své výrobě elektřiny. Přesto experti soudí, že hospodářství unie musí přejít na vodík nejpozději do roku 2050. "Auta svobody" by však měla vyjet už dříve: tak DaimlerChrysler plánuje výrobu vodíkových aut po roce 2010.

6.3 Vodíkové projekty v automobilovém průmyslu

6.3.1 Honda FCX

Honda zahájila prodej vodíkových vozů v USA. Firma, která již tento vůz prodala v USA několika městským úřadům považuje zahájení test zákaznické důvěry za rozhodující pro její další vývoj aut poháněných vodíkem. FCX je zatím jediný automobil poháněný vodíkem, který ve Spojených státech získal schválení pro každodenní provoz od Americké agentury pro ochranu životního prostředí (U.S. Environmental Protection Agency) a příslušných kalifornských úřadů. Tento model (2005) FCX ujede asi 190 mil. (asi 300 km) a na jednu nádrž vodíku při spotřebě asi 4,5 l na 100km.

Obrázek 11: Honda FCX



I když Honda si systematicky buduje pověst pionýra v oblasti nízko-emisních technologií, její vedení nepředpokládá, že k masovému prodeji automobilů na vodíkový pohon dojde brzy. Jak upozornil John Mendel, vicepresident automobilové divize americké divize Hondy, nezbytnou primánkou pro získání významného množství zákazníků pro FCX a jeho následovníky je napřed vybudování systému pro levnou výrobu, skladování a

distribuci vodíku – tak, jak je tomu dnes u benzinu. Kalifornie je zde, jako často, na čele : její guvernér Arnold Schwarzeneger podepsal nedávno rozhodnutí, podle kterého se má pokrýt celé území státu dostatečně hustě vodíkovými čerpacími stanicemi do roku 2010. Teprve vybudování takového systému ve velkém rozsahu patrně posune vodíkový automobilismus na úroveň cenově srovnatelnou se stávajícím automobilismem benzinovým. Celý problém však nemá jen ekonomickou (a ekologickou !) ale také politickou dimenzi: rozvoj vodíkového průmyslu slibuje výhledově významný přínos pro snížení závislosti vyspělých zemí na ropě – což je vzhledem k současné situaci a perspektivám vývoje na Blízkém východě, který je jejím největším zdrojem, nanejvýš žádoucí.

6.3.2 Hyundai Tucson FCEV

Novinka s palivovými články druhé generace má dvojnásobný dojezd proti svému předchůdci, modelu Santa Fe FCEV. Aby se zlepšil celkový výkon vozu, byla zvýšena jak maximální rychlost, tak i výkon motoru. Největším vývojovým skokem modelu Tucson FCEV je jeho schopnost startovat i v zimě. Testy dokázaly, že vůz byl schopen nastartovat i poté, co byl pět dní vystaven teplotám dosahujícím -20 °C. Mezi ostatní technická vylepšení patří inovovaný palivový článek s větším výkonem a nová li-ion baterie. Pohonná jednotka elektromobilu Tucson FCEV je umístěna v jeho přední partii pod kapotou. Tím se toto vozidlo liší od svého předchůdce, jenž se vyznačoval instalací pohonné soustavy pod podlahou. Dojezd modelu Tucson FCEV byl zvýšen na 300 km, a to díky palivovým nádržím na 152 litrů vodíku. Pohonná soustava vozidla Tucson FCEV, které je lehčí než jeho předchůdce, také vyvíjí 5 kW navíc a její maximální výkon je 80 kW. Největší rychlost tohoto elektromobilu je 150 km/h, zatímco u modelu Santa Fe to bylo jen 124 km/h. Společnost Hyundai Motor Company založila první specializovaný tým pro výzkum a vývoj palivových článků již v roce 2000.

6.3.3 Toyota FCHV

Společnost Toyota oznámila, že hodlá uvést vozy s vodíkovým pohonem do běžného prodeje v roce 2015 a svůj záměr podpořila poslední generací vozu FCHV neboli SUV s vodíkovým pohonem, který se proti předchozí generaci může pochlubit větším výkonem i dojezdem.

Obrázek 12: Toyota FCHV - 4



Za větším dojezdem stojí nová, objemnější nádrž na vodík se zcela novým uzavíracím ventilem, jež pomáhá prodloužit dojezd o 10 procent na 330 km. Zvýšila se rovněž životnost nádrže ze tří na patnáct let.

Ve svém voze Toyota používá systém palivových článků, které vyrábí elektrickou energii pro elektromotor, nabízí se ještě možnost spalování vodíku přímo v existujících spalovacích motorech. Tyto motory ovšem musí být na spalování vodíku upraveny.

6.3.4 Ford Focus C-Max H₂ ICE

Na detroitském autosalonu představil americký koncern Ford prototyp Focus C-Max H₂ ICE (Internal Combustion Engine). Jde o koncept využívající k pohonu vodík, který je uložen ve třech speciálních nádržích pod tlakem 350 barů.

Obrázek 13: Ford Focus C-Max H2 ICE



Dvě z těchto nádrží jsou uloženy v zavazadlovém prostoru, třetí je ukryta pod podlahou vozu. Dva tlakové regulační ventily v palivovém potrubí sníží tlak vodíku na 5,5 baru, pod kterým je potom vodík veden sacím potrubím do motoru. Objem všech tří tlakových zásobníků činí 119 litrů, což hmotnostně odpovídá 2,75 kg vodíku. S touto zásobou paliva ujede prototyp Focus C-MAX H2-ICE asi 200 km. Přepřehovaný motor má maximální výkon 82 kW, což je plně srovnatelné s původním agregátem, kterým je zážehový čtyřválec o objemu 2,3 l. Díky přepřehování se do spalovacích prostorů dostane více směsi paliva a vzduchu, čímž se eliminuje téměř třicetiprocentní snížení výkonu, které je typické pro zážehové motory předělané na spalování vodíku. K lepším výkonovým parametrům přispívá i dvojnásobné chlazení stlačeného vzduchu, které pracuje na principu klimatizace.

Směšovací systém motoru prototypu Focus C-MAX H2-ICE umožňuje nastavení "sytosti" směsi ve velmi širokém rozmezí - směs vodíku a vzduchu je zážehnutelná od čtyř objemových procent vodíku až po 70 procent. V praxi to znamená, že motor dokáže spalovat extrémně chudou směs, takže motor při práci produkuje jen minimum oxidů dusíku NOx.

6.3.5 Opel HydroGen3 a Opel Hy-wire

Společnost General Motors, která již v USA provozuje několik vozů na vodík, představila v jižní Francii (zde pod značkou Opel) během novinářské testovací jízdy prototypy HydroGen3 a Hy-wire, poháněné vodíkovými palivovými články.

Celý pohonný systém prototypu HydroGen3 je zabudován do velkoprostorového modelu Opel Zafira. Je velmi kompaktní a tak je možné reálně uvažovat o výrobě prototypu HydroGen3 na stávajících montážních linkách. To představuje významný posun ve vývoji vozů poháněných palivovými články.

Obrázek 14: Opel Zafira HydroGen3



Pohotovostní hmotnost vodíkové Zafiry je 1590 kg a zavazadlový prostor má objem 0,6 m³, což je stejná hodnota, jako u sériového pětimístného provedení. Elektrickou energii pro asynchronní třífázový elektromotor o výkonu 60 kW/82 k, dodává sada palivových článků sestavená ze dvou stovek vzájemně pospojovaných individuálních článků. Velmi tichý elektromotor dokáže prototyp HydroGen3 zrychlit z 0 na 100 km/h za pouhých 16 s a udělí mu rychlost až 160 km/h.

Palivové články jsou napájeny vodíkem, který je uložen ve speciálním zásobníku, a to buď v kapalném stavu při teplotě -253°C, nebo stlačený pod tlakem 700 barů. Akční rádius vozu činí 400 km, resp. 270 km.

Společnost General Motors má s využitím palivových článků bohaté zkušenosti. Jako první výrobce automobilů na světě uvedl koncern General Motors už počátkem šedesátých let minulého století prototyp poháněný palivovými články. Od té doby byly do výzkumu a vývoje této technologie investovány stovky milionů dolarů.

6.3.6 Mazda RX-8 Hydrogen

V Japonsku se k zákazníkům dostanou první vodíkové Mazdy RX8 Hydrogen RE. Ty jsou vybaveny spalovacím kombinovaným motorem vodík/benzín.

Mazda získala od japonského Ministerstva infrastruktury a dopravy povolení pronajmout RX-8 Hydrogen RE prvním dvěma firmám z energetického sektoru. Dodání prvních dvou aut je plánováno na konec března, do konce roku 2006 Mazda počítá s leasingem deseti kusů.

Mazda RX-8 Hydrogen RE je vybavena spalovacím motorem, schopným využívat benzín i vodík a kdykoliv změnit druh využívaného paliva. Tato kombinace umožňuje i jízdu v oblastech bez možnosti dotankování vodíku.

V benzínovém režimu má motor výkon 210 koní a točivý moment 222 Nm, při jízdě na vodík 109 koní a 140 Nm, dojezdnost na vodíkovou nádrž je přibližně 100 km. Vodík je uchovávaný v nádrži pod tlakem 350 barů.

6.3.7 Fiat Panda Hydrogen

Fiat představil vodíkový prototyp Panda Hydrogen. Tento prototyp na bázi Pandy je výsledkem vývoje firem sdružených v rámci Fiat Group a převážně italských dodavatelů komponentů.

Panda nemá na rozdíl od dřívějších prototypů s palivovými články baterii pro uchování elektrické energie. Tato nová generace vodíkového pohonu sestává ze tří palivových článků firmy Nuvera, turbodmychadla pro přísun vzduchu, zvlhčovacího a chladicího systému pro správnou funkci činidel a příslušenství.

Systém palivových článků je umístěn pod podlahou. Vodík a kyslík spolu reagují za pomoci katalyzátoru a vytvářejí vodu a teplo. Do generátoru elektrické energie je pod tlakem 1,5 baru přiváděn vodík a vzdušný kyslík. Elektromotor s převodovkou je pak umístěn v motorovém prostoru. Vodík je skladován v kompozitových nádržích pod tlakem 350 barů.

Obrázek 15: Fiat Panda HydroGen



Nejvyšší výkon Pandy Hydrogen je 60 kW (82 koní), což jí umožňuje dosáhnout rychlosti přes 130 km/h, zrychlit z klidu na 50 km/h za 5 sekund a rozjet se do 23-procentního stoupání. Dojezd v městském provozu přesahuje 200 km a dotankování trvá necelých 5 minut, což doba srovnatelná s auty jezdícími na metan.

6.3.8 BOC Gh2ost

Prototyp nového vozu na vodíkový pohon, který si mohla v tyto dny prohlédnout britská veřejnost, symbolizuje podle svých tvůrců soumrak tradičních automobilů. Společnost BOC je jedním z nejvýznamnějších hráčů na trhu s palivovými články.

Společnost BOC, která se zabývá mimo jiné také vodíkovou energií a uplatnění palivových článků v běžném životě představila veřejnosti prototyp vodíkového vozu se jménem BOC Gh2ost. Ten je podle britské společnosti BOC, která jej vyrobila, "prototypem pro všechny vozy budoucnosti."

Ve vozidle jsou využívány polymerové články, které z vodíku vyrábí el. energii. Na rozdíl od běžných motorů je vozidlo bezhlučné a nezanechává za sebou emise. Britské ministerstvo dopravy vývoj nových vozů vítá.

Obrázek 16: BOC Gh2ost



V roce 2005 v Londýně zahájili provoz tři autobusy na vodíkový pohon (v rámci programu CUTE). V tom spolupracuje společnost BOC s firmou British Petrol a Daimler Chrysler. Stáčecí a kompresní stanice se nachází v Hackney a po skončení projektu bude rozebrána.

Společnost BOC je také iniciátorem Britského projektu CRESP.

6.3.9 Mitsubishi Nessie

Automobilová společnost Mitsubishi, italská designerská skupina Giugiaro a společnost Linde vytvořili SUV koncept kupé Mitsubishi Nessie na vodík.

Obrázek 17: Mitsubishi Nessie



Třídveřové terénní vozidlo Nessie by chtělo své potenciální zájemce oslovit především sportovním vzhledem, náhonem na všechna čtyři kola, ale také přepracovaným osmiválcovým motorem. Pohonná jednotka byla modifikována na alternativní pohon, v tomto konkrétním případě spaluje vodík.

Červená metalíza, velká litá kola a dravý design od světoznámé kapacity svého oboru, Giugiariho, to vše by mělo zaručit úspěch při debutu. Mezi další zajímavé akcenty patří panoramatická prosklená střecha.

6.3.10 Mercedes S-Klasse Direct Hybrid a Bluetec Hybrid

Nový hybridní automobil společnosti Mercedes. Na něj by podle některých informací měl Mercedes navázat i při tvorbě vodíkového konceptu.

Mercedes představil svojí novou limuzínu S-Klasse. Pod názvem Direct Hybrid najdeme spojení benzínového 3,5-litrového šestiválce z modelu S350 a elektromotoru, který je uložen mezi spalovacím agregátem a převodovkou. Jejich celkový výkon se pohybuje na hranici 221 kW (300 k) a kroutící moment dosahuje hodnoty 395 Nm, což umožňuje „esku“ rozhybat se na stovku za 7,5 sekundy a omezovač zasáhne v jeho rozletu při rychlosti 250 km/h. Spotřeba poklesla o 20%, pohybuje se na úrovni 8,3 litru benzínu na 100 km.

Bluetec Hybrid používá namísto benzínového motoru třílitrový diesel z modelu S320 CDI. Disponuje také systémem SCR (Selective Catalytic Reduction), který pravidelným

přidáváním 1 dcl močoviny každých 100 km redukuje množství oxidu dusíku (NO_x) ve výfukových plynech. S-klasse Bluetec hybrid disponuje celkovým výkonem 179 kW (243 k) a kroutícím momentem 575 Nm, což mu dostačuje na to, aby zvládl stovku za 7,2 sekundy a zastavil se až na 250 km/h. Spotřeba klesla o 25% a tak si tato limuzína vystačí v průměru jen se 7,7 litry nafty na 100 km.

6.3.11 Lada – model 2111

Na posledním autosalonu ve Frankfurtu byl představen koncept společnosti Lada - model 2111, který je poháněný elektromotorem. Ten si vytváří potřebnou elektrickou energii při spalování vodíku, maximální výkon činí 60 kW (82 koní).

Výhodou tohoto pohonu je minimální hlučnost agregátu a žádné emise vznikající při spalování běžných paliv. Vodík se plní do nádrže pod tlakem 400 bar. Dojezd Lady s plnou nádrží se pohybuje okolo 350 km.

Obrázek 18: Lada model 2111



Společnost Lada chce také podpořit rozvoj sítě čerpacích stanic, kde by byl vodík běžně k dostání. Je zajímavé, že i Lada má zájem na vývoji ekologických variant pohonu, přitom na emise se v Rusku příliš nehledí. To jen poukazuje na fakt, že tato ruská automobilka má ambice prosazovat se i v jiných evropských státech.

6.4 Vodíkové projekty v ostatní dopravě

6.4.1 Vlak na vodík

Dánský region Západní Jutsko získá zase možná primát první evropské vodíkové železnice. Tři města tohoto regionu Vemb, Lemvig and Thyborøn vytvoří fond pro vybudování téměř 60km úseku dráhy vybavené pro nasazení vodíkem poháněné železniční soupravy.

Podle dánských úřadů EU a město Ringkøbing usilují o financování investice ve výši 66 tisíc eur. Vodíkový vlak je klíčovým projektem nového vodíkového inovačního a výzkumného střediska HIRC (Hydrogen Innovation and Research Centre) v Západním Jutsku. Jak uvedl šéf centra HIRC Jens-Chr. Möller, cílem je vybudovat první komerční projekt vodíkového vlaku v Evropě. Na rozdíl od řady již probíhajících mezinárodních projektů na využití vodíkových automobilů a autobusů a infrastruktury pro jejich provoz jsou projekty vodíkové železnice poměrně vzácné a jsou soustředěny hlavně v USA a v Japonsku. HIR nyní doufá, že se podaří přilákat pozornost hlavních výrobců vlaků a zapojit je do účasti na projektu.

6.4.2 Městská hromadná doprava na vodík

Kvůli snížení emisí oxidu uhličitého se v městské dopravě v australském Perthu zkouší nový typ autobusů.

Radní australského města Perth rozhodli, že zatím pokusně pro účely městské hromadné dopravy nasadí tři autobusy Mercedes-Benz Citaro poháněné vodíkovými palivovými články od firmy Ballard Power Systems. Nahrazení všech autobusů se spalovacími motory by v Austrálii snížilo emise oxidu uhličitého o 2,7%. Vláda Australského svazu proto na tento projekt zatím přispěla částkou 1,7 milionu USD. Kupodivu ani Evropa nezůstává pozadu: třicet obdobných autobusů brzy podstoupí testy ve skutečném provozu v deseti evropských městech.

6.4.3 Vodíkový skútr

V roce 2003 představil němec Josef Zeitler, vynálezce společnosti AQWON první vodíkový skútr na světě.

V roce 2003 certifikovala společnost TÜV dvouválcový skútr Josefa Zeitlera. Skútr je poháněn plyným vodíkem stlačeným na tlak 5MPa. Největším problémem pro vynálezce prý bylo vytvořit palivovou nádrž, s tím mu nakonec pomohla společnost HERA Hydrogen Storage Systems Inc.

Plnění skútru je dokončeno po 3-5 minutách a je velmi jednoduché, takže ho zvládne kdokoli. Nejvyšší rychlost skútru je 50 km/h a výkon 2,6 kW. Oficiální cena je 5600

EUR. Asi nejzajímavější je, jakým způsobem se tento vynálezce vypořádal s bezpečností svého skútru. Po nehodě prý nádrž skútru zmrzne a to zabrání úniku, požáru nebo dokonce výbuchu. Jakým způsobem to vynálezce udělal se tiskové zprávy nezmiňují.

6.4.4 Vodíkové autobusy M-B Citaro

V červenci převzala v mannheimském výrobním závodě DaimlerChrysler čínská delegace tři městské autobusy typu Mercedes-Benz Citaro s pohonem na palivové články. Vodíkový autobus Mercedes-Benz Citaro se tak dostává do další destinace. Nedávno jsme informovali čtenáře o nákupu tří těchto autobusů australským městem Perth.

Do Číny dorazily autobusy v půlce září a ke konci letošního roku budou v Pekingu uvedeny do pravidelného linkového provozu, a to na 19 kilometrů dlouhé a silně frekventované trase, která prochází mimo jiné kolem věhlasného Letního paláce a kolem budoucí olympijské vesnice. Tato dodávka je součástí Projektu palivových článků, který je speciálně přizpůsoben potřebám čínského trhu.

V rámci tohoto projektu, který poběží do října 2007, má být nejdříve otestováno použití technologie palivových článků v každodenním provozu a mají se i ověřit reakce obyvatel Pekingu na tuto technologii. Snahou jeho organizátorů je také shromáždit další zkušenosti s využíváním této technologie, a to jak při výrobě, tak i při manipulaci s vodíkem v dopravním sektoru.

Kromě firmy DaimlerChrysler AG jakožto výrobce vozidel se tohoto projektu účastní (a zodpovídá za něj) čínské ministerstvo pro vědu a techniku, zastoupené společností Project Management Office jako organizátorem a komerční realizační organizací CICETE jako kupujícím, respektive majitelem vozidel. Dalšími partnery projektu jsou Beijing Public Transport Corporation (BPTC) v Pekingu, která je se 17 tisíci autobusy jedním z největších dopravních podniků na světě (a bude i provozovatelem tří nových autobusů Citaro s palivovými články), jakož i olejářský koncern BP jako dodavatel vodíku, firma Sinohytec jako výrobce vodíku a Tsinghua University v Pekingu, která převzala vědeckou podporu projektu a vyhodnocení jeho výsledků. Čtyřicet procent nákladů na vozidla uhradila UNDP (United Nations Development Program) jakožto další partner projektu.

6.4.5 Motocykl na vodík

Známá designérská dvojice Seymour&Powell si získala širokou pozornost médií řadou zajímavých konceptů z nejrůznějších odvětví. V poslední době se mluví hodně o jejich motocyklu ENV (Emissions Neutral Vehicle), poháněném vodíkovým motorem.

Motor motocyklu ENV byl navržen a vyroben s cílem demonstrovat každodenní využití vodíkové technologie. Palivový článek „Inteligent Energy“ je vyjímatelný z rámu motocyklu, je kompaktní a výkonný, schopný pohánět prakticky cokoli, počínaje lodí a konče např. elektrostanicí malého domu. Motocykl ENV je lehký a aerodynamický. Ve

městě nebo v terénu dosahuje rychlosti kolem 50 mil za hodinu. Jeho provoz je velmi tichý a neznečišťuje ovzduší. Po natankování plné nádrže ENV běží nepřetržitě až 4 hodiny. Nemá žádnou převodovku a i přesto, že je konstruován jako motocykl, jezdec má pocit, že řídí spíše rychlé a dobře ovladatelné horské kolo.

Obrázek 19: Seymour&Powell ENV



Hlavní přínos řešení od PTC spatřuje společnost Seymourpowell v jeho flexibilitě. Systém Pro/Engineer a ISDX jim údajně umožnili pracovat plynule a intuitivně, když v jednom systému byli konstruktéři schopni navrhovat jak design, tak provádět detailní konstrukci např. šasi, výkyvného ramena zadní nápravy apod. I když se jednalo o strojařské díly s definovanou funkcí, musel výsledek také dobře vypadat, k čemuž pomohly právě i moderní CAx technologie.

Spolupráce mnoha uživatelů nad projektem probíhala pomocí řešení Pro/Intralink 8.0, které umožnilo správu všech modelů. Důležité pro tým firmy Seymourpowell bylo také sdílení modelů z Pro/Engineera s významnými výrobci a subdodavateli, kdy např. jeden z dodavatelů mohl snadněji provést předvýrobní analýzy, protože model obdržel přímo v nativním Pro/E-formátu.

7. VÝZKUMNÉ AKTIVITY VODÍKOVÝCH TECHNOLOGIÍ

7.1 Projekty a aktivity ve světě

7.1.1 Projekt HYCHAIN

V Paříži byl v lednu 2006 oficiálně odstartován projekt HYCHAIN. Ve čtyřech regionech EU bude díky tomuto projektu testováno 150 malých vodíkových vozidel.

Evropská komise se rozhodla, že do roku 2020 se bude v EU využívat 20% alternativních pohonných hmot. Je to proto, aby se redukovala závislost na fosilních palivech (ropa, zemní plyn, uhlí) a omezily emise skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek, které podporují změnu klimatu a způsobují některé respirační choroby.

Dnes je ne světě pouze několik stovek prototypů vozidel poháněných vodíkovým palivovým článkem. Kromě toho, že cena vozidla je velká, je jeho rozšíření komplikované, kvůli pracovnímu rozsahu a omezené infrastruktuře pro dodávky vodíku. Na světě existuje pouze několik “zkušebních čerpacích stanic” kde je možné “natankovat” vodík.

Projekt HYCHAIN-MINITRANS poskytne uživatelům v regionu EU možnost testovat 150 vodíkových vozidel: skútry, tříkolky, invalidní vozíky, malá vozidla a minibusy. Počáteční prioritou bude vozový park, který bude patřit městské správě v partnerských městech, invalidní vozíky budou používány ve spolupráci s některými nemocnicemi, a to v regionech Rhône-Alpes ve Francii, Emilia Romagna v Itálii, Castilla y León ve Španělsku a Jižní Westfálsko v Německu. Tento projekt bude trvat 5 let, zahrnuje dvě fáze: 2006 až 2007 budou vyrobena vozidla a rozvinuta infrastruktura a od roku 2008 do 2010 budou vozidla testována ve čtyřech regionech za skutečných podmínek.

Projekt HYCHAIN-MINITRANS má důležité sociální aspekty: cílem je podporovat rozvoj nového průmyslu v Evropě, významně podporovat pravidla která budou v budoucnu používána, rozvíjet technologie která neohrožují životní prostředí.

Projekt bude financován Komisí Energie a Transportu Evropské Komise, částkou 17 milionů Euro (celkový rozpočet je 37,6 milionů Euro), HYCHAIN-MINITRANS projekt je na světě vůbec prvním takovýmto projektem. Koordinátorem projektu bude společnost Air Liquide, na projektu bude dále spolupracovat 24 evropských partnerů: AXANE, BESEL, WIN, Air Liquide Italia, CEA, INERIS, INPG, PAXITECH, ASCOPARG, Air Liquide Espana, CIEMAT, DERBI, RUCKER, CEU, DOMENECH, IBERDROLA, WI, HYDROGENICS, MASTERFLEX, FAST, VEM, DEMOCENTER a Air Liquide Deutschland.

7.1.2 Projekt CUTE

Při příležitosti světové konference Mezinárodní unie veřejné dopravy byl v Madridu předveden první autobus na vodík. Autobus je součástí projektu CUTE (Clean Urban Transport for Europe), který spolufinancuje Evropská unie. Tento program odstartoval v listopadu 2001 a jeho cílem je vyvinout veřejný autobusový systém na vodíkové palivové články.

Projekt CUTE (Clean urban transport for Europe – Čistá městská doprava pro Evropu), podpořený 18,5 milionů eur z finančních zdrojů EU (rozpočet projektu je 52 milionů eur), podporuje provoz vodíkových autobusů v několika významných městech Evropy. První byl dodán do Madridu v roce 2003. Výkon autobusů s palivovými články je srovnatelný s konvenčními diesellovými modely, s maximální rychlostí 80 km/h. Vozový park, největší svého druhu na světě, by měl potvrdit, že autobusová doprava s nulovými emisemi je již životaschopná možnost pro městské oblasti.

V rámci evropského projektu CUTE již jezdí v současné době v devíti evropských velkoměstech (Londýn, Porto, Lucembursko, Hamburk, Barcelona, Stuttgart, Stockholm, Amsterdam, Madrid) celkem 27 autobusů s vodíkovým pohonem na běžných linkách městské dopravy.

Projekt CUTE demonstruje dopravní systém bez emisí a s nízkou hladinou hluku. Také má sloužit k posílení konkurenceschopnosti evropského průmyslu ve strategicky důležité oblasti výroby vodíku a technologie palivových článků. Důležité je rovněž snížení emisí skleníkových plynů, s nímž má většina zemí EU v současné době problémy. Projekt také dokazuje evropskému společenství blízkost takové inovativní technologie každodenním věcem jako jsou lokální kvalita ovzduší, lidské zdraví a ochrana prostředí.

Z projektu pak bude k dispozici soubor nových poznatků ohledně bezpečnosti, určení standardů a způsobů výroby autobusů a výměna zkušeností o jejich provozu.

Zúčastněná města provedou nakonec ekologickou, technickou a ekonomickou analýzu celého cyklu a srovnání s běžnými alternativami. Nezbytná bude kvantifikace snížení množství CO₂ na evropské úrovni díky vodíkovým autobusům a tím jejich přispění ke splnění závazků Kjótského protokolu.

Projekt CUTE má dva sesterské projekty v Reykjavíku na Islandu a v australském Perthu, a zájem o něj projevil i USA a Japonsko.

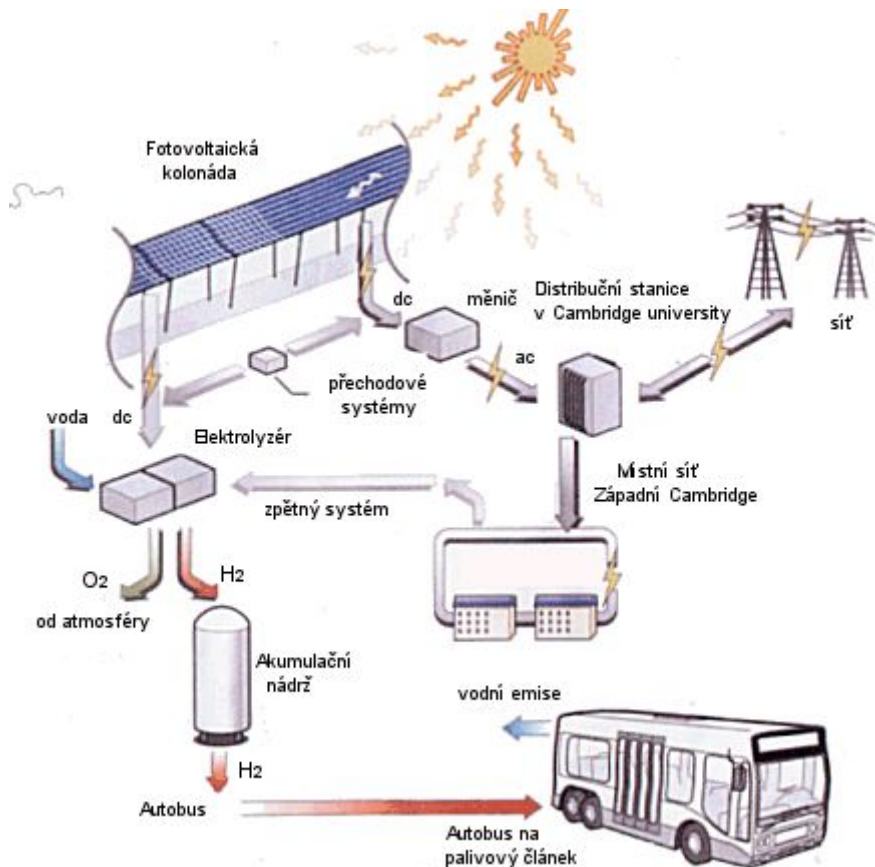
7.1.3 Projekt USHER

Hlavním cílem projektu USHER je ukázat uskutečnitelnost využívání elektřiny generované fotovoltaickým systémem k pohánění elektrolyzérů vyrábějících vodík pro pohon autobusů na palivový článek. Členy projektu jsou BP Solar; britská společnost provozující autobusy Stagecoach; výrobce elektrolyzérů Hydrogen Systems; společnost

průmyslového plynu Linde AGA; strojírenská poradenská služba Whitby Bird & Partners; Cambridge University Estates; Cambridge University Engineering; Municipality of Gotland; Gotland Energy Agency a ISLENET a mnohá místní společenství pro šíření OZE. Tyto 5-ti milionové (Euro) projekty jsou financovány Evropskou komisí, národními vládami a společníky samotnými.

Projekt USHER probíhá ve dvou místech: v Cambridge (Velká Británie) a v Gotlands Kommun (Švédsko). V Gotlandu bude projekt obnášet 2 500 m² fotovoltaických článků, využívaných pro pohon elektrolyzérů produkujících vodík pro pohon autobusů jezdících ve městě Visby (světově uznávaná památka). V Cambridge se jedná o plochu 3 500 m² fotovoltaických panelů (největší souvislá plocha ve Velké Británii) produkujících 300 kW, které budou instalovány na střeše kolonády v novém vědeckém parku vybudovaném umístěném mimo střed města. Doprava do vědeckého parku bude zajištěna autobusem na palivový článek plněný vodíkem získaným elektrolyzou za využití elektřiny z fotovoltaických panelů. Systém v Cambridge bude produkovat 30 m³ vodíku za hodinu ze 144 kW elektrolyzérů. Vodík bude v autobuse skladován pod vysokým tlakem a vodík pro dočerpání bude skladován v kontejneru v místě vědeckého parku. Autobusy měly být v Cambridge v provozu ve třetím čtvrtletí 2003, nicméně problémy, které se objevily, způsobily, že se celá akce opozdí.

Obrázek 20: Schéma projektu USHER



Bohužel prozatím je situace taková, že až bude celá akce dokončena, demonstrační projekt USHER neumožní takové zhodnocení fotovoltaiického systému, jako kdyby byla vyrobená elektřina dodávána přímo do sítě, týká se to zejména cen energie, podílu emisí, architektury, bezpečnosti, technické proveditelnosti, veřejného přijetí a reálnosti. Projekt pomůže demonstrovat využití vodíku jako prostředku překonání občasných problémů, které způsobují výkyvy a nepravidelnost generované elektřiny z fotovoltaiiky.

7.1.4 Cestovní mapa USA v oblasti využití vodíku v dopravě

USA Department of Transportation (ministerstvo dopravy USA) oficiálně vydalo Hydrogen Roadmap, tedy dokument pro přechod dopravních systémů na vodík.

Roadmap (nebo cestovní mapa) slouží jako průvodce pro výzkumné a vývojové programy a pro komunikaci, koordinaci a spolupráci s ostatními ministerstvy USA, průmyslem a veřejností. Cestovní mapa popisuje čtyři základní oblasti:

- Bezpečnostní předpisy, nařízení a normy;
- Rozvoj a rozmístění infrastruktury;
- Vzdělání a školení v oblasti bezpečnosti
- Vývoj vozidel.

Cestovní mapa také popisuje současné aktivity podporující vodíkovou iniciativu prezidenta Bushe, vymezuje způsob a časový rámec vytvoření dostatečné vodíkové infrastruktury. Cestovní mapa by měla být živý dokument, bude v případě potřeby aktualizována. Její aktuální podobu lze nalézt na internetovém portále ministerstva dopravy USA věnovanému vodíku umístěném na <http://hydrogen.dot.gov>

7.1.5 Projekt HFP

Na základě pobídky Evropská komise byla založena skupina vysokých představitelů (High-level group - HLG). Ta v lednu 2004 o založila Evropskou technologickou platformu European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform (HFP) sdružující na 200 partnerů.

Hlavním motivem platformy v souladu s dalšími evropskými platformami je posílení konkurenceschopnosti evropského průmyslu, podpora principů udržitelného rozvoje, další sociální rozvoj s maximálním využitím možností výzkumu a vývoje. Cílem platformy HFP, kterou řídí poradní výbor složený z představitelů 35 významných evropských institucí (delegáti Evropské komise, průmyslu – DaimlerChrysler, Renault, Rolls-Royce, Shell, Siemens-Westinghouse, akademické sféry, veřejného a finančního sektoru), je připravit strategii pro uplatnění vodíkových technologií a palivových článků na trhu tak, aby se co nejvíce využil technologický a ekologický potenciál těchto technologií.

Zásadní důraz klade platforma na rozvoj aplikací palivových článků v dopravě, na vývoj stacionárních jednotek pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny a na technologie využitelné pro napájení přenosných přístrojů (počítače, mobilní telefony...).

Další rozvoj technologií směřující k jejich komercializaci bude následně vyžadovat zapojení soukromých investorů. Počítá se s realizací velkých demonstračních projektů.

V rámci platformy HFP bylo vytvořeno několik pracovních skupin pokrývajících specifické sektory, které byly vyhodnoceny jako významné z hlediska zmiňovaných technologií (financování a rozvoj podnikání, vzdělávání a školení, výzkum a vývoj, normování a standardizace, certifikace) pro splnění základních politik Evropské unie.

Vize platformy byla zveřejněna na začátku roku 2005 a v současné době je dostupný návrh strategických dokumentů SRA a DS (rozmisťovací strategie).

7.1.6 Projekt HydroFueler

Záměrem projektu Hydrofueler je vývoj technologie, jež umožní, aby benzinové pumpy mohly využívat přírodního zemního plynu k výrobě vodíku vhodného pro spalovací motory nebo pro palivové články na bázi vodíku.

Mezinárodní projekt, spolufinancovaný Evropskou komisí částkou 1,62 mil. eur, vede univerzita ve Warwicku. Dr. Ashok Bhattacharya, ředitel skupiny věří, že se vyvine první praktický proces, který představuje čistý a efektivní zdroj vodíku, při využití již existující infrastruktury.

Projekt je sice zaměřen na postavení životaschopného zařízení pro benzinové stanice, ale bude současně vhodným řešením pro podniky i domácnosti. Až doposud je jednou z překážek intenzivnějšího šíření vozidel s vodíkovým palivem problematika plnicích stanic. Projektový tým je přesvědčen, že se mu podaří tento problém vyřešit.

Produkce vodíku na bázi přírodního plynu je sice dobře zvládnuta ve velkém průmyslovém měřítku, ale tyto metody nelze aplikovat v malém měřítku, jaké přichází v úvahu u plnicích stanic. Aby byl proces v malém objemu nákladově přijatelný, musí být automatizovaný, dálkově říditelný a schopný pracovat v uzavřeném prostoru.

Tým projektu Hydrofueler zkombinuje inovativní technologii tepelného výměníku s novým způsobem využití a řízení tepla a tlaku v reaktoru. Postaví zařízení, využívající miniaturní ploché prvky, kryté nanokrystalickým katalyzátorem, jenž pronikavě zvýší efektivnost reakce. Tato technika dovolí postavit reaktor s rozměry zhruba dvojité postele. Může být umístěn do pracovního prostoru současných benzinových čerpadel a měnit přírodní plyn na vodík bez jakýchkoliv problémů s emisemi. Další výhodou bude možnost vyrábět vodík s různým stupněm čistoty.

To je vynikající zejména pro palivové články, jež vyžadují různé směsi vodíku. Nový reaktor bude tedy poskytovat vodík se dvěma, třemi nebo čtyřmi hvězdičkami. Kromě

toho je možno technologii reaktoru změnou některých parametrů přizpůsobit ke konverzi jiných energetických surovin na biopalivo.

7.2 Projekty a aktivity v ČR

7.2.1 Vodíkový klastr v Moravskoslezském regionu

27. března 2006 se v Ostravě uskutečnil 4. workshop, který se uskutečnil v rámci projektu "Vyhledávání vhodných firem pro vodíkový klastr v Moravskoslezském kraji, vyhodnocení jeho životaschopnosti a přínosů." V článku přinášíme informace z workshopu.

Společnost VVUÚ, a.s. uspořádala 27. března 2006 4. workshop, který se uskutečnil v rámci projektu "Vyhledávání vhodných firem pro vodíkový klastr v Moravskoslezském kraji, vyhodnocení jeho životaschopnosti a přínosů." Hlavním garantem akce bylo SDRUŽENÍ PRO ROZVOJ MORAVSKOSLEZSKÉHO KRAJE.

Sdružení pro rozvoj MSK bylo v srpnu 2005 pověřeno Moravskoslezským krajem k realizaci tohoto projektu, který je naplánován na období říjen 2005 až květen 2006. V této fázi probíhalo mapování oblasti potenciálních členů o klastr.

Důležitou součástí byla pracovní setkání (workshopy), na kterých se zájemci seznámí s základními principy fungování, financování a s přínosy klastrové iniciativy pro její členy.

Harmonogram pracovních setkání:

1. workshop se uskutečnil 30. 1. 2006 – místnost D 206 hlavní budova VŠB – TU Ostrava v Ostrava - Porubě, úvodní část byla zaměřena na seznámení s projektem, odborná přednášková část pak na současné možnosti výroby vodíku.
2. workshop se uskutečnil 27. 1. 2006 ve velké zasedací místnosti Vědecko-technologického parku Ostrava, Technologická 372/2, Ostrava - Pustkovec a byl zaměřen na skladování a distribuci vodíku.
3. workshop se uskutečnil 15. 3. 2006 v zasedací místnosti Sdružení pro rozvoj Moravskoslezského kraje, Výstavní 8, Ostrava – Mariánské Hory a byl zaměřen na problematiku právní formy, organizace a financování klastru.
4. workshop se uskutečnil 27. 3. 2006 v areálu společnosti VVUÚ a.s., Pikartská 1337/7, Ostrava – Radvanice a odborná část byla zaměřena na bezpečnost vodíkových technologií.

V rámci 4. workshopu se do projektu mapování přihlásilo již 11 firem:

1. AIR LIQUIDE CZ, s. r. o.
2. AIR PRODUCTS spol. s r. o.
3. BorsodChem MCHZ, s. r. o.
4. ForSTEEL, s. r. o.

5. LINDE TECHNOPLYN a. s.
 6. OXYCO DYNAMICS, s. r. o.
 7. Severomoravská plynárenská, a. s.
 8. VÍTKOVICE Cylinders a.s.
 9. VÍTKOVICE TESTING CENTER s. r. o.
 10. VVUÚ, a. s.
 11. ZVU Engineering a.s.
4. workshop, který byl zaměřen na bezpečnost vodíku byl zahájen exkurzí v laboratořích VVUÚ, a. s. se zajímavou prezentací společnosti a jejích aktivit. Konference, která se konala v odpoledních hodinách představili někteří účastníci své názory na bezpečnost vodíku a jejím vnímání veřejností.

V další fázi projektu jsou již plánovány konkrétní kroky pro vytvoření vodíkového klastru.

7.2.2 Aktivita společnosti Vítkovice Cylinders

Společnost Vítkovice Cylinders z holdingu Vítkovice chce v roce 2010 začít vyrábět tlakové lahve a nádoby na vodík do vozů světových automobilek.

Jak uvedli zástupci firmy, podnik chce zároveň vložit peníze do výroby ocelových lahví a nádob na zemní plyn pro pohon automobilů a pro čerpací stanice. Celkem by jej tyto výrobní programy měly přijít na jednu miliardu korun. Nyní probíhá série poptávkových řízení na subdodavatelské unikátní linky pro první etapu projektu. Výroba využije neobvyklou technologii zpětného protlačování ocelových nádob z bloků, protože tlakové lahve a nádoby vyráběné touto technologií jsou schopné dosahovat výjimečných technických parametrů za ekonomicky nejvýhodnějších podmínek.

Investice by měla mít tři etapy. Nejprve bude firma vyrábět lahve pro automobily, následně pro čerpací stanice a nakonec nádoby na vodík. Výstavbu linky na výrobu ocelových nádob do automobilů by firma chtěla dokončit v první polovině roku 2007. V letech 2008 až 2009 by měla začít vyrábět speciální nádoby pro plnicí stanice zemního plynu. V roce 2010 pak chce vyrábět nádoby pro vodíkový program.

Vodík je podle odborníků jednou z možností, jak řešit problém rostoucích cen pohonných hmot a vysokých emisí. Vývojem aut na vodík se zabývají světové automobilky. Letos ohlásily spolupráci v tomto směru např. Toyota a General Motors.

Firma od roku 2003 dodává lahve na zemní plyn do Brazílie a Argentiny, kde jezdí zhruba polovina všech automobilů na světě na stlačený zemní plyn - celkem jde zhruba o 2,3 milionu vozů. Loni vyrobily Vítkovice Cylinders téměř 440 000 lahví.

7.2.3 Vodíkové vozidlo v ČR

V Neratovicích se připravuje česká premiéra vozidla, které používá jako palivo vodík. V západní Evropě jezdí na toto ekologické palivo už celkem 30 autobusů. Mezi unijními nováčky je ale zatím ticho po pěšině. Ovšem během dvou let nastane i v našich zeměpisných šířkách změna. V českých Neratovicích začne v roce 2008 jezdit na jedné místní lince městský autobus s nádržemi plynného vodíku na střeše.

Připravovaný projekt má vychytat „dětské nemoci“ spojené s provozem autobusu. Zdrojem paliva se stane vodík ze Spolany Neratovice, kde vzniká jako nevyužívaný vedlejší produkt při výrobě jiných chemických sloučenin v množství řádově tuny za den.

„Palivové články mohou spolehlivě fungovat a dodávat energii pro elektromotor jen v případě, že vodík má náležitou čistotu,“ zdůrazňuje inženýr Luděk Janík z Ústavu jaderného výzkumu v Řeži. Tato instituce celý projekt české premiéry koordinuje. Čištění vodíku je společným úkolem Vysoké školy Chemickotechnologické v Praze a Spolany Neratovice.

Dalšími otazníky, na které musí odborníci najít odpovědi, je skladování, doprava a tankování plynného vodíku. V projektu se počítá s vývojem a stavbou čerpací stanice pouze pro experimentální autobus. Perspektivně by se ale mohla stanice rozšířit a sloužit i dalším vozidlům na vodík.

Autobus má nejenom přepravovat pasažéry, ale zároveň se stane pojízdným informačním a demonstračním vozidlem. V interiéru chtějí tvůrci projektu nechat instalovat obrazovku. Cestující na monitoru například uvidí, jaké množství oxidu uhličitého a dalších škodlivin se při jízdě ušetřilo.

7.2.4 Hybridní vozy v ČR

S růstem cen pohonných hmot se zvyšuje zájem o vozy s nižší spotřebou. O hybridní vozy, které vedle benzínu jezdí i na elektřinu, se ale zatím řidiči v ČR neperou. Podle Luboše Doláka, spolumajitele autosalonu Toyota v Písku, je to hlavně tím, že od nich zájemci očekávají abnormálně nízkou spotřebu: "Tato auta jsou ale vymyšlena na abnormálně nízké emise. Spotřeba je u nich nízká hlavně při jízdě ve městě. Třeba na dálnici se ale baterky rychle vybíjejí a spotřeba pak vyskočí," vysvětluje Dolák, jehož autosalon ročně prodá pouze dva až tři kusy těchto vozů ročně.

Automobilky na českém území se proto do výroby hybridů nehrnou. Kolínská TPCA vyrábí už nyní malé vozy, jejichž spotřeba se pohybuje okolo 4,5 litrů na 100 km, a podle mluvčího firmy Matěje Matolína by tak neměla výroba hybridů smysl: "Při tak nízké spotřebě našich aut bychom už jen těžko dosáhli výrazně lepších výsledků," vysvětluje

Matolín. Mladoboleslavská Škoda Auto se zatím do riskantního podniku také nepouští. Důvodem je podle jejího mluvčího Jana Černého také nedostatečný tlak poptávky.

Výrobci za českými hranicemi jsou odváznější. Toyota nabízí (i u nás) dva vozy na kombinovaný pohon: Lexus a Prius. Ten firma začala vyrábět v roce 1997 jako vůbec první vůz s kombinovaným pohonem a od té doby s ním na tomto specializovaném trhu kraluje. V USA s ním Toyota ovládá více než polovinu trhu vozů své kategorie. U nás se dá jeho základní verze pořídit od 800 tisíc korun.

Vedle Toyoty nabízí několik let auta na dvojí pohon také Honda (modely Civic Hybrid, Insight a Accord Hybrid). Prodeje vozů s kombinovaným pohonem ale dosahují na americkém trhu zatím jen 1,1 procenta z asi 1,7 milionu aut, která Američané za rok nakoupí. Pro spotřebitele jsou i nadále příliš drahá a navíc zjišťují, že jejich provoz není až tak laciný, jak se může zdát. Nic to však nemění na faktu, že před pěti lety se v USA prodalo jen něco málo přes 5000 těchto vozů a loni jich bylo již téměř 190 tisíc.

Na autosalonu v Detroitu, který začíná v polovině ledna, představí Toyota i další hybrid Camry. Ford vystaví hybridního sportáka se spotřebou 3,6 litru na 100 kilometrů a General Motors vyrukuje dokonce se dvěma modely na kombinovaný pohon. V konsorciu s BMW a DaimlerChrysler navíc GM vyvíjí nový systém hybridních vozů. Výsledkem jejich spolupráce by měl být, podobně jako u Toyoty, dvou režimový pohon složený z elektromotorů a spalovacího motoru. Na autosalonu v Detroitu by se mělo představit i několik novinek s vodíkovým pohonem. Z novinek na autosalonu přineseme podrobnější zprávu.

Svá auta na kombinovaný pohon představí do roku 2008 také Volkswagen. Sériová výroba určená pro čínský trh by měla přijít do roku 2010.

7.2.5 Otevřena nová stanice na výrobu vodíku a nová plnicí jednotka

V areálu ostravské BorsodChem MCHZ byla 14.12.2005 otevřena nová jednotka pro plnění vodíku do vozidel. Tato jednotka rozšiřuje možnosti nové stanice pro výrobu vodíku. Připomínáme, že do té doby byla jediná jednotka pro výrobu vodíku umístěna v areálu Litvínovského Chemopetrolu a provozovala ji společnost Airproducts, a.s.

Společnost LINDE TECHNIPLYN vybudovala v areálu společnosti BorsodChem MCHZ výrobu vodíku a jednotku pro plnění automobilových cisteren.

U příležitosti zprovoznění plničky uspořádali oba partneři 14. prosince Vodíkový den, na který pozvali své obchodní partnery, představitele spolupracujících firem, zástupce města a novináře z celostátních deníků i odborných periodik.

Generální ředitel společnosti LINDE TECHNIPLYN ing. Petr Choulík řekl, že podílem na investici do nové výroby vodíku v BorsodChem MCHZ a zprovozněním moderní plničky trajlerů posiluje firma svou pozici na severní Moravě a ve Slezsku (70% produkce je

určena pro český trh), část produkce je určena zákazníkům do Polska a na Slovensko. Účast LINDE TECHNOPLYN na výrobě vodíku a jeho distribuce dalším odběratelům je v souladu s projekty a záměry koncernu LINDE AG, které směřují především k využití vodíku jako perspektivního zdroje energie jedenadvacátého století s významnou a širokou možností využití v automobilovém průmyslu.

Obojí hostům Vodíkového dne názorně přiblížil vedoucí týmu LINDE GAS DE Jaco Reijerkerk. Mnichovské letiště už například využívá autobus na vodíkový pohon pro přepravu cestujících z odbavovací haly k letadlům a v bavorské metropoli je v provozu také první vodíková čerpací stanice pro osobní vozy. Ve spolupráci s velkými automobilkami je vypracována trasa evropské vodíkové dálnice a jsou dány kroky, jimiž je třeba k úspěchu projektu postupovat. Na cestě k vodíkové budoucnosti však leží ještě obrovské množství technologických, bezpečnostních, legislativních a dalších překážek, jejichž překonání bude finančně velice nákladné. Pro úspěšné dosažení cílů je nezbytné, aby výzkum stejně jako realizace jednotlivých kroků probíhaly na celoevropské bázi, připomněl generální ředitel BorsodChem MCHZ ng. Pálffy, který také účastníkům prezentace přiblížil principy současné technologie výroby vodíku.

Ve vstupní hale správní budovy byl po celý Vodíkový den vystaven také trojrozměrný model vodíkové palivové nádrže se zařízením pro připojení při čerpání vodíku. Uznání odborníků sklízelo rovněž vodíkové vozidlo HydrogenIX, sestavené týmem Vysoké školy báňské - TU Ostrava, které v loňském roce úspěšně absolvovalo Eco Shell Maraton ve Francii. Na letošní rok si celý tým vytýčil cíle ještě náročnější, včetně postavení nového auta.

Představu o provozování a technické úrovni špičkových vodíkových technologií si mohli hosté vodíkového dne udělat na základě prohlídky nové výroby vodíku a jejího velínu i plničky trajlerů s výkladem manažerů BorsodChem MCHZ a odborníků firmy LINDE.

Výstavba plnicí jednotky trvala 14 měsíců a přišla na 90 milionů Kč, z čehož 50 milionů investovala firma LINDE.

Ještě připomeňme, že v BorsodChem MCHZ se vodík vyrábí parním reformingem ze zemního plynu, výstupní tlak jednotky je 220 barů a kapacita plnění je 600 m³ h⁻¹. Doba nutná k naplnění jednoho trajleru tak činí 4 hodiny.

7.2.6 Palivový článek na ČVUT FEL v Praze

Ve čtvrtek 14. dubna 2005 byla slavnostně otevřena laboratoř vodíkového palivového článku v areálu Fakulty Elektrotechnické Českého vysokého učení technického v Praze. Pilotní projekt energetického využití palivových článků realizovaný společností ENVIROS byl podpořen v rámci Státního programu na podporu energetických úspor a využití obnovitelných zdrojů energie v roce 2004. Vodíkové palivové články jsou velmi perspektivní technologií výroby elektřiny a tepla s nulovou produkcí emisí znečišťujících

látek. Slavnostní přestřižení pásky provedli náměstek ministra průmyslu a obchodu Ing. Martin Pecina a děkan elektrotechnické fakulty Prof. Vladimír Kučera, otevření se dále zúčastnili zástupci České energetické agentury, vysokých škol, Operátora trhu s elektřinou, Akademie věd ČR, Státního fondu životního prostředí a jiných institucí.

Cílem pilotního projektu je představení moderní alternativní technologie kombinované výroby elektřiny a tepla v České republice, demonstrace zařízení v provozu včetně měření typových průběhů zatěžování, ověření možností využití jako kogeneračního zdroje energie. Druhotným záměrem pilotního projektu je zapojení vědeckého pracoviště do přípravy a zejména do provozování technologie palivového článku s cílem přiblížení této nové technologie studentům elektrotechnické fakulty - budoucím energetickým manažerům.

Technologie palivového článku bude umístěna ve speciálně upravené laboratoři umožňující pořádání odborných seminářů a presentačních akcí zaměřených také na české průmyslové a výrobní firmy s cílem podpořit případnou spolupráci.

8. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOECNÍ

Na výhodách logistického řetězce výroba – uskladnění – přeprava spočívá inovační perspektiva vodíkového hospodářství. Při tomto přístupu již není vodík považován za bezprostřední palivo (jako např. v raketách nebo při pohonu spalovacího motoru), ale mnohem obecněji za nový nosič energie, srovnatelný s univerzálním nosičem energie pokrývajícím velkou část současného zásobování energií, totiž s elektřinou. Elektřina vyrobená v elektrárnách protéká kabely široce rozvětvených rozvodných sítí k jednotlivým odběratelským místům a její jedinou nevýhodou je, že se musí bezprostředně po vyrobení spotřebovat. To znamená, že ji nelze uskladnit (s výjimkou rychle vyčerpateľných baterií spíše malého výkonu) a vyrobit tak do zásoby.

Ale právě tak i vodík vyrobený ve vzdálených výrobních provozech je možné distribuovat potrubím nebo převážet v cisternách. Navíc je možnost vodík před transportem nebo po transportu uskladnit; to je jeho významná přednost oproti elektřině. Tak je např. možné vodík pro vozidla v silniční dopravě uskladnit v servisních tankovacích stanicích a podobně jako benzin nebo naftu ho vydávat na čerpacích stojanech. Z nádrže vozidla může vodík jako nosič energie napájet palivový článek, dodávající potřebný elektrický proud pro hnací motor, kterým je vozidlo vybaveno. Vodík tak obrazně řečeno „bezdrátovým způsobem“, zajišťuje dostupnost elektrického proudu. Skutečné technické řešení je ovšem složitější, protože je třeba brát v úvahu všechna technologická hlediska i bezpečnostní rizika spojená se skladováním, přepravou a manipulací s vodíkem.

I ze zjednodušeného popisu tohoto logistického řetězce je zřejmé, proč je třeba mnohoslibné vyhlídky palivových článků v automobilovém průmyslu začlenit do velmi ambiciózní koncepce, postavené na radikálně novém vodíkovém hospodářství. Konstrukteři automobilů, kteří jsou touto technologickou změnou objektivně nadšeni, budou moci pokračovat v nastoupené cestě, pouze když se bude celý globální systém výroby, distribuce a spotřeby vodíku postupně vyvíjet. A to je nutné s vynaložením obrovských, koncentrovaných investic teprve vědecky promyslet, navrhnout a poté vyzkoušet a uskutečnit.

Infrastruktura vodíkového hospodářství ovšem daleko překračuje oblast dopravy. S hlediska celkové energetické potřeby společnosti by se měl vodík se svými schopnostmi stát trvalým spojencem elektřiny. Výzkumy, které v současnosti probíhají, jsou již zaměřeny na prototypy velkých stacionárních palivových článků pro aplikace v energetice. Ty by mohly jako plně decentralizované jednotky uspokojovat obrovskou poptávku průmyslu, zemědělství, sektoru služeb i domácností po elektřině, ale také po teple (kogeneraci tepla a elektřiny) a mechanické energii. V těsné spolupráci se zainteresovanými průmyslovými podniky se využívání vodíku jeví v několika příštích desetiletích jako schůdné a udržitelné východisko ze slepé uličky, do které světový energetický systém přivedlo trvalé „upřednostňování fosilních paliv“. Evropskou unii by navíc důsledná orientace na

využití vodíku jako základního zdroje energie zbavila stále rostoucích starostí o zajištění své nezávislosti na dovážených nosičích energie. A i proto musí mít vodíkové hospodářství podporu v nejvyšších politických kruzích EU, stejně tak i být nedílnou součástí energetické politiky státu.

LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Doležel I.: *Elektrochemie*. Skripta FEL ZČU, 1998.
- [2] <http://starfire.ne.uiuc.edu>.
- [3] <http://www.dodfuelcell.com>.
- [4] <http://www.fuelcells.co.uk>.
- [5] <http://www.dais.net>.
- [6] <http://www.fuelcells.org>.
- [7] <http://www.daimler-benz.com>.
- [8] <http://www.dwv-info.de>
- [9] <http://vodik.czweb.org>
- [10] Farský M., Richter M: *Vodíková ekonomika*. Vesmír 80, 2001/10
- [11] Zavadilík P., *Výroba vodíku pomocí sluneční energie*, 2000
- [12] Kolektiv autorů, *Encyklopedie energie*, 2005
- [13] Kolektiv autorů, *Obnovitelný vodík*, Alternativní energie 6/2003

TRENDY VE VÝVOJI VODÍKOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ VE SVĚTĚ A MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ V ČESKÉ REPUBLICE

Autor:

Ing. Michal Šváb, *ENVIROS, s.r.o.*

Vydala: Česká energetická agentura v roce 2006

Publikace je určena pro poradenskou činnost a byla zpracována s podporou ČEA