

# Vodíkové hospodářství a chemie

## BrNOC 2025

Zdeněk Moravec, hugo@chemi.muni.cz

IUPAC Periodic Table of the Elements																	
1 <b>H</b> hydrogen (21.00% of atoms)	2 <b>He</b> helium	3 <b>Li</b> lithium (0.70% of atoms)	4 <b>Be</b> beryllium	5 <b>B</b> boron	6 <b>C</b> carbon	7 <b>N</b> nitrogen	8 <b>O</b> oxygen	9 <b>F</b> fluorine	10 <b>Ne</b> neon	11 <b>Na</b> sodium (0.92% of atoms)	12 <b>Mg</b> magnesium (1.10% of atoms)	13 <b>Al</b> aluminum (7.50% of atoms)	14 <b>Si</b> silicon (2.70% of atoms)	15 <b>P</b> phosphorus (1.00% of atoms)	16 <b>S</b> sulfur (0.90% of atoms)	17 <b>Cl</b> chlorine (0.70% of atoms)	18 <b>Ar</b> argon (0.90% of atoms)
19 <b>K</b> potassium (1.50% of atoms)	20 <b>Ca</b> calcium (1.30% of atoms)	21 <b>Sc</b> scandium	22 <b>Ti</b> titanium (0.50% of atoms)	23 <b>V</b> vanadium	24 <b>Cr</b> chromium	25 <b>Mn</b> manganese (0.50% of atoms)	26 <b>Fe</b> iron (4.30% of atoms)	27 <b>Co</b> cobalt	28 <b>Ni</b> nickel	29 <b>Cu</b> copper (0.60% of atoms)	30 <b>Zn</b> zinc (0.70% of atoms)	31 <b>Ga</b> gallium (0.00% of atoms)	32 <b>Ge</b> germanium (0.00% of atoms)	33 <b>As</b> arsenic (0.00% of atoms)	34 <b>Se</b> selenium (0.00% of atoms)	35 <b>Br</b> bromine (0.00% of atoms)	36 <b>Kr</b> krypton (0.00% of atoms)
37 <b>Rb</b> rubidium (0.00% of atoms)	38 <b>Sr</b> strontium (0.00% of atoms)	39 <b>Y</b> yttrium (0.00% of atoms)	40 <b>Zr</b> zirconium (0.00% of atoms)	41 <b>Nb</b> niobium (0.00% of atoms)	42 <b>Mo</b> molybdenum (0.00% of atoms)	43 <b>Tc</b> technetium (0.00% of atoms)	44 <b>Ru</b> ruthenium (0.00% of atoms)	45 <b>Rh</b> rhodium (0.00% of atoms)	46 <b>Pd</b> palladium (0.00% of atoms)	47 <b>Ag</b> silver (0.00% of atoms)	48 <b>Cd</b> cadmium (0.00% of atoms)	49 <b>Sn</b> tin (0.00% of atoms)	50 <b>Bi</b> bismuth (0.00% of atoms)	51 <b>Po</b> polonium (0.00% of atoms)	52 <b>At</b> astatine (0.00% of atoms)	53 <b>Rn</b> radon (0.00% of atoms)	54 <b>Xe</b> xenon (0.00% of atoms)
55 <b>Cs</b> cesium (0.00% of atoms)	56 <b>Ba</b> barium (0.00% of atoms)	57-71 <b>Lanthanides</b> lanthanide (0.00% of atoms)	72 <b>Hf</b> hafnium (0.00% of atoms)	73 <b>Ta</b> tantalum (0.00% of atoms)	74 <b>W</b> tungsten (0.00% of atoms)	75 <b>Os</b> osmium (0.00% of atoms)	76 <b>Ir</b> iridium (0.00% of atoms)	77 <b>Pt</b> platinum (0.00% of atoms)	78 <b>Au</b> gold (0.00% of atoms)	79 <b>Tl</b> thallium (0.00% of atoms)	80 <b>Pb</b> lead (0.00% of atoms)	81 <b>Bi</b> bismuth (0.00% of atoms)	82 <b>Po</b> polonium (0.00% of atoms)	83 <b>At</b> astatine (0.00% of atoms)	84 <b>Rn</b> radon (0.00% of atoms)	85 <b>Xe</b> xenon (0.00% of atoms)	86 <b>Og</b> oganesson (0.00% of atoms)
87 <b>La</b> lanthanum (0.00% of atoms)	88 <b>Ce</b> cerium (0.00% of atoms)	89 <b>Pr</b> praseodymium (0.00% of atoms)	90 <b>Nd</b> neodymium (0.00% of atoms)	91 <b>Pm</b> promethium (0.00% of atoms)	92 <b>Sm</b> samarium (0.00% of atoms)	93 <b>Eu</b> europium (0.00% of atoms)	94 <b>Gd</b> gadolinium (0.00% of atoms)	95 <b>Tb</b> thulium (0.00% of atoms)	96 <b>Dy</b> dysprosium (0.00% of atoms)	97 <b>Ho</b> holmium (0.00% of atoms)	98 <b>Er</b> erbium (0.00% of atoms)	99 <b>Tm</b> thytanium (0.00% of atoms)	100 <b>Yb</b> ytterbium (0.00% of atoms)	101 <b>Ts</b> thulium (0.00% of atoms)	102 <b>Lu</b> lutetium (0.00% of atoms)		
103 <b>Ac</b> actinium (0.00% of atoms)	104 <b>Th</b> thorium (0.00% of atoms)	105 <b>Pa</b> protactinium (0.00% of atoms)	106 <b>U</b> uranium (0.00% of atoms)	107 <b>Np</b> neptunium (0.00% of atoms)	108 <b>Pu</b> plutonium (0.00% of atoms)	109 <b>Am</b> americium (0.00% of atoms)	110 <b>Cm</b> curium (0.00% of atoms)	111 <b>Bk</b> berkelium (0.00% of atoms)	112 <b>Cf</b> californium (0.00% of atoms)	113 <b>Es</b> eserrium (0.00% of atoms)	114 <b>Fm</b> fermium (0.00% of atoms)	115 <b>Mg</b> magnesium (0.00% of atoms)	116 <b>Lv</b> lawrencium (0.00% of atoms)	117 <b>Ts</b> thulium (0.00% of atoms)	118 <b>Og</b> oganesson (0.00% of atoms)		

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 28 November 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC. The International Union of Pure and Applied Chemistry.

# Úvod

## Osnova

1. Vodík
2. Vodíkové hospodářství
3. Výroba vodíku
4. Skladování vodíku
5. Využití vodíku



Výbuch vodíku.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Zdroj: Maxim Bilovitskiy/Commons

# Vodík

- ▶ Nejjednodušší prvek. V přírodě se vyskytuje ve formě tří izotopů:<sup>2</sup>
  - ▶  $^1_1\text{H}$  – protium, nejběžnější, zastoupení v přírodě 99,9885 %.
  - ▶  $^2_1\text{H} \equiv \text{D}$  – deuterium, zastoupení v přírodě 0,0115 %.
  - ▶  $^3_1\text{H} \equiv \text{T}$  – tritium, nestabilní izotop,  $T_{\frac{1}{2}} = 12,32$  let.  
$${}^3_1\text{H} \xrightarrow{12,32 \text{ let}} {}^3_2\text{He} + \beta^-$$
- ▶ Plynný prvek, vytváří dvouatomové molekuly  $\text{H}_2$ .
- ▶ Je to nejrozšířenější prvek ve vesmíru.
- ▶ Díky své nízké hustotě se dříve využíval ve vzducholodích, nyní se už využívá jen v meteorologických a pouťových balónech.
- ▶ Dnes se využívá jako redukční činidlo v organické syntéze a metalurgii.<sup>3</sup>
- ▶ Je také výchozí látkou při Haberově–Boschově syntéze amoniaku.<sup>4</sup>
- ▶ Se vzduchem tvoří výbušnou směs.<sup>5</sup>

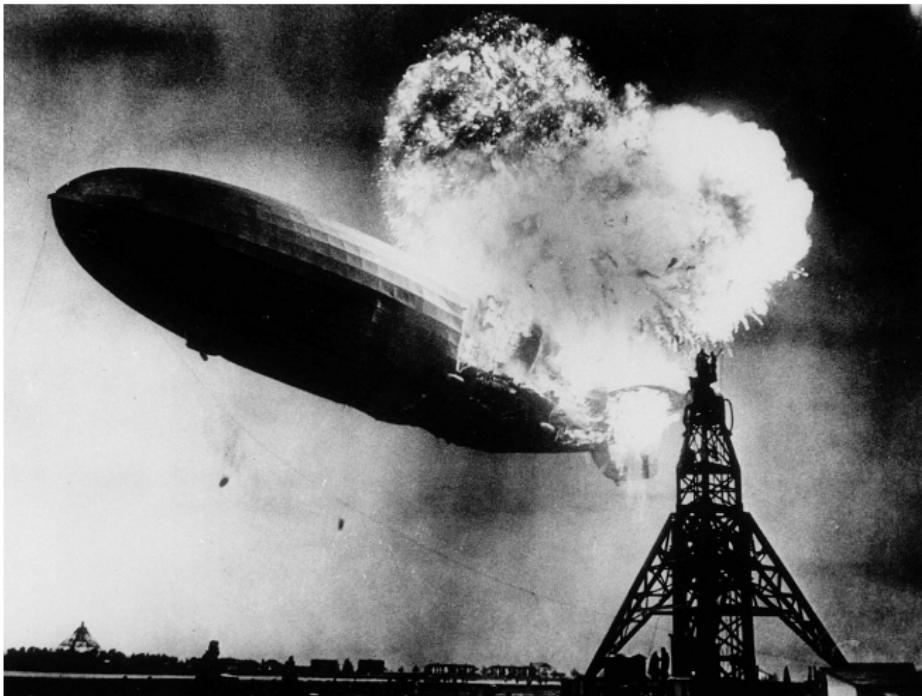
<sup>2</sup>The Isotopes of Hydrogen

<sup>3</sup>Nascent Hydrogen

<sup>4</sup>Fritz Haber and Carl Bosch – Feed the World

<sup>5</sup>Hydrogen/Oxygen Balloon Explosions

# Vodík



Výbuch vzducholodi Hindenburg, 1937. 36 mrtvých, 62 zraněných osob.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup>Zdroj: Sam Sphere/Commons

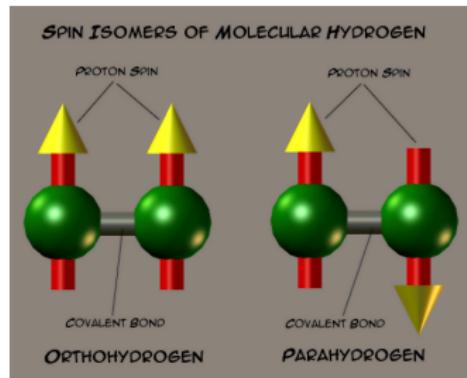
# Vodík

## Spinové izomery divodíku

- ▶ U molekul  $H_2$  byla zjištěna existence *spinových izomerů*, ty se liší vzájemnou orientací *jaderných spinů*.<sup>7</sup>
- ▶ Pokud mají obě jádra spiny orientovány paralelně, jde o *ortho*-vodík, v opačném případě jde o *para*-vodík.
- ▶ Za laboratorní teploty je obsah *ortho*-izomeru zhruba 75 %.
- ▶ Snižováním teploty stoupá koncentrace *para*-izomeru.
- ▶ Při nízkých teplotách lze získat čistý *para*-vodík, ale zahříváním nelze získat vyšší koncentraci *ortho*-izomeru než 75 %.

<sup>7</sup>Ortho and Para hydrogen

<sup>8</sup>Zdroj: Xaa/Commons

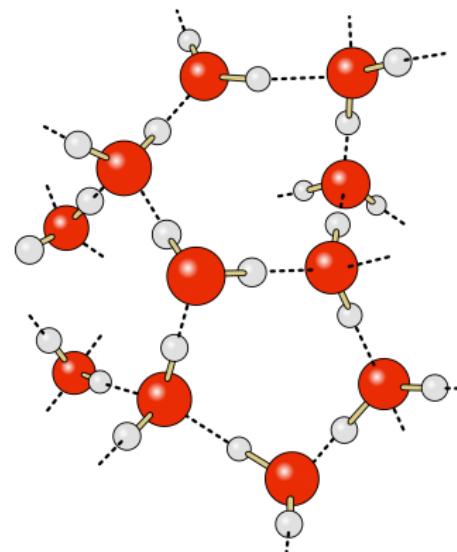


Spinové izomery divodíku.<sup>8</sup>

# Vodík

## Vodíková vazba

- ▶ Intermolekulární i intramolekulární vazba.
- ▶ Pokud je atom vodíku vázán k elektro-negativnímu atomu (F, N, O), dojde k velkému snížení elektronové hustoty v jeho okolí a tím i k zesílení jeho interakce se zápornými náboji v systému.
- ▶ Vodíková vazba je odpovědná za vysokou teplotu vody a také za strukturu ledu.
- ▶ Má velmi důležitou úlohu v biochemii, setkáme se s ní např. v DNA, proteinech, atd.



Vodíková vazba ve vodě.<sup>9</sup>

<sup>9</sup>Zdroj: Raimund Apfelbach/Commons

# Vodík

## Redukční činidlo

- ▶ Vodík se využívá jako účinné redukční činidlo.

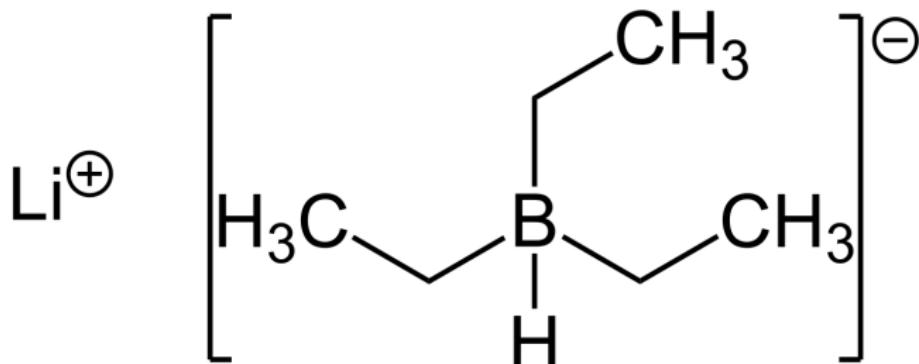


Redukce oxidu bismutitěho vodíkem.

# Vodík

## Redukční činidlo

- ▶ Nejvyšší účinnosti se dosahuje s využitím tzv. *nascentního vodíku*.
- ▶ Mezi účinné redukční činidla patří i komplexní hydridy, např.  $\text{NaBH}_4$  nebo tzv. *superhydrid*, triethylborohydrid lithný.<sup>10</sup>
- ▶  $\text{LiH} + \text{Et}_3\text{B} \longrightarrow \text{LiEt}_3\text{BH}$



<sup>10</sup>Lithium triethylborohydride, LiTEBH, Superhydride

# Vodík

## Redukční činidlo

### Raneyův nikl

- ▶ Šedý prášek, složený převážně z niklu, vyrábí se ze slitiny niklu s hliníkem.<sup>11</sup>
- ▶ Ta je rozpuštěna v hydroxidu sodném, hliník se rozpustí za vývoje vodíku, který se nasorbuje na povrch zrn niklu.
- ▶  $2 \text{Al} + 2 \text{NaOH} + 6 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3 \text{H}_2$
- ▶ Díky obsahu vodíku je Raneyův nikl pyroforický a musí se uchovávat tak, aby se zabránilo kontaktu se vzdušným kyslíkem.<sup>12</sup>



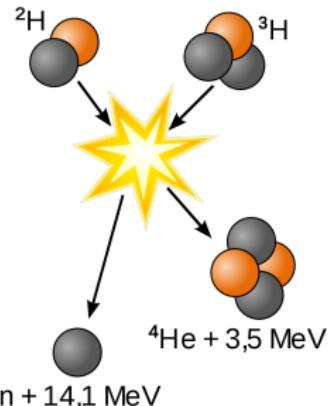
<sup>11</sup>Reagent Friday: Raney Nickel

<sup>12</sup>Raney Nickel spontaneous combustion

# Vodík

## Jaderná fúze

- ▶ Jedno z možných využití vodíku v energetice, resp. deuteria a tritia je *jaderná fúze*.
- ▶ Místo štěpení těžkých jader, dochází ke slučování lehkých jader.
- ▶ Nejvhodnější je využití izotopů vodíku, které se slučují za vzniku jader helia a uvolnění energie.
  - ▶  ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$
- ▶ Aby ke slučování mohlo dojít, je nutné v místě reakce vytvořit plasma o teplotě 100 miliónů °C.<sup>13</sup>
- ▶ Gram směsi deuteria s tritem by měl být schopen generovat výkon 500 MW po dobu asi jedné minuty.



Jaderná fúze deuteria s tritem.<sup>14</sup>

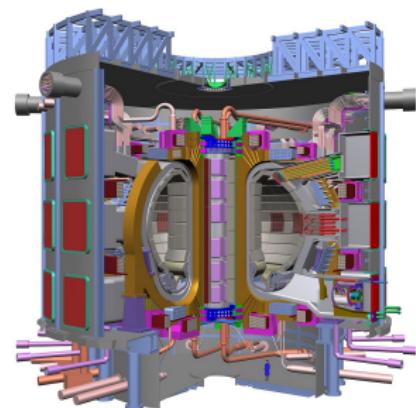
<sup>13</sup>Zapálíme Slunce na Zemi?

<sup>14</sup>Zdroj: Wykis/Commons

# Vodík

## Jaderná fúze

- ▶ *ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor.*<sup>15</sup>
- ▶ Stavba probíhá na francouzském území, začala v roce 2007.
- ▶ Mezinárodní projekt, jehož cílem je konstrukce reaktoru, který bude schopen vyrábět elektřinu pomocí jaderné fúze.
- ▶ Aby bylo možné vodíkové plazma udržet uvnitř reaktoru je nutné využít supravodivé magnety, které jsou schopné generovat dostačně silné magnetické pole. To bude zabráňovat kontaktu plazmatu s povrchem reaktoru.
- ▶ Očekávaný termín spuštění je v roce 2025, plného výkonu by měl dosáhnout o deset let později.



Model reaktoru ITERu.<sup>16</sup>

<sup>15</sup>ITER

<sup>16</sup>Zdroj: U.S. Department of Energy/Commons

# Vodík

## Jaderná fúze

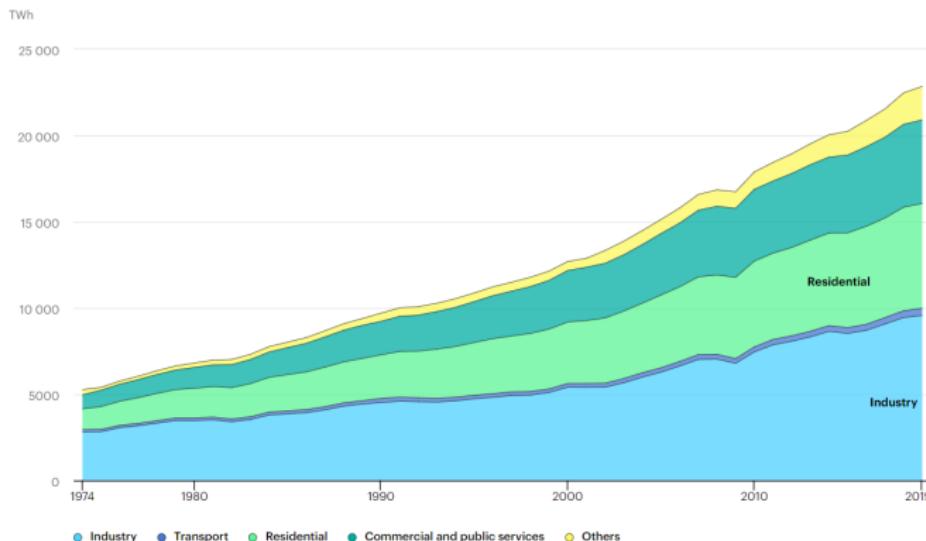


Pohled na staveniště ITERu v říjnu 2024.<sup>17</sup>

<sup>17</sup>Zdroj: ITER

# Vodíkové hospodářství

- ▶ Celosvětová spotřeba energie neustále narůstá.
- ▶ V roce 2019 dosáhla celková světová spotřeba elektřiny 22 848 TWh, což je o 1,7 % více než v roce 2018.



Celosvětová spotřeba elektrické energie.<sup>18</sup>

<sup>18</sup>Zdroj: IEA

# Vodíkové hospodářství

- ▶ V roce 2022 bylo v ČR vyrobeno téměř 79 TWh elektrické energie.<sup>19</sup>

Zdroj	Vyrobeno [GWh]	Zastoupení [%]
Jaderné	29 311	37,22
Parní	37 288	47,35
Paroplynové	2 499	3,17
Plynové a spalovací	3 683	4,68
Vodní	2 077	2,64
Přečerpávací	977	1,24
Větrné	633	0,80
Fotovoltaické	2 280	2,90
<b>Celkem</b>	<b>78 747</b>	<b>100,00</b>

- ▶ Výkon větrných a fotovoltaických elektráren je závislý na počasí a ročním období, proto je při navýšování jejich podílu v energetickém mixu nutné myslet i na ukládání přebytečné energie.

<sup>19</sup>Roční zpráva o provozu elektroenergetické soustavy ČR pro rok 2022

# Vodíkové hospodářství

- ▶ Snaha o snížení množství uhlíku v ekonomice.<sup>20</sup>
- ▶ Zásoby vodíku na Zemi jsou prakticky nevyčerpatelné.
- ▶ Vodík se následně přeměňuje na ekologicky nezávadnou(?) vodu.
- ▶ I když se už vodík v praxi využívá, je stále spousta problémů nevyřešená.

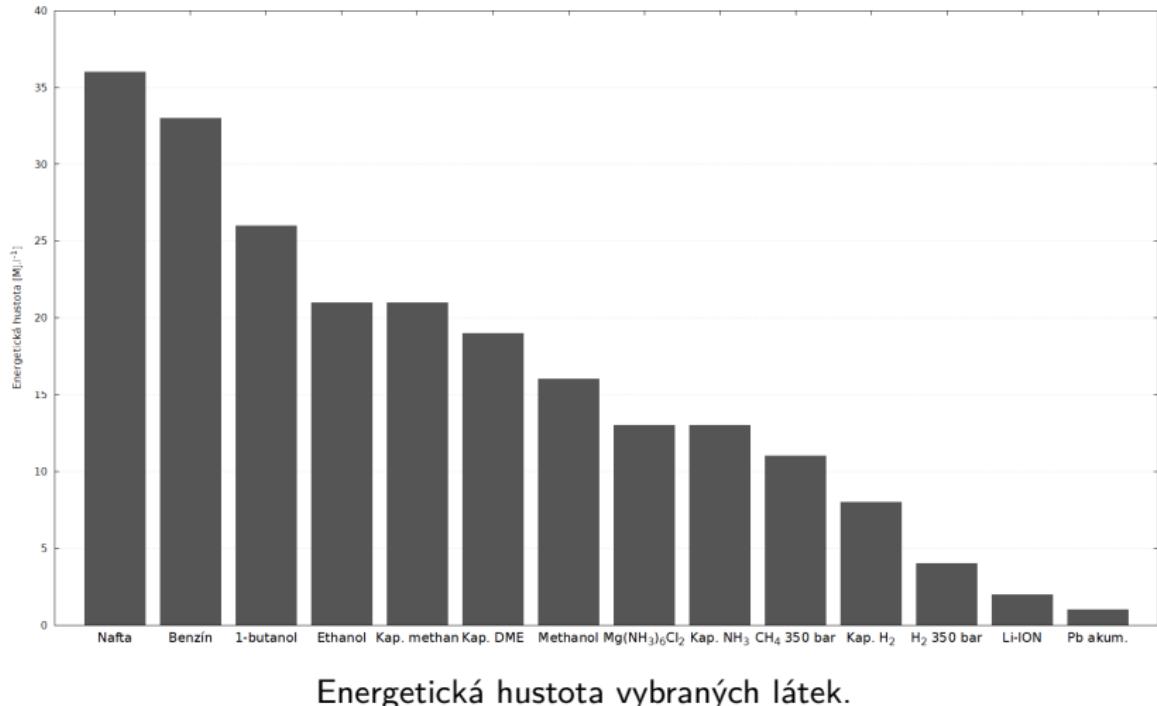


Vodíkové hospodářství.<sup>21</sup>

<sup>20</sup>Vodík - palivo pro udržitelnou energetiku

<sup>21</sup>Zdroj: Mion/Commons

# Vodíkové hospodářství



# Vodíkové hospodářství

## Barvy vodíku

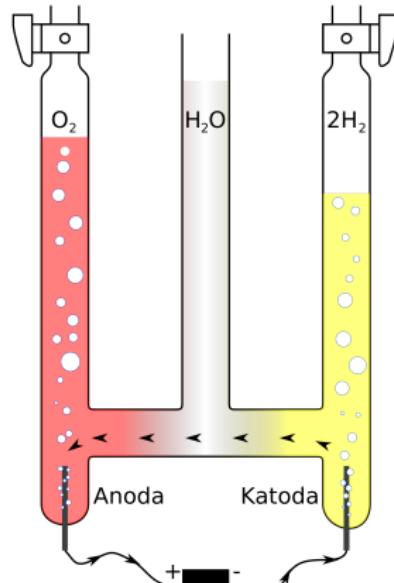
- ▶ Šedý vodík – nejběžnější a nejlevnější vodík, získává se rozkladem zemního plynu, zároveň vzniká velké množství CO<sub>2</sub>.
  - ▶ CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O → CO + 3 H<sub>2</sub>
  - ▶ CO + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>
- ▶ Modrý vodík – stejný jako šedý, ale CO<sub>2</sub> je zachycován a ukládán.
- ▶ Černý a hnědý vodík – vyrábí se zplyňováním uhlí nebo biomasy.
  - ▶ C + 2 H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>
- ▶ Zelený vodík – vyrábí se elektrolyticky, s využitím čisté energie, tzn. energie generované obnovitelnými zdroji – solárními panely, větrnými elektrárnami, atd.
- ▶ Žlutý vodík – zelený vodík, zdrojem energie je slunce.
- ▶ Růžový vodík – stejný jako zelený, ale energie pochází z jaderných elektráren.
- ▶ Bílý vodík – získává se z geologických ložisek vodíku.
- ▶ Tyrkysový vodík – získává se pyrolýzou methanu, při které nevznikají žádné uhlíkové emise.

# Vodíkové hospodářství

## Výroba vodíku

### Elektrolýza vody

- ▶  $2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
- ▶ Čistá voda obsahuje velmi málo iontů (vodivost  $0,055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).
- ▶  $2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$
- ▶  $K_w = 1,0 \times 10^{-14}$
- ▶ Aby mohla elektrolýza probíhat je nutné přidat vhodný elektrolyt.
- ▶ Minimální napětí je 1,23 V.
- ▶  $2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+, E^0 = +1,23 \text{ V}$
- ▶  $2 \text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2, E^0 = 0,00 \text{ V}$



Elektrolýza vody.<sup>22</sup>

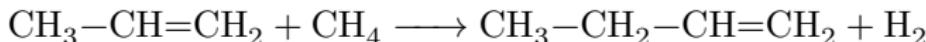
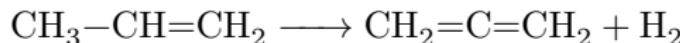
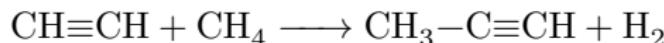
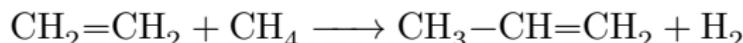
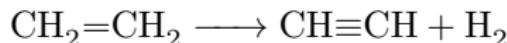
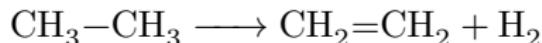
<sup>22</sup>Zdroj: HeNRyKus/Commons

# Vodíkové hospodářství

## Výroba vodíku

### *Pyrolyza methanu<sup>23</sup>*

- ▶ Jeden z možných mechanismů produkce vodíku bez emisí CO<sub>2</sub>.
- ▶ Z ekologického hlediska to není neoptimálnější metoda, protože je závislá na zemním plynu.
- ▶ Jako katalyzátory se využívají kovy (Ni, Co, Fe) nebo uhlík.



---

<sup>23</sup>Methane Pyrolysis for Zero-Emission Hydrogen Production: A Potential Bridge Technology from Fossil Fuels to a Renewable and Sustainable Hydrogen Economy

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

- ▶ Vodík lze skladovat v čistém stavu nebo jako vázaný ve sloučeniích.
- ▶ Plynný vodík je možné skladovat pod nízkým i vysokým tlakem (30–70 MPa).
  - ▶ Ke skladování lze využít zásobníky pro zemní plyn
  - ▶ Pro skladování velkých množství lze využít podzemní jeskyně nebo staré doly
- ▶ Kapalný vodík vyžaduje velmi nízké teploty, jeho teplota varu je  $-252,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (20,4 K).
- ▶ V chemickém stavu je možné vodík ukládat ve formě:
  - ▶ hydridů kovů (Pd, Pt, ...)
  - ▶ komplexních hydridů (např.  $\text{NaAlH}_4$ )
  - ▶ MOFů, příp. COFů
  - ▶  $\text{NH}_3 \cdot \text{BH}_3$

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

- ▶ Palladium dokáže absorbovat velká množství vodíku za tvorby nestechiometrického hydridu  $\text{PdH}_x$  ( $x < 1$ ).
- ▶ Tato schopnost byla poprvé popsána už v roce 1866, kdy Thomas Graham zjistil, že palladium dokáže absorbovat vodík o objemu odpovídající více než 900 násobku jeho vlastního objemu.<sup>24</sup>
- ▶ Tento proces je reverzibilní, proto je palladium využitelné pro skladování vodíku<sup>25</sup> v rámci vodíkového hospodářství.<sup>26</sup>
- ▶ Během absorpce vodíku dochází ke změnám fyzikálních vlastností kovu:
  - ▶ Na rozdíl od jiných kovů neztrácí palladium kujnost.
  - ▶ Vodivost klesá s rostoucí koncentrací vodíku, až do vzniku fáze  $\text{PdH}_{0.5}$ , kdy se hydrid stává polovodičem.
  - ▶ Susceptibilita se silně mění v závislosti na obsahu vodíku.

<sup>24</sup>On the relation of hydrogen to palladium

<sup>25</sup>Thermal Decomposition of the Non-Interstitial Hydrides for the Storage and Production of Hydrogen

<sup>26</sup>Vodík - palivo pro udržitelnou energetiku

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

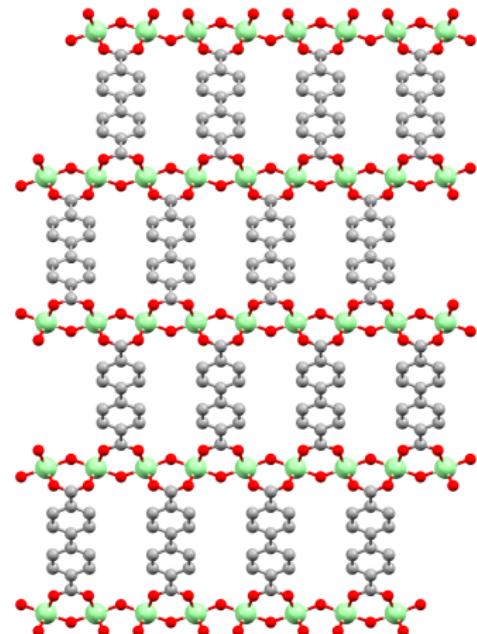
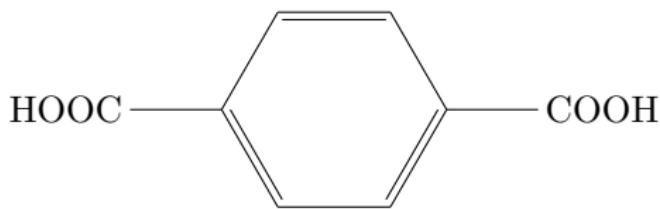
- ▶ Hydrid také vykazuje supravodivost, kritická teplota je 9 K pro stechiometrii PdH.
- ▶ U nestechiometrických fází byla také pozorována vysokoteplotní supravodivost (až 273 K)<sup>27</sup> za nízkého tlaku (na rozdíl od hydridů lanthanu).
- ▶ Schopnost absorpce vodíku ( $H_2$  i  $D_2$ ) je silně specifická, palladium nesorbuje ani helium, proto jej lze použít pro průmyslové čištění plynného vodíku.
- ▶ Pro tyto účely je nutné zabránit tvorbě  $\beta$ , která způsobuje tvrdnutí materiálu a tím silně omezuje difuzi.
- ▶ Obě fáze jsou kubické s plošně centrovánou mřížkou.
- ▶ Při vzniku fáze  $\alpha$  dochází jen k malým objemovým změnám, nárůst objemu při vzniku  $\beta$  fáze je až 10 %.

<sup>27</sup>Possibility of high temperature superconducting phases in PdH

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

- ▶ Jako další materiály pro skladování vodíku jsou perspektivní např. *grafen* a *MOFy*.
- ▶ MOF (Metal–Organic Framework) – anorganicko–organické hybridní materiály s porézní strukturou.
- ▶ Jsou tvořeny kovovými ionty propojenými organickými linkery, např. komplexy zinečnatých iontů s kyselinou tereftalovou.
- ▶ Jejich měrný povrch může být vyšší než  $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .<sup>28</sup>



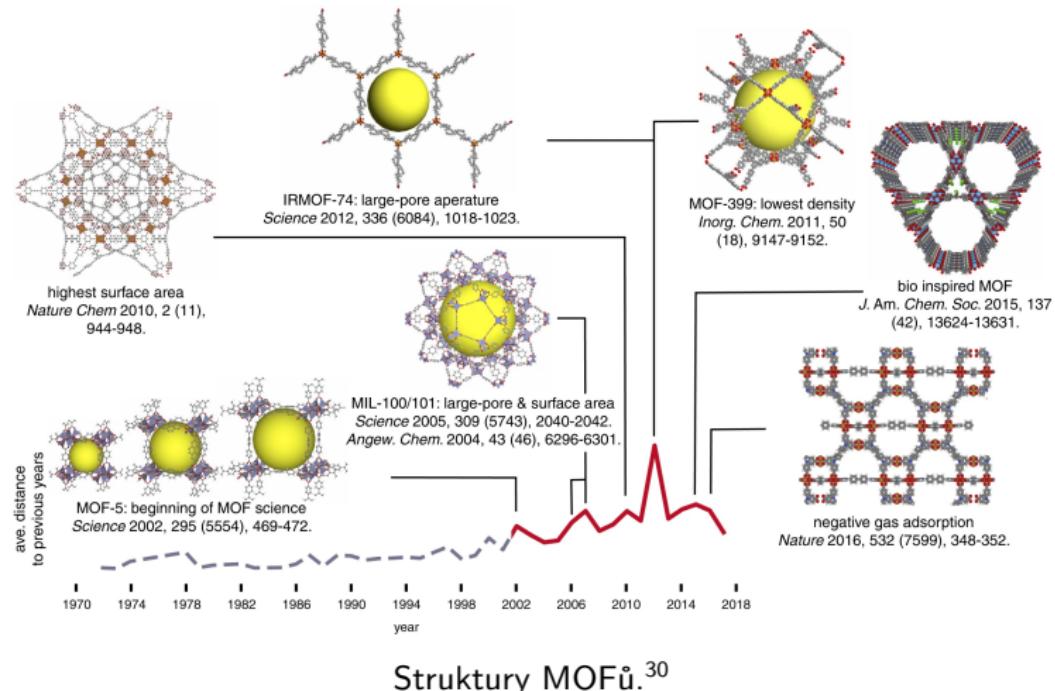
Krystalová struktura MOFu  
DUT-5.<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Hydrogen Storage in Metal–Organic Frameworks

<sup>29</sup> Zdroj: Canucksplayer/Commons

# Vodíkové hospodářství

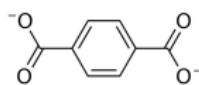
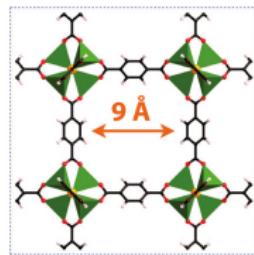
## Skladování vodíku



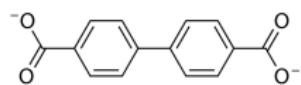
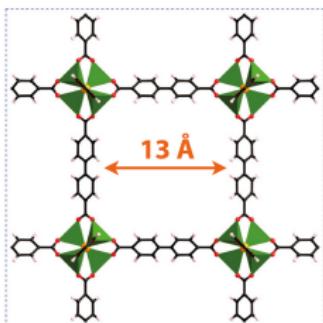
<sup>30</sup>Zdroj: Understanding the diversity of the metal-organic framework ecosystem

# Vodíkové hospodářství

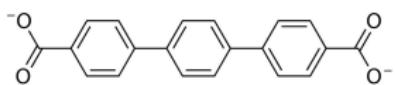
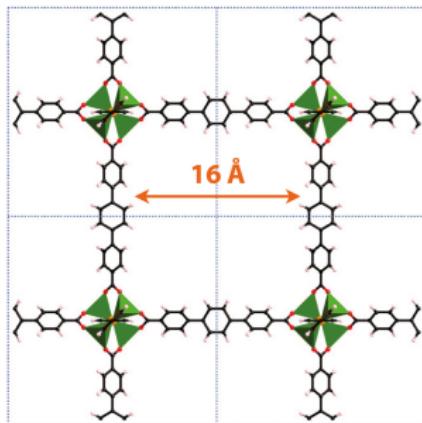
## Skladování vodíku



IRMOF-1



IRMOF-10



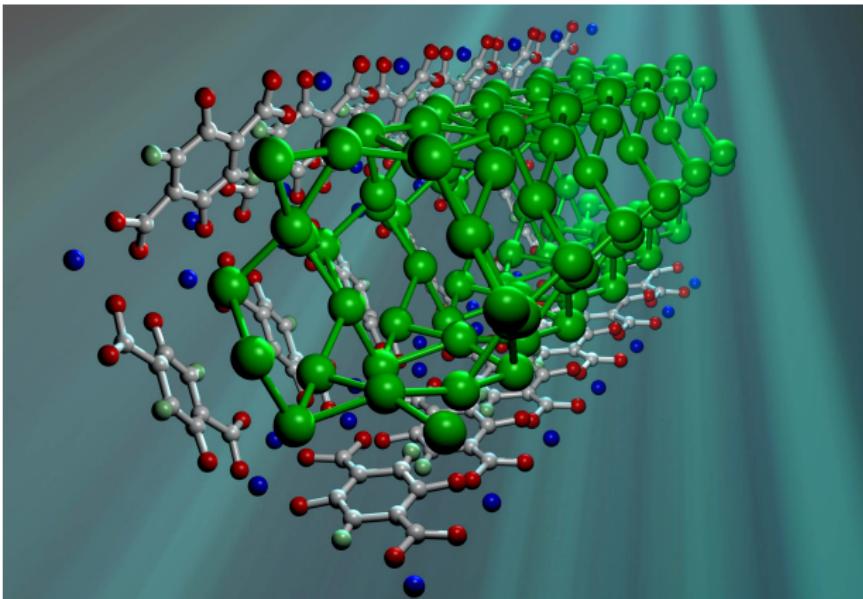
IRMOF-16

Struktury MOFu.<sup>31</sup>

<sup>31</sup>Zdroj: François-Xavier Coudert/Commons

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku



Struktura MOF-74<sup>32</sup>, dokáže absorbovat methan i vodík.<sup>33</sup>

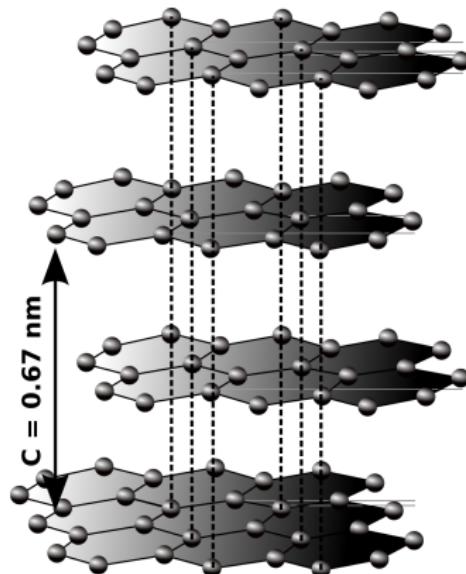
<sup>32</sup>MOF-74-type frameworks: tunable pore environment and functionality through metal and ligand modification

<sup>33</sup>Zdroj: NIST/Commons

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

- ▶ **Grafen** – monovrstva tvořená uhlíky v hybridizaci  $sp^2$ .
- ▶ Poprvé byl připraven v roce 2004 exfoliací grafitu pomocí lepící pásky.<sup>34</sup> V roce 2010 byla za tento objev udělena Nobelova cena za fyziku.<sup>35</sup>
- ▶ Grafen se vodíkem hydrogenuje na grafan.
- ▶ Následným zahřátím na 450 °C je možné vodík uvolnit.



Struktura grafitu.<sup>36</sup>

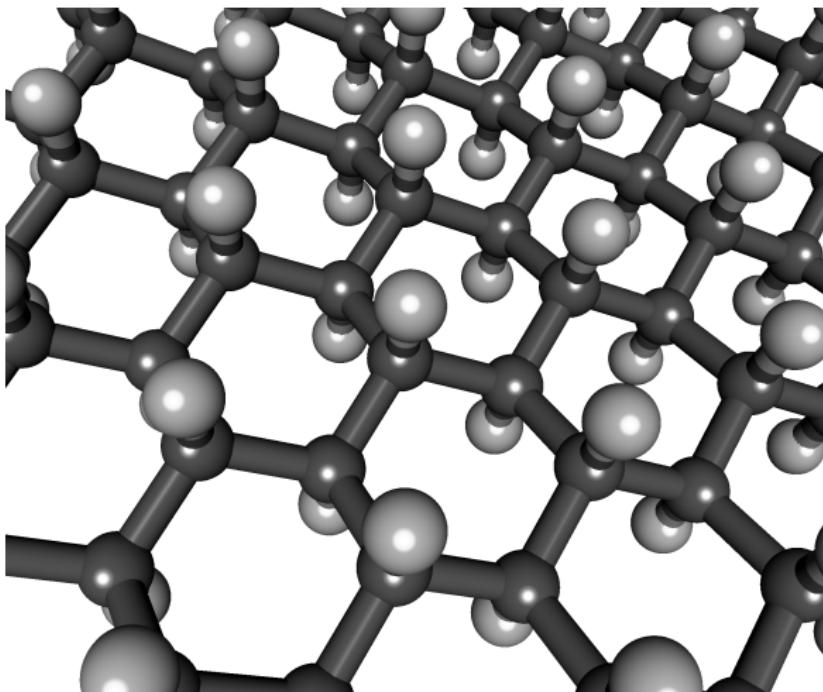
<sup>34</sup> Nobelovu cenu za fyziku dostali vědci za výzkum supertenkého uhlíku

<sup>35</sup> The Nobel Prize in Physics 2010

<sup>36</sup> Zdroj: Anton/Commons

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku



Struktura grafanu.<sup>37</sup>

<sup>37</sup>Zdroj: Edgar181/Commons

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

### Využití vodíku

- ▶ Spalování vodíku s kyslíkem je technicky obtížně proveditelné, proto se příliš nevyužívá.
- ▶ Častější je využití přeměny vodíku v elektrochemických palivových článcích.
- ▶ Známe mnoho různých typů článků, liší se jak provedením elektrod, tak i samotným mechanismem elektrochemické reakce.

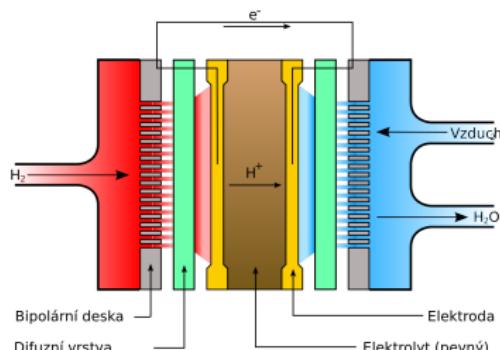


Schéma palivového článku.<sup>38</sup>

<sup>38</sup>Zdroj: Nécropotame/Commons

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

### Proton exchange membrane fuel cell

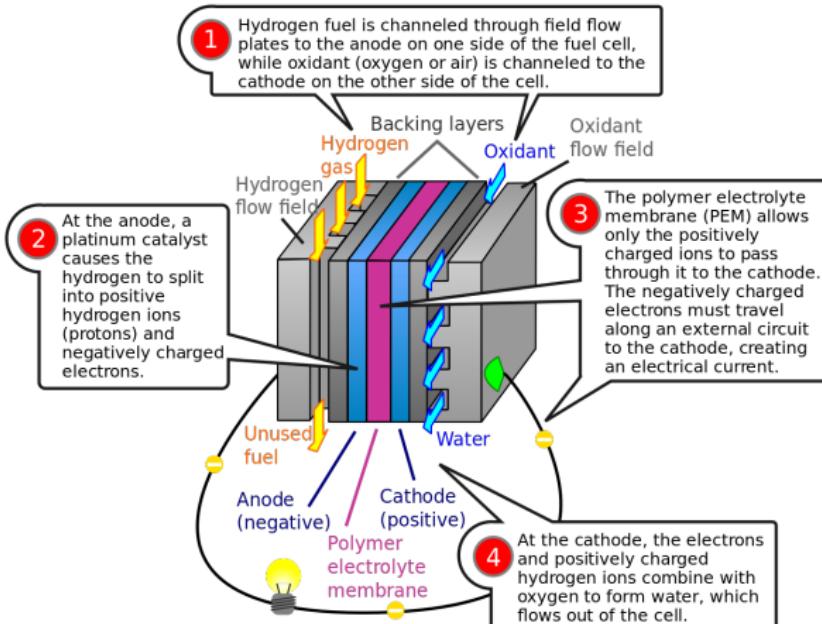


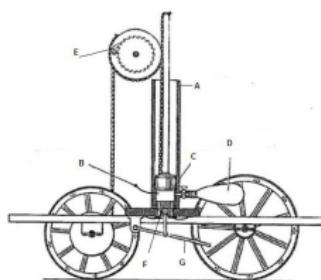
Schéma vodíkového článku.<sup>39</sup>

<sup>39</sup>Zdroj: Jafet/Commons

# Vodíkové hospodářství

## Skladování vodíku

- ▶ První vodíkový automobil byl v provozu již v roce 1806.<sup>40</sup>
- ▶ Současné vodíkové motory využívají jak spalování vodíku, tak i palivové články.
- ▶ V současnosti se intenzivně řeší přechod automobilové dopravy z fosilních paliv na elektřinu nebo vodík.



Vodíkový motor z roku 1806.<sup>41</sup>



Mazda RX-8 Hydrogen.<sup>42</sup>

<sup>40</sup> History of Hydrogen Cars

<sup>41</sup> Zdroj: Commons

<sup>42</sup> Zdroj: IFCAR/Commons

# Děkuji za pozornost

Zdeněk Moravec  
[is.muni.cz/www/moravec/](http://is.muni.cz/www/moravec/)  
hugo@chemi.muni.cz