



**25. ročník konference:  
„Technologie pro elektrárny a teplárny na tuhá paliva“**

**Výroba zeleného vodíku**

**VALBEK spol. s r.o., středisko Plzeň**  
Parková 1205/11, 326 00 Plzeň

**Ateliér Technologické celky** <https://www.valbek.cz/obory/technologicke-celky/>

**Přednášející:**

**Ing. Jiří Kovařík**  
m.t. +420 739 592 174  
e-mail: jiri.kovarik@valbek.cz

## 1. Úvod

Vodík je třetím nejrozšířenějším prvkem na Zemi, jeho největší množství je vázáno ve vodě. V čisté formě jej na Zemi za normálních podmínek nenajdeme. Směs čistého vodíku a kyslíku je totiž velmi výbušná. Vodík má velké energetický potenciál. Mohl by být využit jako nosič energie a nahradit fosilní zdroje, jejichž zásoby jsou omezené a při jejichž spalování vznikají škodlivé látky. Produktem spalování vodíku je mimo uvolněné energie voda. Mimo využití přímých spalování může být vodík využit v palivových článcích, produkujících elektrickou energii. Pokud by měl být vodík použit jako energetický nosič nebo palivo musíme být schopni jej produkovat v dostatečném množství.

## 2. Vodík

Vodík je nejjednodušší a nejlehčí známý prvek, je 14,38krát lehčí než vzduch a vede teplo 7krát lépe než vzduch. Je to jeden z hlavních biogenních prvků, společně s uhlíkem, dusíkem, kyslíkem, sírou a fosforem tvoří základní stavební jednotky života na Zemi, díky tomu se vodík vyskytuje ve velké míře v ropě a zemním plynu.

Vodík jako prvek je velmi reaktivní, a proto se jeho atomy navzájem spojují a vytvářejí molekuly o dvou atomech. Oproti atomovému vodíku je molekulový vodík poměrně stabilní a díky vysoké energii vazeb také málo reaktivní. [1]

### 2.1 Izotopy vodíku

Atom vodíku v jádře obsahuje pouze jeden proton a jeho elektronový obal tvoří jediný elektron. Přírodní vodík je směsí tří izotopů: lehkého vodíku neboli protia, těžkého vodíku - tzv. deuteria a tritia.

**Protium** nemá v jádře žádný neutron, je stabilní a zdaleka nejrozšířenější izotop vodíku. Tento izotop je nejjednodušší atom ve vesmíru.

**Deuterium**, pro které se běžně používá značka D, se v přírodě vyskytuje ve vodě ve formě D<sub>2</sub>O\*. V porovnání s lehkým vodíkem má vyšší bod tání i varu a jeden neutron navíc. Deuterium je stabilní izotop, který nepodléhá radioaktivní přeměně.

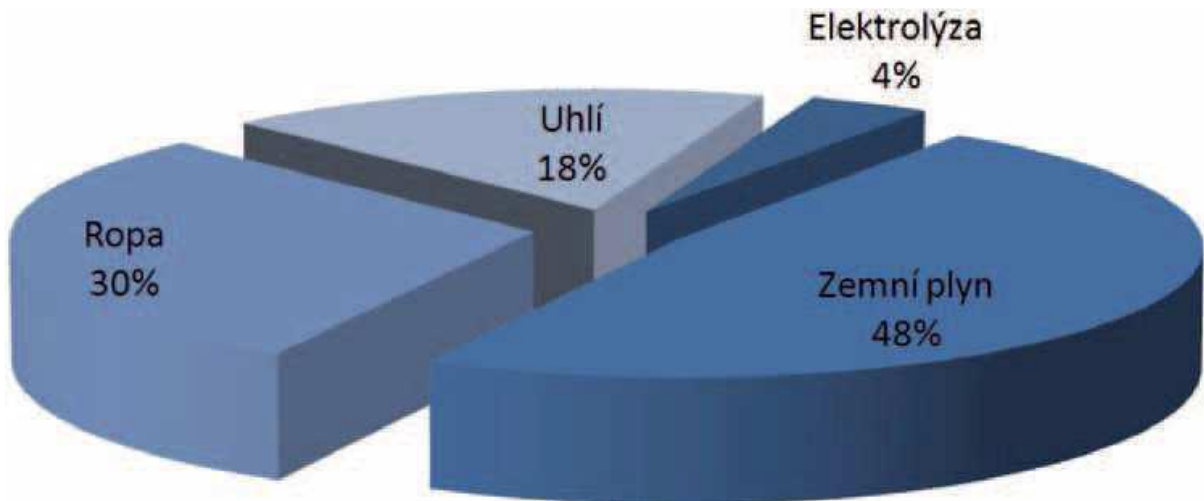
**Tritium** (značka T) se vyskytuje v horních vrstvách atmosféry, kde vzniká jadernou reakcí\*\*. Je to nestabilní izotop s poločasem rozpadu 12,32 let a dvěma neutrony v jádře. Při rozpadu vyzáří malé množství beta záření a je jedním ze základních meziproductů jaderné fúze, která probíhá ve hvězdách.[2]

\* D<sub>2</sub>O, tzv. těžká voda, se používá v jaderných reaktorech ke zpomalování rychlých neutronů, uplatňuje se jako tzv. moderátor.

\*\* Tritium je jednou složkou náplně termonukleární bomby. Pokusné jaderné výbuchy v atmosféře, které byly zahájeny v roce 1954, způsobily stonásobné zvýšení obsahu tritia v prostředí. Po zákazu těchto zkoušek se však jeho koncentrace, díky přirozenému rozpadu, vrátila na původní úroveň. [2]

### 3. Výroba vodíku

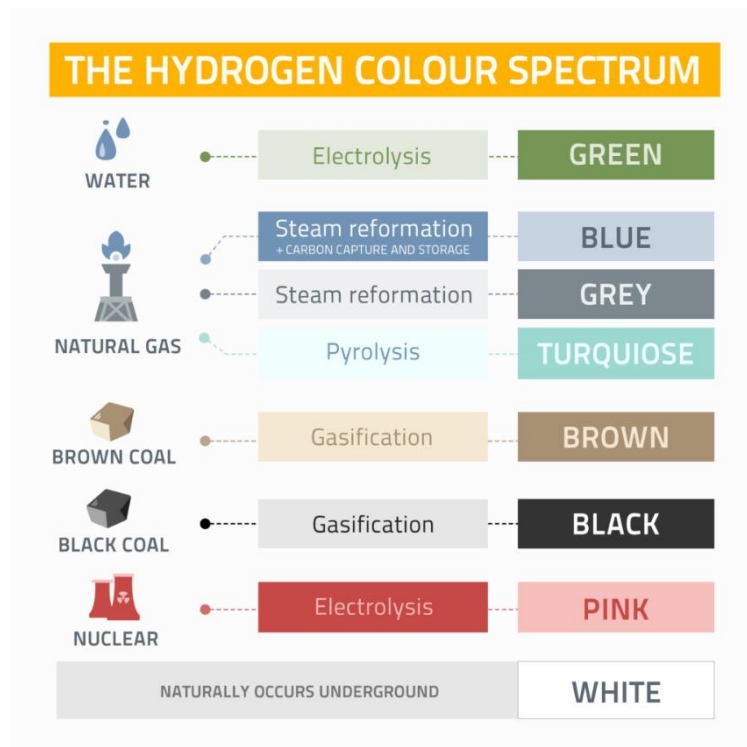
Celosvětová produkce činí přibližně 75 MtH<sub>2</sub>/rok jako čistý vodík a dalších 45 MtH<sub>2</sub>/rok jako součást směsi plynů. To odpovídá 3 % celosvětové konečné spotřeby energie a podobně jako roční spotřeba energie v Německu. [3]



Výroba vodíku lze rozdělit do několika skupin podle výrobních zdrojů. Největší skupinou je výroba z fosilních paliv, kam patří převážně parní reforming a parciální oxidace ropných frakcí. Nejhojněji je vodík na Zemi zastoupen ve formě vody, proto další skupinou bude výroba za pomoci obnovitelných zdrojů kam patří například elektrolýza. Třetí skupina zahrnuje způsoby výroby vodíku z BIO zdrojů, kde se řadí například pyrolýza biomasy, tmavá fermentace, atd.

### 3.1 Rozdělní výroby vodíku dle barvy

Obecně platí, že světlé a jasnější barvy jsou přiřazeny výrobním metodám, které mají nižší emise skleníkových plynů, zatímco tmavší barvy jsou přiřazeny metodám s vyššími emisemi.



Obrázek 1 - Hlavní vodíkové barvy [8]

#### 3.1.1 Zelený vodík

Zelený vodík – známý také jako obnovitelný vodík – se vyrábí z vody pomocí procesu zvaného elektrolýza.

#### 3.1.2 Modrý vodík

Modrý vodík se vyrábí procesem známým jako reformace páry, který používá páru k oddělení vodíku od zemní plyn.

#### 3.1.3 Hnědý a černý vodík

To je vodík extrahovaný z hnědé ( lignit ) nebo černé ( bituminózní ) uhlí. To se provádí zplyňováním, procesem, který využívá teplo k přeměně uhlí bohatého na uhlí na plyn.

#### 3.1.4 Tyrkysový vodík

Stále v experimentální fázi se jedná o vodík, který se vyrábí pyrolýzou. Jedná se o metodu, která vidí zemní plyn zahřátý na tak vysoké teploty, že se rozpadá na vodík a pevný uhlík.

### 3.1.5 Žlutý vodík

V podstatě jde pouze o konkrétnější formu zeleného vodíku, jedná se o vodík, který se vyrábí elektrolýzou poháněnou čistě sluneční energií, na rozdíl od jakékoli jiné formy obnovitelné energie.

### 3.1.6 Růžový vodík

Někdy se označuje jako fialový vodík, vyrábí se také metodou elektrolýzy –, ale v tomto případě je elektrolýzátor poháněn jadernou energií.

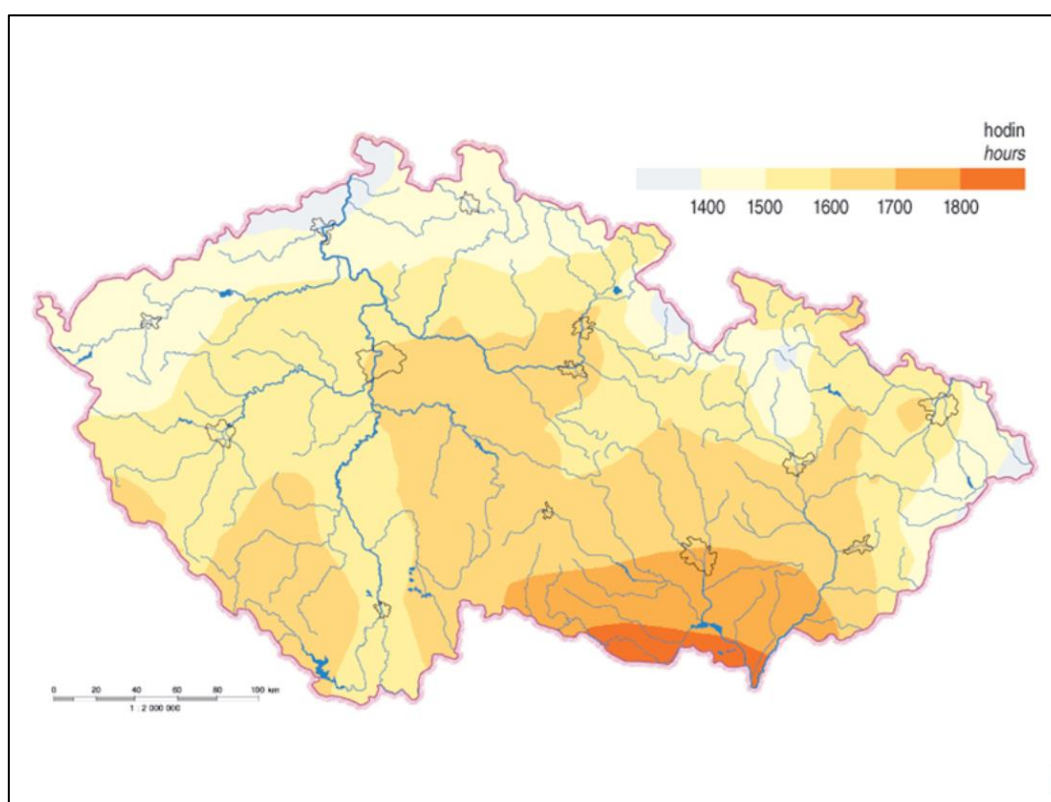
#### Bílý vodík

Bílý vodík je považován za přirozeně se vyskytující verzi vodíku ve své čisté formě, kterou lze nalézt pod zemí. V současné době však není možné jej extrahovat a o tomto typu vodíku je málo známo. [8]

## 4. Výroba zeleného vodíku

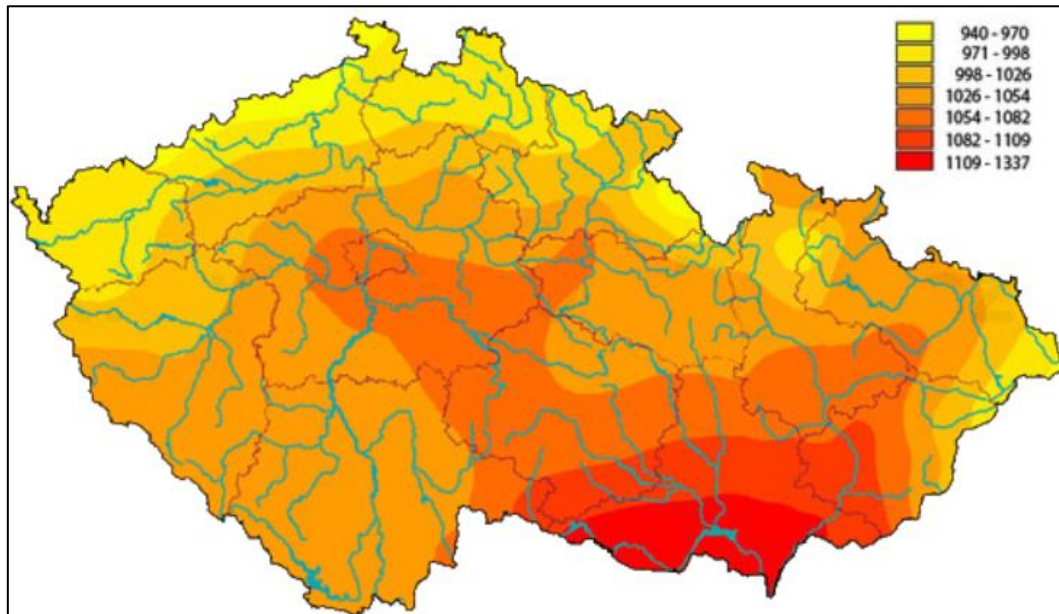
Zelený vodík se vyrábí za pomoci čistě obnovitelné energie a rozkladem vody. Za čistě obnovitelnou (zelenou) energii se považuje výroba elektrické energie z větrných turbín nebo z fotovoltaických elektráren.

Pro případ České republiky je vhodnější výroby elektrické energie z fotovoltaických článků, protože se dá z meteorologických dat přesněji určit množství vyprodukované energie.



Obrázek 2 - Mapa trvání slunečního svitu v ČR

Celkový roční úhrn dopadající sluneční energie ovlivňuje zejména zeměpisná poloha, orientace fotovoltaického systému vzhledem ke slunci, celková doba slunečního svitu, nadmořská výška a v neposlední řadě i čistota ovzduší. Podmínky pro využití sluneční energie jsou na území České republiky poměrně dobré. Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1 400 do 1 700 hodin za rok (viz obr. č.3).



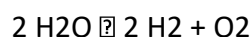
Obrázek 3 - Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [kWh/m<sup>2</sup>]

Vhodnost lokality pro využití sluneční energie však nejlépe vystihuje mapa globálního slunečního záření, která vychází z dlouhodobých meteorologických měření. V podmínkách České republiky dopadne na jeden m<sup>2</sup> zhruba 950 – 1340kWh sluneční energie z čehož největší část (asi 75%) v letním období.

Údaj o ročním úhrnu globálního slunečního záření je velmi důležitý pro výpočty budoucí energetické bilance fotovoltaického systému, a tedy i návratnosti investice. Známe-li, kolik slunečního záření ročně dopadne na 1m<sup>2</sup> fotovoltaického systému a konverzní účinnost fotovoltaického panelu, která je přibližně 20%, dostaneme z této plochy asi 190 - 268kWh elektrické energie za rok.

## 4.1 Elektrolýza

Vodní elektrolýza znamená dělení vody na vodík a kyslík. Vlivem průchodu stejnosměrného proudu vodným roztokem se štěpí chemická vazba mezi vodíkem a kyslíkem, na anodě se vylučuje O<sub>2</sub> a na katodě H<sub>2</sub>. [6]



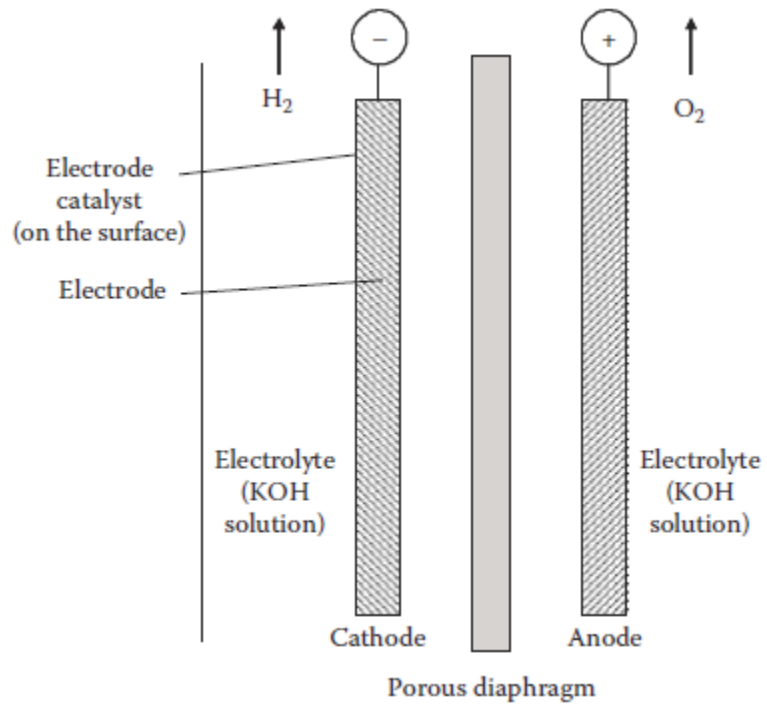
Vodík vznikající na katodě je jímán a následně skladován. Proces může probíhat za pokojových teplot a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. Touto metodou výroby vodíku se dosahuje velmi čistého vodíkového plynu, který už není třeba dále dočišťovat. [6]

Účinnost samotného procesu se pohybuje v rozmezí 80 - 92%, lze ji zvýšit přidáním elektrolytu, který zvýší vodivost vody. Účinnost elektrolytické výroby je ovlivněna zejména účinností výroby elektrické energie, která je pro současné zdroje 30 - 40%. Celková účinnost elektrolýzy se pak pohybuje v rozmezí 25 - 35%. [6]

Ve srovnání s ostatními metodami je elektrolýza velice energeticky náročná. Spotřeba energie na výrobu 1 m<sup>3</sup> vodíku je v dnešní době přibližně 5,2 kWh, což vzhledem k hustotě vodíku dělá 57 kWh na výrobu jednoho kilogramu tohoto plynu. [6]

Elektrolýza je jedna z ekologicky nejčistějších výrob vodíku.

Vzhledem k čistotě procesu, produkci velice čistého vodíkového plynu a jeho obnovitelnosti má elektrolýza vysoký potenciál do budoucna, kde jedinou nevýhodou je velmi vysoká spotřeba elektrické energie. [6]



Obrázek 4 - Schéma elektrolýzéry

## 4.2 Skladování vodíku

### 4.2.1 V plynném skupenství

Skladování se provádí do tlakových lahví z nízkouhlíkových nebo legovaných ocelí. Pro stacionární aplikace se používají tlakové lahve o provozních tlacích 200bar. Objemy takovýchto lahví se pohybují kolem 50l při požadovaných větších objemech se vytvářejí svazky lahví.

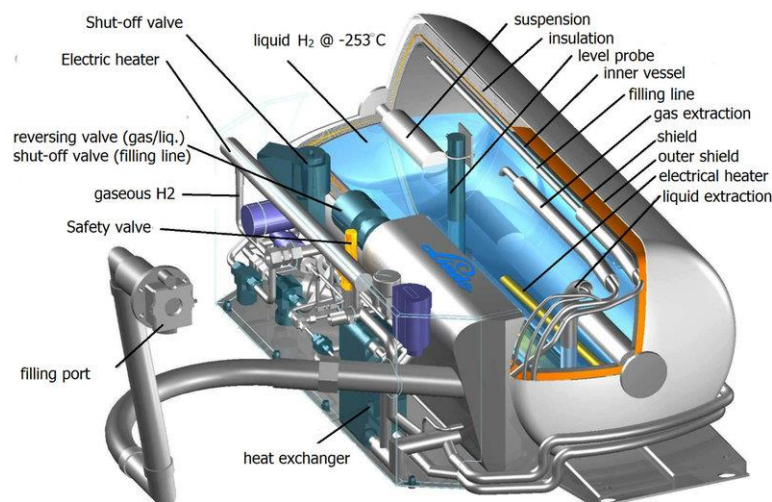
Pro automobilovou dopravu se využívají tlakové lahve vyrobené z kompozitu s objemem 10 až 300 litrů při skladovacím tlaku 350 až 700 barů.



Obrázek 5 - Skladovací a přepravní způsob vodíku v plynném stavu

### 4.3 V kapalném skupenství

Při skladování vodíku v kapalném stavu je zapotřebí dosáhnout kryogenních teplot. Vodík je skladován ve zkapalňovacích stanicích při teplotách  $-253\text{ °C}$ , proto je tento způsob skladování velice energeticky náročný. Dostupné zdroje uvádějí, že pro udržení vodíku v kapalném stavu se spotřebuje více než 30% energie obsažené v samotném kapalném vodíku. Výhodou tohoto skladování oproti v plynném stavu je možnost skladovat nebo přepravovat daleko větší množství vodíku pro další využití. Na obrázku níže je vidět jak je technologicky složité skladovat vodík v kapalném stavu.



Obrázek 6 - Jedna z možných technologií pro skladování kapalného v vodíku



## 5. Závěr

Výroba zeleného vodíku je nejnákladnější způsob, který je dnes znám.

Celková účinnost (FVE + elektrolyzér) se pohybuje mezi 12 až 14 %, záleží na použité konfiguraci. V současné době se světová produkce pohybuje v jednotkách procent, ale jedná se o výrobu z čistě obnovitelných zdrojů.

Do budoucna je to preferovaná alternativa pro dnešní paliva. Je zapotřebí dalšího vývoje v oblastech obnovitelných zdrojů energie a skladování, který je v současnosti velmi nákladný.

## 6. Použité zdroje

- [1] KOŠŤÁL, J. Významné osobnosti vědy a techniky [online]. Odborný časopis Elektro. Zveřejněno: červen 2011, [cit. 2023-08]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=43702](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=43702)
- [2] MAREČEK, A., HONZA, J., Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl. Nakladatelství Olomouc, 2005. 240 s. ISBN 80-7182-055-5, [cit. 2012-02-02].
- [3] Hydrogen. The International Renewable Energy Agency (IRENA). Zveřejněno: 2022, [cit. 2023-08]. Dostupné z: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>
- [4] Výroba vodíku parním reformováním. Petroleum.cz, [online], [cit. 2023-08]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-43.aspx>
- [5] Výroba vodíku parním reformováním. Petroleum.cz, [online], [cit. 2023-08]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-44.aspx>
- [6] DOUCEK, A., JANÍK, L., TENKRÁT, D., DLOUHÝ, P. Využití vodíku k regulaci obnovitelných zdrojů energie. Chemagazín, 2010
- [7] HADRAVA, Jan, Roman VOKATÝ, HLINČÍK a Daniel TENKRÁT. Porovnání kvality vodíku z různých technologií výroby. Paliva [online]. 2013, roč. 5, č. 3, 79 - 83 [cit. 2023-08]. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/download.php?id=95>
- [8] True colours: What do the different colours of hydrogen mean? [online]. [cit. 2023-08] Dostupné z: <https://whatswatt.com.au/true-colours-what-do-the-different-colours-of-hydrogen-mean/>