

## **Aplikačne možnosti environmentálnej výroby vodíka**

Ing. Volodymyr Tymofiiv

Technická univerzita v Košiciach

Letecká fakulta, Katedra Leteckého Inžinierstva

Rampová 1731/7, 040 21 Košice

[volodymyr.tymofiiv@tuke.sk](mailto:volodymyr.tymofiiv@tuke.sk)

Ing. Miroslav Knap

Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta

Katedra manažmentu leteckej prevádzky

Rampová 7, 040 21 Košice, Slovakia

[Miroslav.knap@tuke.sk](mailto:Miroslav.knap@tuke.sk)

Ing. Michal Vereš

Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta

Katedra manažmentu leteckej prevádzky

Rampová 7, 040 21 Košice, Slovakia

[michal.veres@tuke.sk](mailto:michal.veres@tuke.sk)

Ing. Juraj Kaštier

Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta

Katedra manažmentu leteckej prevádzky

Rampová 7, 040 21 Košice, Slovakia

[juraj.kastier@tuke.sk](mailto:juraj.kastier@tuke.sk)

Ing. Juraj Maciak

Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta

Katedra manažmentu leteckej prevádzky

Rampová 7, 040 21 Košice, Slovakia

[juraj.maciak@tuke.sk](mailto:juraj.maciak@tuke.sk)

Ing. Michal Maciak

Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta

Katedra manažmentu leteckej prevádzky

Rampová 7, 040 21 Košice, Slovakia

[michal.maciak@tuke.sk](mailto:michal.maciak@tuke.sk)

### **Abstrakt**

Tento článok poskytuje cenné informácie o súčasnom a budúcom stave trhu s výrobou vodíka a o nákladoch a emisiách spojených s rôznymi výrobnými metódami.

Očakávaný rast výroby vodíka s nízkymi emisiami a šetrnej k životnému prostrediu, ako aj rastúca úloha technológie elektrolýzy pri výrobe vodíka sú pre toto odvetvie povzbudivým vývojom. Pri riešení tejto výzvy bude rozhodujúca lepšia účinnosť a životnosť technológií výroby vodíka, ako aj zníženie investičných nákladov na zariadenia, prevádzku a údržbu.

Emisie spojené s výrobou vodíka sa značne líšia v závislosti od spôsobu výroby a od toho, či sa vodík vyrába na mieste alebo mimo neho. Využívanie technológie CCUS a obnoviteľnej alebo jadrovej energie môže výrazne znížiť intenzitu emisií CO<sub>2</sub> pri výrobe vodíka, ale pri emisiách zohrávajú úlohu aj spôsoby dopravy. Celkovo je trh s výrobou vodíka v najbližších rokoch pripravený na výrazný rast a rozvoj, ale existuje jasná potreba pokračujúceho výskumu a inovácií, aby sa zabezpečila výroba vodíka s nižšími nákladmi a nižšími emisiami.

Využitie vodíka je veľmi perspektívne v oblasti dopravy, konkrétne v ťažkých vozidlách, autobusoch, vlakoch a mnohých lietajúcich transportných prostriedkoch, ako sú dopravné lietadlá alebo vírniky.

### **Kľúčové slová**

vodík, emisie CO<sub>2</sub>, electrolysis

### **Informácia**

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-20-0546.

## **1. Úvod**

Parížska dohoda je jednou z najdôležitejších zmlúv na riešenie globálnej zmeny klímy. Táto dohoda, prijatá v roku 2015 v rámci Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy a podpísaná v roku 2016, je medzinárodným úsilím o boj proti rastúcim hrozbám, ktoré predstavuje globálne otepľovanie. Hlavnými cieľmi dohody je znížiť emisie skleníkových plynov a podporiť udržateľný rozvoj. Na dosiahnutie týchto cieľov sa v Parížskej dohode uvádza súbor opatrení, ktoré musia prijať jednotlivé štáty, medzinárodné organizácie a environmentálne mimovládne organizácie. V rámci Parížskej dohody vznikli ďalšie nariadenia a opatrenia, ako napríklad Green Deal, Fit for 55, AFIR a ďalšie [1].

Cieľom týchto všetkých nariadení je riešiť hrozbu zmeny klímy posilnením globálnej reakcie na udržateľný rozvoj a znižovanie chudoby. Zameriava sa na obmedzenie nárastu globálnych teplôt výrazne pod 2 °C v porovnaní s predindustriálnou úrovňou, pričom konečným cieľom je obmedziť nárast na 1,5 °C. Dosiahnutím tohto cieľa sa výrazne znížia riziká a dôsledky zmeny klímy.

Dosiahnutie cieľov si bude vyžadovať významný technologický pokrok, najmä v oblasti udržateľných zdrojov energie, elektrických batérií, zachytávania a ukladania oxidu uhličitého (CCUS) a vodíkovej energie. CCUS sa považuje za prechodnú technológiu, pretože si bude vyžadovať vytvorenie rozsiahlej infraštruktúry. Na druhej strane elektrické batérie a vodík sa považujú za základné prvky budúcnosti s nízkymi emisiami, najmä v Európe a iných krajinách, ktoré sa zaviazali znížiť emisie CO<sub>2</sub>. Odhaduje sa, že vodík má potenciál znížiť až 51 % globálnych emisií oxidu uhličitého [2].

Vodík je bezuhlíkové palivo, ktoré by mohlo zohrávať kľúčovú úlohu pri rozvoji obnoviteľných zdrojov energie. V porovnaní s inými technológiami má niekoľko výhod [3]:

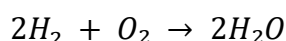
1. Môže pomôcť riešiť nerovnomernú produkciu obnoviteľných zdrojov energie tým, že poskytne zaručený zdroj energie počas období nízkej produkcie. Prebytočná elektrická energia sa môže použiť na výrobu vodíka pomocou technológie elektrolýzy.
2. Môže zabezpečiť spoľahlivosť diaľkovej dopravy, čo je dôležité najmä pre leteckú a námornú dopravu.
3. Široké využívanie vodíka môže vyriešiť problémy s prepravou energie. Namiesto budovania dlhých elektrických sietí možno energiu z obnoviteľných zdrojov nasmerovať na výrobu vodíka, ktorý sa potom môže prepravovať do iných štátov pomocou súčasnej infraštruktúry na prepravu zemného plynu.
4. Môže slúžiť ako prostriedok na dekarbonizáciu priemyselných odvetví, ktoré nemožno elektrifikovať.

Celkovo možno povedať, že Parížska dohoda a vývoj nových technológií, ako je vodík, sú kľúčovými krokmi k udržateľnej budúcnosti a boju proti globálnej zmene klímy.

## 2. Základné teoretické východiská

Vodík je bezfarebná, horľavá látka bez zápachu a vône, ktorá je najmenej komplexným jedincom zo skupiny syntetických zložiek. Vo veľkom množstve sa nachádza vo vode, vo vzduchu a vo veľkých množstvách zmesí. Zlúčeniny vodíka s uhlíkom sa vo veľkom množstve nachádzajú vo fosílnych palivách, ako je ropa a zemný plyn.

Molekuly vodíka  $H_2$  sú veľmi malé, takže môžu prechádzať cez veľmi tenké, neviditeľné póry v telesách. Vodík má najnižšiu hustotu zo všetkých chemických prvkov. Jeden liter vodíka  $H_2$  za normálnych podmienok váži 0,09 g, (hustota 0,09 kg.m<sup>-3</sup>). Je veľmi horľavý. Spolu s kyslíkom tvorí výbušnú zmes. Zároveň on ma vysokú výhrevnosť - 120 MJ/kg, ktorá je najmenej dvakrát vyššia ako výhrevnosť zemného plynu (~ 50-55 MJ/kg). Keďže atómy uhlíka sa nezúčastňujú na procese spaľovania, vodík je bezuhlíkový nosič energie. Pozostáva z dvoch atómov vodíka a pri reakcii s kyslíkom netvorí oxid uhličitý [4].



$$\Delta H = -286 \text{ kJ/mol (exotermická reakcia)}$$

Má mnoho potenciálnych aplikácií v rôznych oblastiach hospodárstva. Môže pomôcť dekarbonizovať výrobu energie spotrebúvanej v doprave, bývaní (najmä na vykurovanie) a priemyselných procesoch.

Nie všetky priemyselné procesy možno elektrifikovať a na úplnú dekarbonizáciu priemyselnej výroby je potrebný uhlíkovo neutrálny nosič energie. Vodík je jednou z mála látok, ktoré možno na tento účel použiť. Vodík a jeho deriváty sa používajú v mnohých priemyselných odvetviach, najmä v chemickom a rafinérskom priemysle. V súčasnosti je priemysel najväčším spotrebiteľom vodíka. Vo všetkých takýchto prípadoch môže vodík nahradiť procesy založené na uhlíku.

Vodík sa v súčasnosti používa v kombinácii s kyslíkom pri rezaní kovov, pričom teplota vodíkovo-vodíkoveho plameňa dosahuje približne 3 000 °C. Používa sa aj ako palivo pre rakety raketoplánov. V chemickom priemysle sa používa na výrobu dôležitých chemikálií, ako je HCl, NH<sub>3</sub> (amoniak) alebo pri tuhnutí rastlinných olejov [5].

### 2.1 Rozdiely v klasifikácii vodíka podľa spôsobu výroby

Vodík sa môže vyrábať z rôznych zdrojov a niekoľkými rôznymi metódami. Hlavné zdroje na jeho výrobu sa delia na dve skupiny: výroba z fosílnych palív (zemný plyn, uhlie, ťažký benzín a iné uhľovodíky) a výroba z

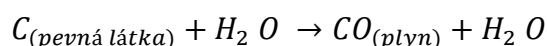
obnoviteľných zdrojov energie. Fosílna palivá sa môžu premieňať na produkty prostredníctvom rôznych technologických procesov, ktoré sa zvyčajne klasifikujú ako termochemická, biochemická a fotochemická premena. Spomedzi týchto procesov je najrozšírenejší parný reforming metánu, ktorý sa v súčasnosti používa na väčšinu svetovej výroby vodíka [6].

Vodík možno klasifikovať podľa jeho zdroja a spôsobu výroby, pričom zatiaľ hlavným klasifikačným systémom pre vodík je farebná klasifikácia (obrázok 1).

- **Hnedá a čierna farba: splyňovanie uhlia**

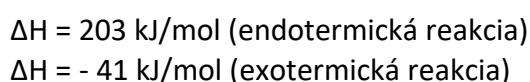
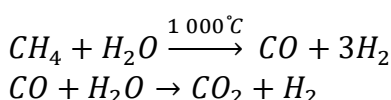
Najstaršou metódou výroby vodíka je premena uhlia na plyn. Splyňovaním sa z organických zlúčenín uhlíka pochádzajúcich z fosílnych palív premieňa oxid uhoľnatý, vodík a oxid uhličitý. Splyňovanie prebieha pri veľmi vysokých teplotách (nad 700 °C), s kontrolovaným množstvom kyslíka alebo pary a bez spaľovania. Oxid uhoľnatý sa reakciou s vodou mení na oxid uhličitý a vodík [7].

Splyňovanie uhlia je reakcia uhlíka s vodnou parou alebo kyslíkom, prípadne s oboma. Princíp splyňovania uhlia: Je založený na endotermickej reakcii



- **Šedá farba: parný reforming**

Vodík je viazaný na uhlík a možno ho od neho oddeliť vodným procesom známym ako parný reforming. Pri tomto procese však vzniká CO<sub>2</sub> z prebytočného uhlíka syntetizovaného počas procesu propylácie. Šedý vodík v súčasnosti tvorí väčšinu výroby, pričom na kilogram vyrobeného vodíka pripadá 9,3 kg CO<sub>2</sub>. Keď sa vodík nazýva "sivý vodík", znamená to, že bol vytvorený z fosílnych palív bez zachytávania skleníkových plynov [8]. Proces parného reformingu zemného plynu je založený na reakcii metánu s vodnou parou:



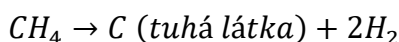
- **Modrá farba: parný reforming s použitím CCUS / CCS.**

Modrý vodík sa vyrába rovnakými metódami ako vodíkový rad, a to parným reformingom. Vzniká tak vodík a oxid uhličitý, ktorý sa zhodnocuje v priemyselných systémoch zachytávania, využívania a ukladania uhlíka (CCUS). Cieľom technológie CCUS je dosiahnuť, aby výroba modrého vodíka bola klimaticky neutrálna, a to prečerpávaním zachyteného CO<sub>2</sub> do podzemných priestorov, ako sú plynové a ropné polia, alebo nájst priemyselné využitie zachyteného plynu. Keďže však táto technológia v skutočnosti nezabraňuje vzniku skleníkových plynov a účinnosť zachytávania CO<sub>2</sub> je 95 %, modrý vodík sa najlepšie opisuje ako "vodík s nízkym obsahom CO<sub>2</sub>" [9].

- **Tyrkysová farba: pyrolýza metánu**

Metóda získavania vodíka zo zemného plynu je v súčasnosti v experimentálnej fáze. Zemný plyn sa môže rozkladať pri vysokých teplotách na vodík a pevný uhlík procesom nazývaným pyrolýza metánu. Takýto vodík sa nazýva "tyrkysový vodík" a má nízky obsah uhlíka. Tyrkysový vodík má nízku uhlíkovú stopu, pretože uhlík sa môže pochovať alebo použiť v priemyselných procesoch, ako je výroba ocele alebo batérií, aby sa zabránilo jeho uvoľňovaniu do atmosféry [10].

Pyrolýza metánu (alebo krakovanie metánu) je chemický proces, pri ktorom sa metán alebo všeobecne uhľovodíky štiepia na ich základné zložky: vodík a pevný uhlík. Reakcia je endotermická.

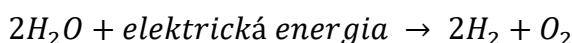


$$\Delta H = 74,52 \text{ kJ/mol (endotermická reakcia)}$$

- **Zelená farba: elektrolýza sa vyrába pomocou elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie**

Zelený vodík sa vyrába elektrolýzou z obnoviteľných zdrojov energie. Elektrolyzéry štiepia vodu na vodík a kyslík elektrochemickou reakciou, pri ktorej nevzniká oxid uhličitý. Hoci uhľovodíky sú v súčasnosti hlavnou surovinou na výrobu vodíka, očakáva sa, že nízkoemisný vodík bude rásť a v dlhodobom horizonte prevládne nad konvenčnými technológiami [11].

Elektrolýza vody je fyzikálno-chemický proces, pri ktorom sa destilovaná voda pôsobením jednosmerného prúdu rozkladá na kyslík a vodík. V dôsledku rozdelenia molekúl vody na časti vzniká vodík a kyslík v pomere 2 : 1.



- **Ružová farba: Elektrolýza sa zabezpečuje elektrickou energiou z jadrovej elektrárne**

Ružová farba sa často používa pre vodík vyrobený elektrolýzou s využitím jadrovej energie. Jadrová energia je veľmi univerzálnym zdrojom nízkouhlíkovej elektrickej energie, ktorú možno použiť na výrobu čistého vodíka.

Keďže jadrové elektrárne nepretržite dodávajú do siete konštantné množstvo elektriny, výroba vodíka môže byť osobitne výhodná v obdobiach minimálneho zaťaženia siete, keď sa vyrába veľké množstvo prebytočnej elektriny.

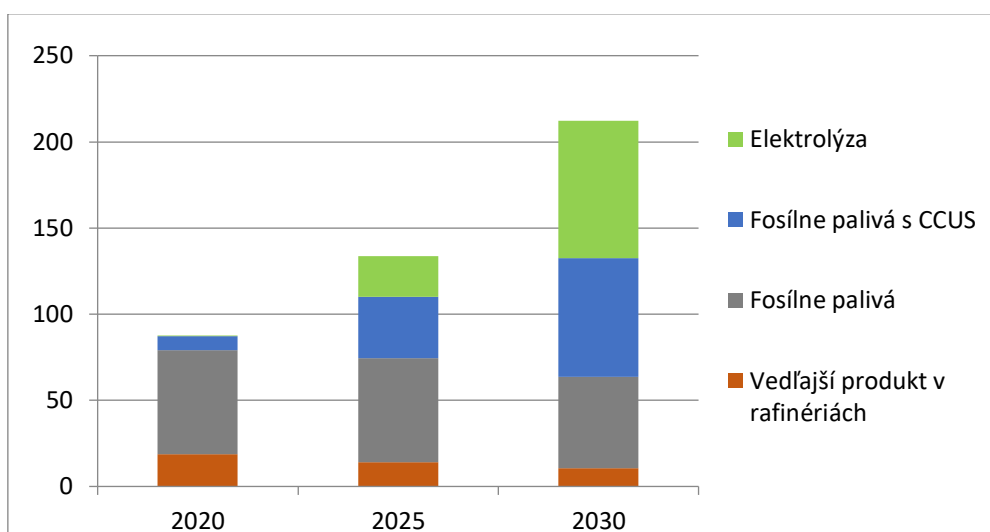
| FARBA              | TECHNOLÓGIA            | SUROVINA                          | UHLÍKOVÁ STOPA |
|--------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Zelený vodík       | Elektrolýza            | Elektrina z obnoviteľných zdrojov | Minimálna      |
| Ružový vodík       |                        | Elektrina z jadrových elektrární  | Nízka          |
| Hnedý/čierny vodík | Splyňovanie            | Uhlie                             | Vysoká         |
| Šedý vodík         | Parný reforming        | Zemný plyn                        | Stredná        |
| Modrý vodík        | Parný reforming + CCUS |                                   | Nízka          |
| Tyrkysový vodík    | Pyrolýza               |                                   |                |

Obrázok 1. Klasifikácia vodíka

### 3. Porovnanie metód výroby vodíka

#### Dopyt

Dopyt po vodíku v roku 2020 predstavoval ~ 90 Mt. Z tohto celkového vyrobeného vodíka sa 70 Mt vyrobilo z fosílnych palív a 19 Mt ako vedľajší produkt v rafinériách a 0,5 Mt vodíka sa vyrobilo pomocou elektrolyzérov. V budúcnosti sa predpokladá zníženie podielu „sivého“ vodíka z fosílnych palív, zvýšenie podielu nízkoemisného „modrého“ vodíka a obrovský nárast „zeleného“ vodíka. V roku 2030 by výroba vodíka pomocou elektrolyzy mala dosiahnuť 75 – 80 Mt (Obrázok 2) a stať sa vedúcou technológiou na trhu výroby vodíka. Vo všeobecnosti by trh na výrobu vodíka v roku 2030 mal predstavovať približne 210 Mt ročne. [12]

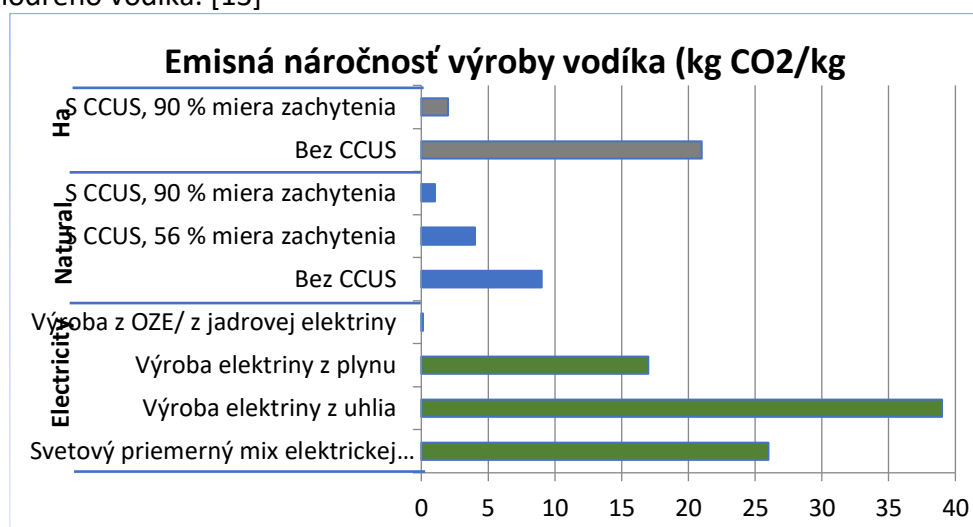


Obrázok 2. Celosvetový dopyt po vodíku podľa výrobných technológií v scenári nulovej spotreby, 2020-2030

Zdroj: IEA, Hydrogen. Tracking report

## Emisie

Emisie skleníkových plynov pochádzajúce z výroby vodíka sa líšia v závislosti od technológií (Obrázok 3). Vodík vyrobený z fosílnych palív nemusí nevyhnutne zaznamenávať najvyššiu intenzitu CO<sub>2</sub>. Použitie elektriny zo zemného plynu alebo uhlia na elektrolýzu by skôr mohlo viesť k vyššej intenzite CO<sub>2</sub> ako v prípade šedého alebo modrého vodíka v dôsledku strát pri konverzii počas výroby elektriny. V prípade šedého vodíka je uhlíková intenzita vodíka zo zemného plynu menšia ako polovica intenzity uhlia. Ak sa použije CCUS, vodík vyrobený zo zemného plynu s CCUS predstavuje najmenšiu intenzitu CO<sub>2</sub> vedľa vodíka vyrobeného z obnoviteľnej alebo jadrovej elektriny a čím vyššia je miera zachytávania CCUS, tým nižšia bude intenzita CO<sub>2</sub> modrého vodíka. [13]



Obrázok 3. Intenzita výroby vodíka z hľadiska emisií CO<sub>2</sub> (Zdroj: IEA)

Nielen to, ako sa vodík vyrába, ale aj to, či sa vodík vyrába na mieste alebo mimo neho, vedie k rozdielnej intenzite emisií CO<sub>2</sub>, pretože CO<sub>2</sub> sa uvoľňuje počas dodávky, skladovania a plnenia vodíka. Keď sa použije rovnaká výrobná technológia, proces výroby vodíka mimo závodu zvyšuje intenzitu CO<sub>2</sub> ako prípady na



mieste. Rôzne spôsoby dopravy vodíka majú tiež za následok rôznu intenzitu emisií CO<sub>2</sub>. Preprava stlačeného vodíka je v porovnaní s prepravou skvapalneného vodíka menej náročná na uhlík [14].

Doprava, predovšetkým ťažké vozidlá, autobusy, vlaky a mnohé spôsoby lietania, ako sú dopravné lietadlá, helikoptéry a vírniky, patria medzi najsľubnejšie využitie vodíka. [15].

#### 4. Zaver

Technológie výroby vodíka sú v rôznych štádiách vývoja. Niektoré technológie, ako napríklad reforma parného metánu, sú už komerčné a dajú sa v blízkej budúcnosti využiť. Iné, ako napríklad solárne termochemické štiepenie vody, fotoelektrochemické a biologické, sú v počiatočných štádiách laboratórneho vývoja a z dlhodobého hľadiska sa považujú za potenciálne cesty.

Dva hlavné trhy pre spotrebu vodíka sú dnes výroba amoniaku a metanolu, ale v budúcnosti sa vodík bude využívať na rôzne účely a v rôznych sektoroch. Očakáva sa aj zvýšenie dopytu po vodíku v priemysle spracovania ropy. Teraz 95 % vyrobeného vodíka využívajú spotrebitelia pre svoju vlastnú potrebu a nie na predaj a iba 5 % z nich bol komerčný vodík predávaný na trhu. V budúcnosti však toto číslo pravdepodobne porastie.

Možno zhrnúť, že budúcnosť výroby vodíka vyzerá sľubne, pričom sa očakáva, že elektrolyza sa do roku 2030 stane vedúcou technológiou na trhu. Zatiaľ zostáva najlacnejšou možnosťou sivý vodík, ale očakáva sa, že rastúca dostupnosť modrého a zeleného vodíka v dlhodobom horizonte zníži náklady. Okrem toho bude pre dosiahnutie udržateľného vodíkoveho hospodárstva rozhodujúce úsilie o zníženie emisií z výroby vodíka. Táto zmena dopytu bude stimulovať inovácie a investície do obnoviteľných zdrojov energie a technológií výroby vodíka s nízkymi emisiami.

#### Zoznam bibliografických odkazov

- [1] United Nations, Framework Convention on Climate Change, Paris, November 2015  
<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/I09r01.pdf>
- [2] Rystad Energy Transition Report, **Hydrogen Society**, February 2021  
<http://petrodin.com/data/documents/2021-RYSTAD-Energy-Transition-Report.pdf>
- [3] Jeffrey Rissman, Chris Bataille, Eric Masanet, Nate Aden, William R. Morrow, **Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070**, Applied Energy, 2020  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848>
- [4] K. Scott, **Chapter 1: Introduction to Electrolysis, Electrolysers and Hydrogen Production**, RSC Energy Environ. Ser., vol. 2020-Janua, no. 25, pp. 1–27, 2020,
- [5] Danish Energy Agency and Energinet, **Technology Data – Renewable fuels**, 2017  
<http://www.ens.dk/teknologikatalog>
- [6] Alka Pareek, Rekha Dom, Jyoti Gupta, Jyothi Chandran, Vivek Adepu, Pramod H. Borse, **Insights into renewable hydrogen energy: Recent advances and prospects**, Materials Science for Energy Technologies, 2020, ISSN 2589-2991,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258929912030001X>
- [7] Natalia Howaniec, Adam Smoliński, **Effect of fuel blend composition on the efficiency of hydrogen-rich gas production in co-gasification of coal and biomass**, 2014, Pages 442-450, ISSN 0016-2361,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236114002774>



- [8] Chunfeng Song, Qingling Liu, Na Ji, Yasuki Kansha, Atsushi Tsutsumi, **Optimization of steam methane reforming coupled with pressure swing adsorption hydrogen production process by heat integration**, Applied Energy, 2015, ISSN 0306-2619, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915006480>
- [9] Salman Masoudi Soltani, Abhishek Lahiri, Husain Bahzad, Peter Clough, Mikhail Gorbounov, Yongliang Yan, **Sorption-enhanced Steam Methane Reforming for Combined CO<sub>2</sub> Capture and Hydrogen Production: A State-of-the-Art Review**, Carbon Capture Science & Technology, 2021, ISSN 2772-6568, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656821000038>
- [10] Schneider, Siegfried Bajohr, Frank Graf, Thomas Kolb, **State of the Art of Hydrogen Production Pyrolysis of Natural Gas Stefan**, Received: July 13, 2020; accepted: July 15, 2020
- [11] A.L. Yuvaraj, S. Daniel, **A systematic study on electrolytic production of hydrogen gas by using graphite as electrode**, Mater. Res., 17 (2014), <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000153>
- [12] Yoshiaki Shibata, Tomoko Matsumoto and Sichao Kan, Institute of Energy Economics, Japan, **Clean Hydrogen: Important Aspects of Production, International Cooperation, and Certification. Part 2**, Tokyo / Wuppertal, June 2020, [http://www.gietc.org/wp-content/uploads/2020/07/GJETC\\_Hydrogen-Society-Study-II.pdf](http://www.gietc.org/wp-content/uploads/2020/07/GJETC_Hydrogen-Society-Study-II.pdf)
- [13] Burhan M., Shahzad M.W., Choon N.K. Hydrogen at the Rooftop: compact CPV-hydrogen system to convert sunlight to hydrogen. Appl Therm Eng 2017.
- [14] Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures, Hydrogen Production for Improved Transportation System as a Part of Smart Cities, September 2022, DOI: 10.1007/978-3-031-15101-9\_16
- [15] P. Gasparovic, L. Fozo, M. Hovanec, K. Semrad, "Project IMAF – research on measurement of airspeed of unconventional flying vehicles," in: Acta Avionica, vol. 23, no. 2, pp. 21–24, 2021. doi:10.35116/aa.2021.0012 <https://acta-avionica.tuke.sk/ojs/index.php/aavionica/article/view/1097>