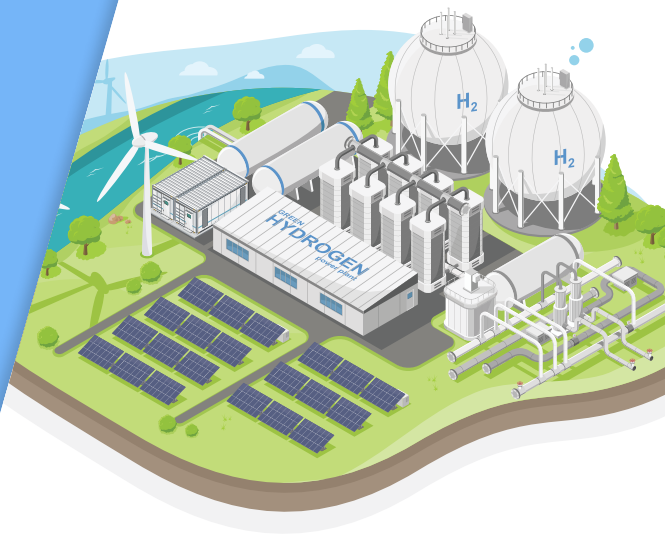


Vodík je budúcnosť

S energiou efektívne



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond
regionálneho rozvoja



OPERAČNÝ PROGRAM
KVALITA ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA

SlEA

SLOVENSKÁ
INOVAČNÁ
A ENERGETICKÁ
AGENTÚRA



Odborné energetické poradenstvo

Energia ukrytá vo vodíku

Vo vodíku je ukrytá značná energia. Jeden kilogram vodíka v sebe nesie 33,3 kWh energie, čo je takmer trikrát viac ako pri jednom kilograme benzínu.

Pre porovnanie, jeden kilogram Li-ion batérií v sebe ukrýva 0,2 až 0,4 kWh energie. Bežná batéria v elektrobicykloch má od 0,25 do 0,65 kWh energie a postačí na 2 – 3 hodiny jazdy horským terénom.

Čo je to vodík?

Vodík je najľahší prvok na Zemi. V periodickej tabuľke prvkov sa nachádza na prvom mieste a má chemickú značku H. Bežne sa vyskytuje vo forme dvojatómových molekúl ako divodík (H_2). Liter vodíka má hmotnosť približne 90 mg (0,09 g), teda je asi 11-krát ľahší ako vzduch.

Vodík sa prirodzene vyskytuje len vo forme zlúčenín – najbežnejšia je voda, ale príkladom sú aj zmesi uhľovodíkov a ich zlúčenín, ktorými sú hoci aj ropa alebo zemný plyn. Tieto sú v súčasnosti základom pre jeho priemyselnú produkciu. Dôsledkom tejto skutočnosti je aj fakt, že na rozdiel od fosílnych palív (napríklad uhlie, zemný plyn), v ktorých je energia už naakumulovaná a odtiaľ ju možno uvoľňovať, **pri využití vodíkových technológií je nutné vodík vyrobiť rozkladom iných zlúčenín**. To si vyžaduje vstupnú energiu vo forme elektriny alebo tepla. Použitím palivových článkov alebo priamym spálením sa energia spätne uvoľňuje.

Prečo práve vodík?

- Vodík je jeden z mála nástrojov pre dosiahnutie uhlíkovej neutrality
- Výrazne prispeje k dekarbonizácii priemyslu, dopravy a energetiky
- Rápidne zníži lokálne emisie pevných častíc a oxidov dusíka
- Zvýši energetickú bezpečnosť štátu
- Zníži závislosť Slovenska a celej Európskej únie od dovozu fosílnych palív
- Stabilizuje ceny energií v rámci EÚ
- Má potenciál riešiť migračný problém
- Vytvorí atraktívne podnikateľské príležitosti a pracovné miesta
- Pritiahne zahraničné investície s vyššou pridanou hodnotou
- Celkovo zvýši konkurencieschopnosť národného hospodárstva

Žiadny uhlík

Využívanie vodíka namiesto fosílnych palív má tú hlavnú výhodu, že vodík v sebe neobsahuje žiadny uhlík, je to molekula H_2 a čokoľvek s vodíkom urobíte – spálite ho priamo alebo nepriamo v palivovom článku, na konci procesu je vždy čistá voda, žiaden oxid uhličitý, pevné častice alebo dusíkaté zlúčeniny.

Nosič energie

Vodík nie je zdrojom energie, ale je jej nosičom. To znamená, že na začiatku musí byť primárny zdroj energie, napríklad fotovoltaická elektrárňa, ktorá vyrobí zelenú elektrinu.

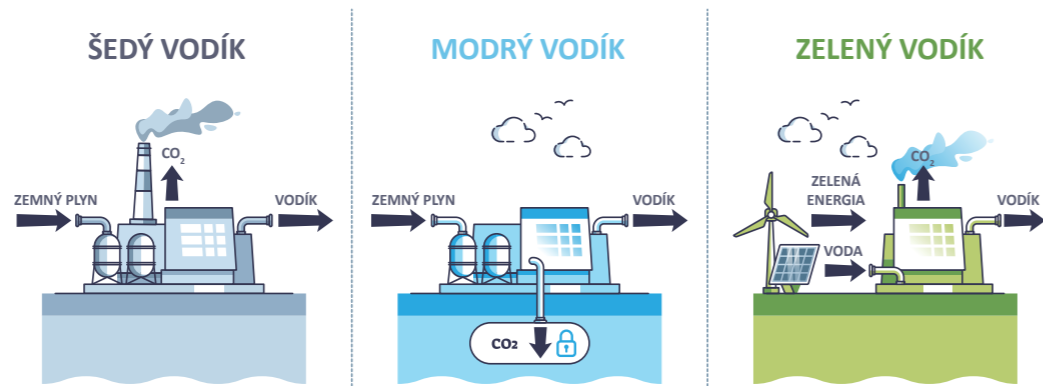
Obnoviteľná elektrická energia sa využije v elektrolyzéri – zariadení, ktoré pomocou jednosmerného elektrického prúdu rozkladá molekuly vody na kyslík a vodík. Vodík sa zachytí, prepraví a ďalej využije v doprave, priemysle alebo v energetike.

Ako sa vodík vyrába?

Vodík je možné vyrábať tromi hlavnými spôsobmi, a to použitím **termochemickej reakcie**, pri ktorých sa využíva uhlie (v procese známom ako **splyňovanie**) alebo zemný plyn (v procese známom ako **parná reformácia zemného plynu**) alebo **elektrolýzou vody**. V súčasnosti sa na výrobu vodíka najčastejšie používajú posledné dve spomínané techniky.

Ak sa použije obnoviteľná elektrina, proces výroby vodíka prostredníctvom elektrolyzy vody produkuje nulové emisie uhlíka. Pri tejto metóde sa vyrába tzv. zelený vodík alebo bezemisný vodík. Využívanie fosílnych palív znamená, že vznikajú emisie uhlíka, ale ak je možné tieto emisie v podstatnej miere zachytiť a natrvalo ich uskladniť, hovoríme o výrobe tzv. modrého vodíka alebo o vodíku vyrobeného nízkouhlíkovou technológiou.

Primárnym cieľom je výroba zeleného vodíka alebo vodíka vyrobeného na regionálnej úrovni nízkouhlíkovými technológiami. Konečným cieľom je výroba a využitie 100 % vodíka, na ktorý sa použili obnoviteľné zdroje energie alebo aspoň zdroje s nízkymi emisiami.



Najrozšírenejším spôsobom výroby vodíka v súčasnosti je reformovanie zemného plynu aplikáciou tepla. Technológia parnej reformácie zemného plynu je zároveň aj najhospodárnejším spôsobom výroby vodíka pričom cena 1 kg vodíka vyrobeného touto metódou sa pohybuje v rozmedzí 1 až 1,50 eur za kilogram vodíka. Nevýhodou tejto metódy je, že sa pri nej uvoľňuje veľké množstvo emisií CO₂. Výroba 1 kg H₂ vytvorí až 9 kg emisií CO₂, preto tento spôsob výroby vodíka nie je podporovaný.

Na výrobu vodíka pomocou nízkouhlíkových technológií zo zemného plynu so zachytávaním a skladovaním uhlíka (CCS) existujú dve technologické možnosti: reformácia parného metánu (SMR) a autotermálne reformovanie (ATR). SMR kombinuje zemný plyn a tlakovú paru za vzniku syntézneho plynu (syngasu), ktorý je zmesou oxidu uhoľnatého a vodíka. Výrobca môžu ľahko zachytiť asi 60 % celkového uhlíka oddelením CO₂ od vodíka; ďalší sa musí extrahovať z výfukových plynov, ktoré sú dnes pomerne drahé a umožňujú až 90 % celkovej rýchlosti zachytávania. ATR kombinuje kyslík a zemný plyn za vzniku syntézneho plynu. Tento proces môže ľahko zachytiť až 95 % emisií CO₂. Technológia ATR sa zvyčajne využíva vo väčších závodoch v porovnaní s technológiou SMR. Oba technologické postupy sú v súlade s dlhodobými cieľmi dekarbonizácie hospodárstva, aj keď tieto technológie sa ešte stále vyvíjajú a zefektívňujú.

Výroba z odpadu

Vodík možno vyrábať z biologického odpadu a nerecyklovateľných plastov. Tento spôsob výroby je efektívnejší ako elektrolyza. Odpad, ktorý vyhadzujeme do kontajnerov, tak môže byť využitý na výrobu vodíka pre vodíkové vozidlá alebo ako náhrada zemného plynu pri vykurovaní. Pri tomto spôsobe výroby vodíka je dokonca možné stiahnuť CO₂ z atmosféry.

Investície

Krajiny EÚ realizujú opatrenia pre vytvorenie konkurencieschopnosti v technológiách na výrobu vodíka. Investície do výroby zeleného vodíka v rámci EÚ by do roku 2050 mali dosiahnuť výšku až 180 – 470 miliárd eur a investície do výroby nízkouhlíkového modrého vodíka 3 – 18 miliárd eur.

Odhaduje sa, že zelený vodík by mohol do roku 2050 pokryť 24 % svetového energetického dopytu. Ročné tržby by sa mohli pohybovať okolo 630 miliárd eur.

Je vodík farebný?

Vodík ako plyn sám osebe je bezfarebný. Jednotlivé „farebné“ prívlastky umožňujú rozlíšiť vodík podľa uhlíkovej stopy pri jeho výrobe.

Čistý vodík

Zelený vodík

- Elektrolýza vody
- Obnoviteľné zdroje energie

Nízkoemisný vodík

Modrý vodík

- Parná reformácia zemného plynu so zachytávaním CO₂ (CCS/CCU)
- Zemný plyn

Fialový vodík

- Vysokotepelný rozklad vody
- Neobnoviteľný nízko emisný zdroj energie (atómová energia)

Ružový vodík

- Elektrolýza vody
- Neobnoviteľný nízko emisný zdroj energie (atómová energia)

Tyrkysový vodík

- Termická pyrolýza metánu
- Zemný plyn

Biely vodík

- Parolýza
- Spracovanie odpadu alebo
- Voľne sa vyskytujúci vodík v prírode

Emisný vodík

Šedý vodík

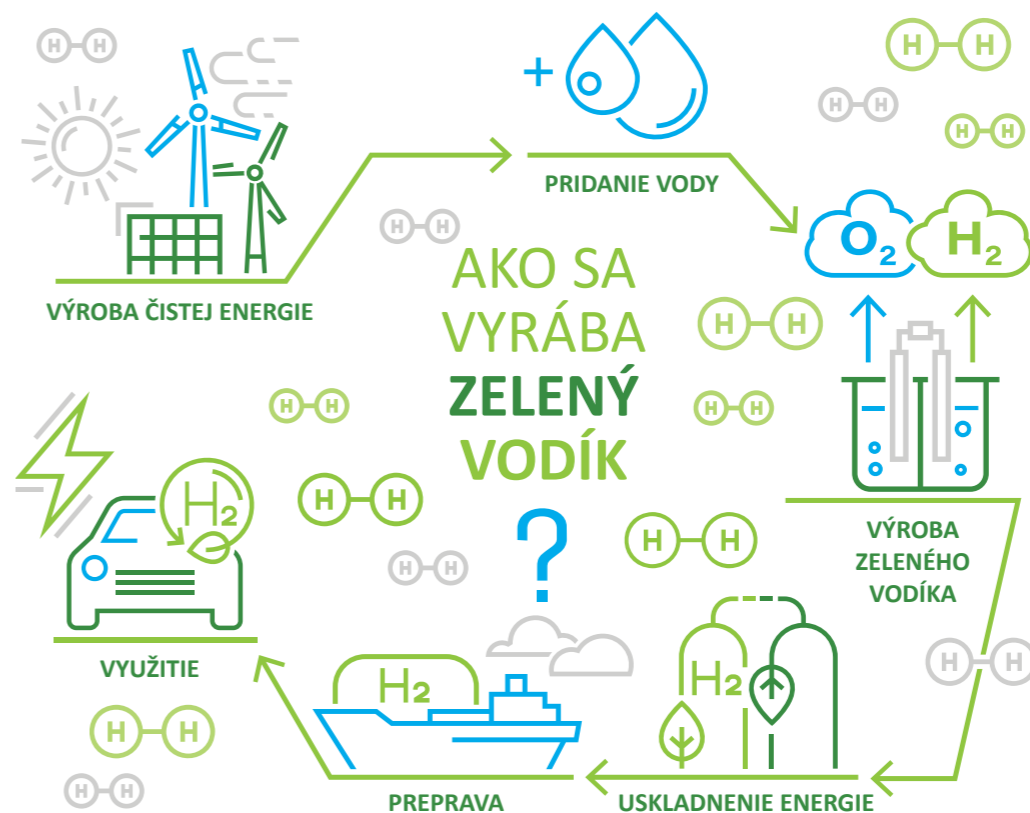
- Parná reformácia zemného plynu bez zachytávaním CO₂ (CCS/CCU)
- Zemný plyn

Čierny vodík

- Splynovanie čierneho uhlia
- Čierne uhlie

Hnedý vodík

- Splynovanie hnedého uhlia
- Hnedé uhlie



Nízkoemisný vodík

Emisný faktor výroby vodíka je rozhodujúci pre zaradenie vodíka do kategórie čistý, nízkoemisný alebo vysokoemisný vodík. Určujúcou hodnotou je 70 % zníženie CO₂ oproti výrobe vodíka metódou parnej reformácie zemného plynu.

Zaberá veľký objem

Vodík ako najľahšia existujúca molekula má veľmi nízku hustotu. 1 kg plynného vodíka, zaberá pri normálnej izbovej teplote a atmosférickom tlaku približne 11 m³, čo predstavuje približne veľkosť nákladného priestoru veľkej dodávky. Zaberá teda veľký objem pri veľmi nízkej hmotnosti. Z energetického hľadiska je využitie vodíka účinné iba vtedy, ak je jeho skladovacia kapacita vysoká.

Ako sa vodík skladuje?

V súčasnosti existuje niekoľko koncepcií skladovania vodíka. Niektoré sa používajú už niekoľko desaťročí, iné sú v pilotnej fáze a iné existujú iba v laboratórnom meradle.

Skladovanie vodíka ako stlačeného plynu je najjednoduchšou, najprirodzenejšou a najhospodárnejšou možnosťou. Ide o stlačenie vodíka do tlakových nádob pomocou kompresorov. V bežných, komerčne dostupných nádržiach je tlak plynu zvyčajne 100 alebo 200 bar (100 alebo 200-krát vyšší ako normálny atmosférický tlak), ale v prípade vodíka môžu byť tlakové fľaše natlakované až do 300 bar (30 000 kPa).

Medziiným sa táto metóda skladovania vodíka pri vysokých tlakoch používa aj pri preprave v autách na vodíkový pohon. Príkladom môžu byť automobily využívajúce palivové články. Tieto palivové články sú poháňané vodíkom uskladneným v nádržiach pri vysokom tlaku až 70 MPa (700 bar), čo v závislosti od použitého objemu nádrží predstavuje približne 5 - 6 kg vodíka. Pri tlaku 700 bar sa dojazd automobilov s palivovými článkami pohybuje okolo 600 km. Bezpečnosť vodíkových nádrží v autách je rovnaká ako pri konvenčných palivách alebo CNG pohone.

V prípade veľkokapacitného skladovania vodíka sa v súčasnosti skúma možnosť **podzemného skladovania** v podzemných dutinách (obdobne ako skladovanie zemného plynu v podzemí). Tento spôsob skladovania, aj keď je výhodný, sa viaže na konkrétne podmienky, zvyčajne na soľné kaverny.

Ďalšou kategóriou materiálov, ktoré sú predmetom výskumu na skladovanie vodíka, sú hydridy (kovové aj nekovové). Pri príprave hydridov sa molekula vodíka štiepi na atómy a tieto atómy sa následne viažu chemickou (iónovou) väzbou na atóm kovu (napr. MgH₂) alebo sú prítomné vo vnútri intermetallickej hydridovej štruktúry.



Raketový pohon

Kvapalný vodík sa vo veľkej miere využíva v kozmickom priemysle na raketový pohon, kde existuje preprava nákladnými vozidlami na miesto s minimálnymi stratami a je dobre zavedená. V prípade kvapalného vodíka je potrebné zohľadniť straty pri manipulácii (prečerpávaní) a prirodzenom odparovaní. Napríklad v prípade raketoplánov používaných NASA boli straty až 45 %.

Moderné nádrže na kvapalný vodík s dvojitým plášťom majú rýchlosť odparovania menej ako 0,1 % za deň. V takýchto nádržiach je možné uskladniť niekoľko stoviek ton tekutého vodíka.

Tekutý nosič

V súčasnosti je množstvo prostriedkov a úsilia venovaných spôsobu prepravy vodíka prostredníctvom potrubnej infraštruktúry alebo prepravou pomocou LOHC (liquid organic hydrogen carrier).

Vodík prepravovaný pomocou LOHC je vo vnútri kvapalných nosičov pomocou katalytickej reakcie. Kvapalina má nízku viskozitu a vyzerá ako voda. Po hydrogenácii sa zvýši viskozita a kvapalina vyzerá ako med. Za štandardných podmienok má LOHC vysokú energetickú hustotu – jedna tona LOHC obsahuje až 62 kg vodíka.

Ako sa vodík prepravuje?

Vodík v závislosti od jeho skupenstva (plynné alebo kvapalné) je možné distribuovať rôznymi spôsobmi.

V súčasnosti najrozšírenejšou formou distribúcie vodíka je preprava vodíka v tlakových nádobách s tlakom do 350 bar alebo alternatívne vyšším tlakom obdobne ako iné technické plyny. Takáto preprava je vhodná pre menšie vzdialenosti a menšie objemy prepravovaného vodíka. Avšak v prípade masívneho zavedenia vodíkových technológií s predpokladanou vyššou potrebou vodíka by takáto distribúcia bola neekonomická.

Alternatívou môže byť transport kvapalného vodíka. Aj keď je skvapalnenie proces, ktorý je časovo a energeticky náročný a prebieha pri teplote -253°C , výhodou kvapalného vodíka je vysoká hustota energie a vysoký pomer energie k hmotnosti, ktorý je trikrát vyšší ako v prípade benzínu. Iba jadrové palivo má vyššiu hustotu energie. Cestná preprava kvapalného vodíka sa v súčasnosti vykonáva v cisternách, ktoré môžu mať objem viac ako 60 000 litrov.



Bezpečný transport

Ak je LOHC nabitý vodíkom, je nehorľavý, čo z neho robí bezpečné transportné médium pre vodík na miesto použitia, kde je možné z tejto nosnej kvapaliny uvoľniť vodík.

Naplnený LOHC sa môže skladovať pri bežných podmienkach prostredia, čo je ďalšia výhoda oproti plynnému vodíku. Toto „nakladanie / vykladanie“ je opakujúci sa proces, LOHC kvapalinu je možné používať opakovane.

Keď nebude stačiť domáca výroba

Po roku 2035 pravdepodobne domáce zdroje vodíka nebudú schopné pokrývať spotrebu a dovoz vodíka bude nevyhnutný. Na tento účel sa môže využiť upravená sieť zemného plynu v rámci EÚ s napojením na severnú Afriku a prípadne na Ukrajinu.

Zo vzdialenejších krajín sa bude dovážať kvapalný vodík alebo vodík v zlúčenine čpavku či organických kvapalných nosičoch.

Geopolitické riziko sa tým výrazne zníži a rozloží sa medzi viaceré exportné štáty, čím sa zabezpečí rozvoj týchto krajín.

Preprava vodíka potrubím

V porovnaní s prepravou zemného plynu je preprava vodíka potrubím komplikovanejšia a nákladnejšia z dôvodu vyššej energie potrebnej na vtlačenie vodíka do potrubia a jeho nízkej objemovej hustoty energie. Molekula vodíka je zároveň veľmi malá a preto prechádza aj cez mriežku niektorých materiálov. Z toho dôvodu musí byť potrubie, určené pre prepravu vodíka, vyrobené z materiálov, ktoré vodík neprepustia. Preprava spolu so zemným plynom do určitého percenta (5-10 %) celkového objemu potrubia je však možná bez akýchkoľvek úprav na plynovej distribučnej sieti a využíva sa aj v súčasnosti.



Bude Európa lídrom?

Na základe prebiehajúcich a pripravovaných projektov čistého vodíka sa predpokladá, že v roku 2030 sa celosvetovo vyrobí 38 000 ton nízkoemisného vodíka. Najväčší podiel by sa mal vyrobiť v Európe, v Latinskej Amerike a v Austrálii a na Novom Zélande.

Významná surovina pre priemysel

Z celosvetového hľadiska sa najviac vodíka, približne 55 %, využíva na výrobu amoniaku, ktorý je významnou surovinou pri výrobe hnojív, ako aj pri výrobe plastov, výbušnín či pesticídov. 25 % celosvetovej produkcie vodíka sa využíva v petrochemickom priemysle pri výrobe palív. 10 % produkcie sa využíva v chemickom priemysle pri výrobe metanolu a zvyšných 10 % sa využíva v ostatných odvetviach, ako je doprava či energetika.

Ako sa vodík využíva?

Chemický priemysel:

Vodík je základnou surovinou potrebnou na výrobu amoniaku (NH_3), ktorý sa tiež nazýva azán, a je dôležitou súčasťou hnojív používaných v poľnohospodárskom priemysle na celom svete. Amoniak sa dá použiť aj ako cenovo dostupné a ekologické chladivo (R-717).

Odvetvie rafinácie ropy:

Vodík sa bežne používa pri hydrokrakovaní na výrobu ropných produktov vrátane benzínu a nafty. Používa sa tiež na odstránenie kontaminantov, ako je síra, a na výrobu metanolu (CH_3OH).

Potravinárstvo:

Vodík sa používa na premenu nenasýtených tukov na nasýtené oleje a tuky, vrátane hydrogenovaných rastlinných olejov ako margarín a maslové nátierky.

Kovoobrábanie:

Vodík sa používa vo viacerých aplikáciách vrátane legovania kovov a výroby železa.

Zváranie:

Atómové zváranie vodíkom (AHW) je typ oblúkového zvárania, pri ktorom sa využíva vodíkové prostredie.

Výroba plochého skla:

Na zabránenie oxidácie a tým pádom defektov počas výroby sa používa zmes vodíka a dusíka.

Výroba elektroniky:

Ako účinné redukčné a leptavé činidlo sa vodík používa na výrobu polovodičov, LED diód, displejov, fotovoltických segmentov a inej elektroniky.

Lekárske využitie:

Vodík sa používa na vytvorenie peroxidu vodíka (H_2O_2). V poslednej dobe sa plynný vodík začal študovať aj ako terapeutický plyn pre množstvo rôznych chorôb.

Prvá lastovička na slovenskom trhu

V roku 2023 Ministerstvo životného prostredia SR podporilo z prostriedkov Modernizačného fondu viaceré projekty znižovania emisií skleníkových plynov v slovenských priemyselných podnikoch celkovou sumou takmer 500 miliónov eur. Jedným z nich bol aj projekt známej chemickej fabriky DUSLO Šaľa v hodnote 58 miliónov eur. Projekt sa zameriava na nahradenie časti výroby vodíka z fosílnych palív zeleným vodíkom vyrobeným z obnoviteľných zdrojov energie. Tento vodík sa následne použije pri výrobe zeleného čpavku.

Slovenské prototypy

Vodík zažiaril aj na výstave Expo 2020 v Dubaji. Súčasťou našej expozície bol prototyp vodíkového superšportového auta vyrobeného na Slovensku, ktorý pomáhala vyvinúť Technická univerzita v Košiciach v spolupráci so Slovenskou akadémiou vied. Je zaujímavý aj tým, že má unikátne metalhydridové zásobníky na vodík, ktoré sú bezpečnejšie ako tlakové nádoby. Rovnako zaujal aj prvý nízkotlakový vodíkový autobus z dielne spoločnosti Rošero zo Spišskej Novej Vsi, pri ktorom sa uvažuje so sériovou výrobou.

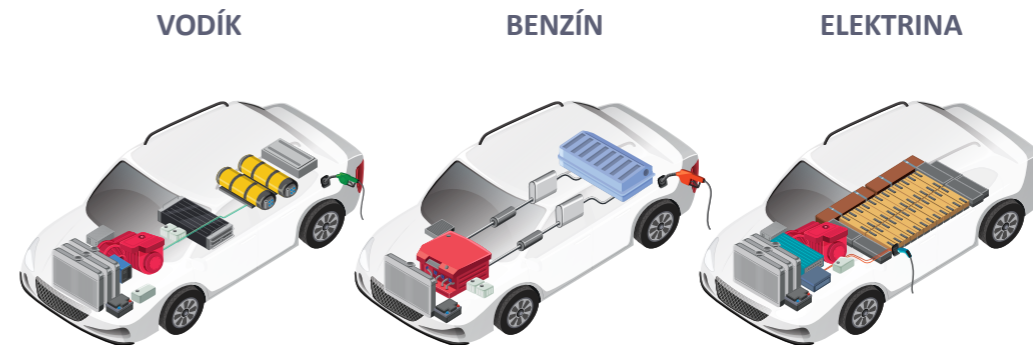
Využitie vodíka v doprave

Vodík je možné použiť ako náhradu benzínu alebo nafty vo všetkých druhoch dopravy, ako sú napríklad cestná doprava, železničná, letecká alebo aj lodná doprava. Výhody vodíka sú najviditeľnejšie v doprave ťažkých nákladov na dlhé vzdialenosti. Naopak, čím menšia vzdialenosť a ľahší náklad, tým budú mať väčšiu výhodu batériové elektromobily.

Vodíkové vozidlo je vlastne elektromobil, ktorý poháňa energia uložená vo vodíku. Tá sa v palivovom článku mení na elektrinu a tá poháňa elektromotor. Z výfuku pritom nejdú žiadne splodiny len vodná para. V palivovom článku tak prebieha opačný proces ako v elektrolyzéri.

Vodíkové elektrické auto má spotrebu cca. 0,8 - 1 kg vodíka na 100 km jazdy (v závislosti od štýlu jazdy) a celkový dojazd približne 650 km. Výhodou oproti batériovým elektrickým vozidlám je okrem dojazdu aj rýchlosť dotankovania, ktoré trvá približne 5 min. Ďalšou výhodou je, že dojazd nie je závislý od vonkajších klimatických podmienok, ale výlučne od štýlu jazdy vodiča, pričom však zachováva všetky výhody elektromobility – nulové emisie, nízky hluk, akcelerácia. Náklady na 1 km sú porovnateľné s bežnými benzínovými vozidlami, keďže 1 kg vodíka na čerpacej stanici sa predáva za 9 – 10 €/1 kg. Vodíkové elektrické vozidlá sa používajú vo flotilách taxíkov (napr. Paríž, Hofstad – Holandsko, Londýn, Brusel).

Aký je rozdiel medzi bežným elektrickým autom a elektrickým autom na vodík? Obe používajú ako pohonnú jednotku elektromotor, avšak rozdiel je v tom, ako sa do elektromotora dostane potrebná elektrická energia. Pri klasickom elektromobile je to z batérií, ktoré si auto vozí so sebou. Od ich kapacity závisí dojazd. o batérií ich dostanete nabíjaním na nabíjacej stanici alebo doma zo zásuvky. Pri vodíkovom aute si elektrinu auto vyrába samo, a to termo-chemickou reakciou vodíka (H_2) a kyslíka (O_2) v palivovom článku. Pri reakcii H_2 a O_2 sa uvoľňujú elektróny, ktoré poháňajú elektromotor a odpadovým produktom je voda (H_2O). Vodík je uskladnený v nádržiach v aute vo forme plynu pod tlakom 700 bar a natankujete ho na vodíkových čerpacích staniciach. Kyslík si auto nasáva zo svojho okolia, k čomu je prispôsobený aj dizajn prednej časti auta.



Nízkoemisná nákladná doprava

Európska únia si stanovila cieľ dosiahnuť uhlíkovú neutralitu do roku 2050, to znamená vyprodukovať len toľko emisií skleníkových plynov, o koľko je ich v iných procesoch a odvetviach možné znížiť. Jedným zo záväzkov SR voči EÚ v tejto oblasti je dosiahnuť podiel nových nízkoemisných nákladných vozidiel na celkovom vozovom parku na úrovni 8 % do roku 2025 a 9 % od roku 2026, pričom minimálne polovica týchto vozidiel musí byť úplne bezemisná.

Výhodou je dojazd a rýchle plnenie

Dopravný podnik mesta Bratislava začal od 1. augusta 2023 prevádzkovať prvé autobusy s vodíkovým pohonom v bežnej mestskej premávke. Autobusy boli vyrobené v Poľsku a DPB ocenil najmä fakt, že kým batériový elektrobus sa nabíja šesť až osem hodín, vodíkový autobus zvládne „natankovať“ vodík do 30 minút. Bežný dojazd má pritom 350 km, a to aj v zime, keď je zapnuté kúrenie a rovnako aj v lete, keď sa využíva vo vozidle klimatizácia.

Vodík v autobusovej doprave

Jednou zo špecifických aplikácií vodíka je jeho využitie v autobusovej doprave. Viaceré svetové metropoly znižujú emisie spôsobené prevádzkou mestských autobusov práve prostredníctvom využívania vodíkoveho pohonu. S rôznymi technológiami vodíkoveho pohonu autobusov sa začalo experimentovať už koncom 80. rokov 20. storočia. Autobusy na vodíkový pohon sa postupne dostávali do výrobných programov viacerých svetových výrobcov. Kým zo začiatku sa vývoj týchto autobusov uberal rôznymi smermi, postupne sa presadil pohon prostredníctvom vodíkových palivových článkov vyrábajúcich elektrinu z vodíka a malej batérie, ktorá poháňa elektromotor.

Lídrom na trhu je holandský výrobca Van Hool s celkovým počtom 106 vodíkových autobusov v prevádzke, čo predstavuje viac ako 28-percentný podiel na trhu. Druhým najvýznamnejším hráčom na trhu je poľský výrobca Solaris so 104 autobusmi (z tohto počtu bolo až 54 autobusov zaregistrovaných v roku 2022) a tretím v poradí je írsky Wrightbus s 82 autobusmi. Solaris má okrem iného na konte ďalšie prvenstvo: podarilo sa mu získať zákazku na doposiaľ najväčší počet vodíkových autobusov. Od roku 2026 by malo celkovo 130 nových vodíkových autobusov typu URBINO 12 Hydrogen obsluhovať hromadnú dopravu v talianskej Bologni.



Vodíkové autobusy na cestách

Začiatkom roka 2023 bolo v Európe v prevádzke 370 autobusov poháňaných vodíkovými palivovými článkami. Najväčší prírastok bol zaznamenaný v roku 2021, kedy bolo zaregistrovaných až 158 nových vodíkových autobusov. V roku 2022 ich pribudlo iba 99. Štatistiky predpokladajú, že v roku 2025 bude po európskych cestách jazdiť až 1 200 vodíkových autobusov.

Za zmienku stojí aj vývoj ceny týchto autobusov. Kým v roku 2010 stál jeden vodíkový autobus v priemere 1,8 milióna eur, dnes sa výrobcovia snažia dosiahnuť priemernú cenu 650 000 eur.

Šetrí čas aj emisie

V súčasnosti je celý sektor cestnej dopravy zdrojom približne štvrtiny všetkých vyprodukovaných emisií v EÚ. Využitie elektriny v nablíjajúcich batériách na pohon nákladných vozidiel je mimoriadne náročné vzhľadom na povahu technológie, hmotnosť batérií, ako aj nákladu a tiež požadovaný dojazd vozidiel. Práve z toho dôvodu sa vodík vníma ako perspektívne riešenie problému. V oblastiach, kde využitie batériových riešení nie je možné alebo je veľmi drahé, sú nové vodíkové technológie palivových článkov vhodnou alternatívou.

Vízie pre nákladnú dopravu

Bližší pohľad na vodíkové projekty v oblasti nákladnej dopravy vo svete ukazuje, že technológia palivových článkov a použitia vodíka ako paliva pre nákladné vozidlá nie je zatiaľ príliš rozšírená. Väčšinou ide o malé flotily nákladných áut, pričom vodíkové palivo sa vyrába a dodáva priamo pre konkrétny počet vozidiel. Čerpacie stanice sú umiestnené v blízkosti alebo ideálne priamo v prekladiskách tovarov, čo zvyšuje časovú efektívnosť tankovania. Vo väčšine prípadov ide o pravidelné trasy pre nákladné vozidlá, ktoré opakujú rutinne, v opakujúcich sa časových intervaloch a po rovnakých cestách. Predpokladá sa, že v budúcnosti klesnú ceny kľúčových komponentov, čo prispeje k ďalšiemu využívaniu vodíkových technológií v doprave.

Podľa štúdie o zelených riešeniach pre vodíkové nákladné autá od Spoločnej iniciatívy pre palivové články a vodík (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking) z decembra 2020 v súčasnosti prebieha 23 veľkých pilotných projektov vodíkovej prepravy tovarov, s veľkou dominanciou EÚ (celkovo 12 cezhraničných projektov), nasledovanou Spojenými štátmi (8), Kanadou (1), Čínou (1) a Južnou Kóreou (1). Európske projekty často zahŕňajú nadnárodné tretie strany s veľkou účasťou veľkoobchodných a maloobchodných spoločností, zatiaľ čo severoamerické projekty stavajú na širokej verejnej podpore od regionálnych vlád.

Takmer všetky projekty sa dajú kategorizovať do troch veľkých oblastí:

1. Vnútroštátna preprava na posledných kilometroch (tzv. last mile delivery)

V týchto prípadoch trasa spája regionálny dopravný uzol s obchodmi/prevádzkami v rámci tohto regiónu. Dodacia oblasť je zvyčajne do 100 km od regionálneho centra, resp. depa a takmer výlučne po rovinatej, prípadne mierne kopcovitej teréne. V tomto prípade hovoríme o tzv. slučkovitej trase. Hlavnou výhodou je nízka náročnosť na palivo, krátke vzdialenosti a relatívne dobrá plánovateľnosť distribučnej trasy. Mnohé projekty experimentujú aj s dodatočným využitím vodíka, napríklad pre vysokozdvížne vozíky a podobne.

Môže ísť o kuriérske služby (napríklad DHL v meste Hatfield), spojenie továrne so skladmi a následne obchodmi (spoločnosť Flen v Štokholme) alebo prepojenie dodávateľa s odberateľmi (pivovar Goss v rakúskom regióne Leoben).

2. Vnútroštátna preprava regionálneho charakteru

Tieto trasy väčšinou zahŕňajú okružné trasy v rámci preddefinovanej lokality v rôznych časových horizontoch, najčastejšie po prímestských cestách a diaľniciach. Hlavnou výhodou môže byť plánovateľnosť (pokiaľ ide o opakujúce sa trasy), najmä však vozidlá jazdia takmer alebo výhradne 24 hodín denne.

Môže ísť o krátke a stredné trasy s ťažkým nákladom – napríklad vo francúzskom Alsasku využívajú 3 prepravné spoločnosti park a sklad spoločnosti FM Logistic, kde vyrába vodík firma Bouygues Energies. V talianskej Valencii funguje distribučná sieť spájajúca uzol v Ribarroja s viacerými pobočkami alebo prevádzkami v meste (časť prepravcov používa ako palivo CNG/LNG, avšak adaptácia na vodík je možná).

3. Vnútroštátna alebo medzištátna diaľková preprava

Veľký potenciál naznačujú projekty najmä cezhraničnej diaľkovej dopravy, ktorá funguje prakticky 24 hodín denne, často na dvojzmennej prevádzke. Trasa je stanovená hlavne na rovnom teréne – prevažne diaľnice. Čo sa týka infraštruktúry, pre túto prepravu by bolo potrebné po celej EÚ vybudovať desiatky až stovky vodíkových čerpacích staníc, avšak táto oblasť ponúka najvyššiu úroveň plánovateľnosti distribučnej trasy a podľa niektorých zdrojov by mohla byť finančne návratnejšia v porovnaní s naftou už od roku 2030.

Rekordný dojazd

Na jeseň 2023 uskutočnil nemecký výrobca Mercedes-Benz test vodíkového ťahača GenH2, počas ktorého tento kamión s celkovou hmotnosťou 40 ton prešiel po nemeckých cestách na jednu plnú nádrž 1 047 kilometrov. Prekonal tým dosiaľ zaznamenaný rekord amerického výrobcu Hyzon Motors, ktorého kamión dokázal bez dotankovania prejsť 870 kilometrov.

Priemerná spotreba naloženého vodíkového kamiónu je v súčasnosti na úrovni približne 8,3 kg vodíka na 100 km. Vývoj technológií vodíkového pohonu do roku 2030 by mohol prispieť k zníženiu tejto spotreby na úroveň približne 6,1 kg/100 km.

Vodík verus batérie

V súčasnosti sa na uskladňovanie energie využívajú predovšetkým lítiové batérie. Ich výhodou sú nižšie energetické straty a bežná dostupnosť. Hlavnou nevýhodou je ich obmedzená životnosť, ako aj strata kapacity pri nízkych teplotách. Taktiež sa vyrábajú zo surovín, ktorých ťažba negatívne vplyva na životné prostredie. V porovnaní s tým je vodík udržateľnejšou alternatívou, pretože ho môžeme vyrobiť z obnoviteľných zdrojov energie. Taktiež má aj vyššiu energetickú hustotu, to znamená, že jeden kilogram vodíka obsahuje viac energie ako jeden kilogram batérií. Nevýhodou je, že výroba vodíka je momentálne drahšia ako výroba lítiových batérií.

Využitie vodíka v energetike

Vodík sa už používa na chladenie generátorov elektrární a poskytuje tiež sľubný prostriedok na stabilizáciu elektrickej siete. Elektrická energia sa môže elektrolýzou zmeniť na vodík, potom sa uskladní a použiť v koncových aplikáciách, ako je doprava.

Vodík môže slúžiť aj na záložnú výrobu energie. Na miestnej úrovni sa stacionárne palivové články používajú ako súčasť systémov nepretržitého napájania (UPS), kde je kritická nepretržitá prevádzka. Nemocnice aj dátové centrá čoraz viac hľadajú vodík, aby uspokojili svoje potreby nepretržitého napájania



Možnosti pre tepelné hospodárstvo

Veľké nádeje sa do vodíka vkladajú aj pri znižovaní emisií skleníkových plynov v tepelnom hospodárstve. Podľa údajov spoločnosti SPP – distribúcia, a.s. dokáže plynárenská sieť integrovať obrovské množstvá nízkoemisného vodíka formou primiešavania k zemnému plynu, tzv. blending. Pri 20 % blendingu je objem energie distribuovanej vo vodíku 3,5 TWh/rok, čo predstavuje 7 % z celoročnej spotreby plynu. To by znamenalo ročnú úsporu na emisiách CO₂ rovnajúcu sa ekvivalentu vyradenia 565 000 osobných automobilov z prevádzky.

Vodíkové lietadlo skráti čas cestovania

Viete si predstaviť, že by ste sa z Nemecka do Dubaja dostali za 90 minút? Presne toto sľubuje vodíkové lietadlo, ktoré vyvíja spoločnosť Destinus. Pôvodom švajčiarska firma si trúfa vyrobiť a dať do prevádzky lietadlo na vodíkový pohon, ktoré poletí rýchlosťou päťkrát vyššou, ako je rýchlosť zvuku. Okrem vodíkom poháňané nadzvukové lietadlá by sa chcela špecializovať aj na vodíkové drony. Testovacie lety by mali prebehnúť už v roku 2024.

Nové aplikácie vodíka

Nové aplikácie vodíka, ako sú palivové články, otvárajú všetky druhy nových príležitostí v doprave a ďalších odvetviach súvisiacich s energiou. V niektorých aplikáciách sa ako alternatívne palivo používa vodík. Medzi významné oblasti rastu patria:

Prieskum vesmíru

Kvapalný vodík (LH2) zohráva dôležitú úlohu pri výskume vesmíru od programu Apollo spoločnosti NASA, kedy sa prvýkrát použil v sekundárnom štádiu rakiet Saturn. Dnes sa jeho použitie rozširuje o vládne a obchodné organizácie ako United Launch Alliance, Boeing a Blue Origin.

Letectvo

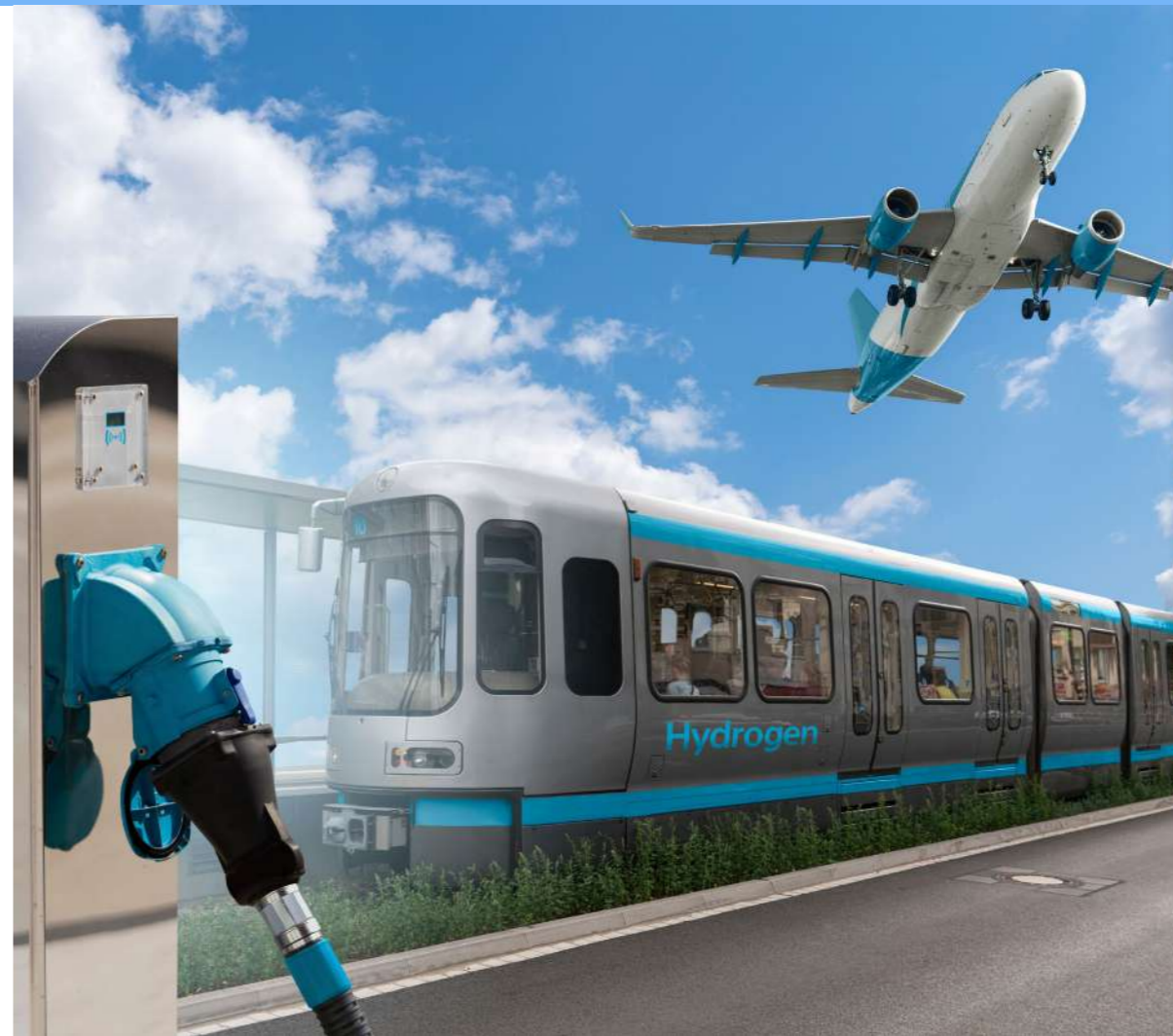
Niekoľko experimentálnych programov využilo vodíkové palivové články v projektoch ako bezpilotné dlhodobé lietadlá Pathfinder a Helios. Spoločnosť Airbus nedávno predstavila koncepciu vodíkových lietadiel „ZERO“, ktoré využívajú kvapalný vodík na pohon modifikovaných motorov s plynovou turbínou.

Logistika

Desiatky spoločností s veľkými skladovými a distribučnými potrebami prechádzajú využitím vodíkových palivových článkov na pohon nákladných automobilov, vysokozdvížných vozíkov, železničných posunovačov a ďalších. Spoločnosti ako Nikola Motors, Hyundai, Toyota, Renault, Mercedes Benz, Scania, Kenworth Truck Co a UPS majú veľké ambície v oblasti vodíkových vozidiel, dodávok a motorových vozidiel.

Verejná doprava

Vodíkové palivové články sa zvažujú aj pre ďalšie aplikácie verejnej dopravy vrátane vlakov a autobusov.



Dolu svahom bez emisií

V roku 2020 predstavila talianska firma PRINOTH koncept vodíkového snežného pásového vozidla (ratraku) na úpravu lyžiarskych zjazdoviek. Vďaka využitiu vodíkového pohonu, ktorý poskytuje výkon 400 kW, je tento stroj ešte silnejší ako bežne využívané dieselové ratraky a na jednu plnú nádrž vydrží pracovať až štyri hodiny. Využívanie takýchto strojov môže prispieť k významnému zníženiu uhlíkovej stopy lyžiarskych stredísk.

Cieľom je nahradiť fosílna palivá

V súčasnosti pochádza približne 96 % všetkého vyrobeného vodíka z fosílnych palív. Iba 4 % sa vyrábajú pomocou elektrolýzy vody. Predpokladá sa, že v blízkom období sa tento pomer bude postupne meniť v prospech výroby zeleného vodíka vyrobeného prostredníctvom elektrolýzy. Celková účinnosť tohto procesu sa pohybuje okolo 50 – 60 % v závislosti od využitia technológie elektrolýzera.

Mýty a fakty o vodíku

Mýtus: Pri elektrolýze sa spotrebuje veľké množstvo vody

Z chemických vlastností vody vyplýva, že na výrobu 1 kg vodíka je potrebných 8,92 litrov vody. Vodíková stratégia EÚ predpokladá, že v roku 2030 sa vyrobí 10 miliónov ton (MT) vodíka ročne. Na elektrolýzu by sa použilo 89 miliónov litrov vody, čo predstavuje 0,0048 % všetkých ročných zdrojov sladkej vody v EÚ a 0,029 % všetkých ročných zrážok v EÚ. Ide teda o zanedbateľné množstvá vody.

Porovnanie spotreby vody na elektrolýzu s inými energetickými procesmi ukazuje, že niektoré procesy na báze fosílnych palív sú ešte náročnejšie na vodu. Napríklad pri získavaní ropy a rafinácii nafty sa spotrebuje približne o 40 % viac vody ako pri výrobe zeleného vodíka na jednotku energie. To znamená, že deväť litrov vody by bolo potrebných na rafináciu dostatočného množstva nafty na prejedenie 40 km alebo výrobu dostatočného množstva vodíka na prejedenie 100 km.

Z hľadiska obehového hospodárstva vodíková technológia nespotrebováva vodu, pretože voda sa vyrába vo svojej najčistejšej forme na konci cyklu vo forme vodnej pary.

Mýtus: Na elektrolýzu je možné využiť iba zdroje sladkej vody

V súčasnosti technológia elektrolýzera využíva vysoko čistenú vodu. To však neznamená, že prírodné sladkovodné systémy musia znášať dodatočné zaťaženie. Voda potrebná na elektrolýzu vo veľkom rozsahu môže byť poskytnutá z akéhokoľvek vodného zdroja (morská voda, odpadová voda atď.) po demineralizácii prostredníctvom zariadení s reverznou osmózou.

Prípadová štúdia z Portugalska ukazuje možnosti využitia odpadových vôd pri výrobe vodíka. Portugalská národná vodíková stratégia predpokladá výrobu relatívne veľkého množstva vodíka (2 – 2,5 GW ročnej kapacity elektrolýzera) do roku 2030. Doprocesu získavania potrebnej vody na elektrolýzu je zapojená aj štátna spoločnosť Aguas de Portugal, ktorá čistí väčšinu portugalských odpadových vôd. Na dosiahnutie stanoveného ročného cieľa výroby vodíka by elektrolýza spotrebovala iba 1 % celkovej produkcie odpadových vôd v Aguas de Portugal.

Ďalšou možnosťou je využitie prídavných zariadení na odsoľovanie morskej vody. Celkové náklady na odsoľovanie vody sa pohybujú okolo 0,8 EUR/m³, čo potom zvyšuje výrobné náklady vodíka o 0,007 EUR/kg. Touto dodatočnou investíciou je možné zabrániť nedostatku pitnej sladkej vody pre miestnych obyvateľov v mieste výroby vodíka.

Odpadovej vody je dostatok

Celkové množstvo odpadových vôd vyprodukovaných v Aguas de Portugal takmer sedemkrát prekračuje potrebné množstvo vody (89 miliónov litrov) na dosiahnutie cieľa EÚ vyrobiť do roku 2030 10 miliónov ton vodíka ročne.

Finančne náročné investície

V rokoch 2021 – 2023 došlo k výraznému spomaleniu poklesu cien výroby nízkoemisného vodíka. Na svedomí to však nemá zdraženie technologických zariadení či elektriny z obnoviteľných zdrojov, ale zvýšenie ceny kapitálu na finančných trhoch. Investície do projektov výroby nízkoemisného a zeleného vodíka sa tak stali finančne náročnejšími.

Mýtus: Zelený vodík je príliš drahý

Cena zeleného vodíka v posledných rokoch klesla a očakáva sa, že v nasledujúcom desaťročí bude zníženie ešte výraznejšie, vďaka čomu zelený vodík posilní svoju konkurencieschopnosť voči iným energetickým zdrojom. Väčšina nákladov na výrobu zeleného vodíka však nespočíva v technológii alebo v infraštruktúre. Až 70 % nákladov predstavuje obnoviteľná energia, z ktorej sa zelený vodík vyrába prostredníctvom elektrolýzy. Ďalšie zníženie týchto nákladov môže priniesť úspora z rozsahu, ktorú vyvolá ďalší rast trhu, ako aj posilňovanie medzinárodnej technologickej spolupráce.

Mýtus: Plynný vodík je nebezpečný pri skladovaní a používaní

Pravdepodobne jednou z najčastejších obáv pri diskusii o použití vodíka je to, že ako horľavý plyn sa môže ľahko zapáliť a je príliš nebezpečný na to, aby sa skladoval buď na čerpacích staniciach alebo v tlakovej nádrži. Vodík sa však v rôznych priemyselných procesoch využíva už dlhú dobu a existujú viaceré štandardy a normy na reguláciu otázok zdravia, bezpečnosti a životného prostredia vo vzťahu k jeho používaniu. Vodík tak nie je o nič nebezpečnejší ako iné horľavé palivá alebo batérie používané v elektromobiloch. Vozidlá s tlakovými zásobníkmi plynu nie sú žiadnou novinkou. Za posledných niekoľko rokov najzdili milióny kilometrov a výroba a preprava vodíka celosvetovo existuje už niekoľko desaťročí.

Záhadná nehoda vzducholode

V súvislosti s bezpečnosťou vodíkových technológií sa často spomína najznámejšia nehoda vzducholode Hindenburg z roku 1937. Táto 230 metrov dlhá vzducholod, ktorá bola v tom čase najdlhším „vzdušným plavidlom“, bola naplnená približne 200 miliónmi litrov plynného vodíka. Vďaka nemu bola schopná letu. Pri pristávaní sa vznietila a zrútila, čo sa dlhodobo pripisovalo práve vodíku. Vodík samotný je však veľmi prchavý a dokáže sa rozptýliť v priebehu niekoľkých sekúnd. Dnes sa za najpravdepodobnejšiu príčinu nehody označuje vodivý vonkajší plášť vzducholode, daždivé počasie a náhodná iskra, ktorá preskočila a zapálila vzducholod.

Bude nás raz aj liečiť?

V zdravotníctve sa dnes vodík využíva predovšetkým ako záložný zdroj energie. V prípade výpadku elektrického prúdu v nemocnici sa môže z vodíka vyrobiť energia na pohon dôležitých prístrojov a zariadení. Vedci však skúmajú aj možnosť použitia vodíka v zdravotnej starostlivosti. Vodík by sa mohol stať alternatívou k súčasným metódam sterilizácie, keďže plyný vodík dokáže zabíjať mikroorganizmy a nezanecháva pritom toxické rezíduá na medicínskych nástrojoch. Viaceré štúdie tiež naznačujú pozitívny vplyv vodíka na oxidačný stres a jeho možné protizápalové účinky. Dokonca sa skúma jeho využitie pri liečbe neurologických a srdcovo-cievnych ochorení.

Mýtus: Možnosti na využívanie vodíka sú obmedzené

Naopak – jednou z najväčších výhod vodíka je jeho všestrannosť. Vodík sa využíva v rôznych priemyselných odvetviach, ako je chemický priemysel, výroba ocele či potravinársky priemysel. Taktiež je možné ho používať v cestnej, železničnej či lodnej doprave ako palivo, kde sa premieňa na energiu v palivových článkoch.

Vodík nachádza svoje uplatnenie aj v energetike. V prípade, že sa zelený, resp. nízkoemisný vodík primieša do zemného plynu, môže znížiť emisnú stopu pri jeho využití. Taktiež môže slúžiť na uchovávanie energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov na dlhé obdobie, kým nebude potrebné túto energiu využiť. V takom prípade sa premení naspäť na energiu prostredníctvom palivových článkov. Pri tomto procese síce dochádza k určitým energetickým stratám, ale zachováva sa aspoň časť energie.



Národná vodíková asociácia Slovenska

Podporu výskumu, zavádzania a využívania technológií na báze vodíka má na Slovensku za cieľ Národná vodíková asociácia Slovenska (NVAS). Združuje firmy, ktoré pôsobia v rôznych oblastiach výroby, skladovania a využívania vodíka. Úzko spolupracuje aj s výskumnými a vzdelávacími inštitúciami, ako aj s domácimi verejnými subjektmi a medzinárodnými organizáciami. Podieľa sa na tvorbe verejnej politiky a legislatívy v oblasti využívania vodíka a pomáha nadviazať odborné a obchodné partnerstvá. Aktuálne má viac ako 80 členov.

Bezplatné energetické poradenstvo ŽIŤ ENERGIU

Pomôžeme vám získať užitočné informácie v správny čas

Ako znížiť spotrebu energií a ušetriť?

Bezplatná poradenská linka **0800 199 399**

Poradenské centrá Žiť energiou Banská Bystrica, Trenčín, Košice, Bratislava, Žilina

www.siea.sk

www.zitenergiu.sk