

## Vodíková stratégia pre Košický kraj

### Avant propos

Vodík je popri batériách ďalším kľúčovým obnoviteľným vektorom, ktorý v rozvinutých svetových ekonomikách priťahuje značnú pozornosť vedeckej, obchodnej, politickej komunity a verejnosti. Európa ako oblasť disponuje jedinečnými aktívami, ktoré kladú EÚ na popredné miesto spolu s Japonskom, Kóreou, USA a Čínou. Slovensko ako krajina zatiaľ samostatne neimplementovala efektívny národný vodíkový program, no momentálne sa dokončuje národná vodíková stratégia. Preto interdisciplinárny tím autorov vyhotovil túto štúdiu založenú na faktoch s cieľom objaviť potenciál vodíkových technológií šitých na mieru pre Košický samosprávny kraj (KSK), ktorý pomôže EÚ dosiahnuť jej environmentálne ciele a zároveň zvyšuje miestne investície. KSK spolu s podporou fondov EÚ má ambíciu hlbšie preskúmať dôsledky väčších verejných a súkromných investícií do vodíka ako alternatívneho zdroja energie, najmä do jeho „spill-over“ účinkov na regionálne inovácie, vzdelávanie, podnikanie a zamestnanosť. Cieľom bolo zmapovať potenciál využitia vodíkových technológií v priemyselných odvetviach od výroby energie, dopravy, skladovania, ale aj výskumu a vývoja, spolu s výzvami v oblasti vzdelávania, ktoré by spĺňali najvyššie kritériá v oblasti bezpečnosti. Obsahuje aj odporúčania pre akčné plány v oblasti cestovného ruchu, z ktorých môžu čerpať výhody verejné a alternatívne scenáre, ktoré pomôžu KSK prispôsobiť jedinečné plány na získanie konkurenčného postavenia a prijať strategické rozhodnutia v budúcnosti.

Každý pokrok ľudskej spoločnosti, od prvej priemyselnej revolúcie po súčasný priemysel 4.0, bol spojený s pokrokom v oblasti využívaní energie a rýchlymi zmenami v technológiách. Jedným z najväčších vynálezov v slovenskej histórii, ktorý presunul energetickú transformáciu do celého sveta z malej krajiny v srdci Európy a neskôr z ETH Zürich, bol Aurel Stodola, ktorý začal študovať práve v Košickom kraji. V súčasnej dobe s masívnou digitalizáciou a inteligentnými riešeniami IT sa vyvíja aj paralelná transformácia spoločnosti 5.0.

V Košickom kraji nemusíme čakať ďalšie desaťročie, aby sme našli technológiu na boj proti klimatickým zmenám a súčasne inovovali priemysel. Namiesto toho môžeme konať už teraz s existujúcimi možnosťami a ich vylepšeniami. Môžeme zmeniť Košický kraj na región s vyššou kvalitou života jeho občanov a ťažiť z konkurenčnej výhody v počiatočnom období transformácie.

Či už išlo o zavedenie parných strojov, výrobu a distribúciu elektriny, alebo automatizácie do výrobného procesu, všetky činnosti súviseli s využívaním energie, ktorá, ak nerátame vodnú energiu, sa získavala spaľovaním dreva, uhlia, zemného plynu, spracovania ropy alebo štiepením jadra, či jeho fúziou. Všetky tieto komodity sú spôsobmi skladovania energie, ktorú ľudia zámerne uvoľnili a využívali z týchto komodít podľa potrieb a požiadaviek spoločnosti. S výnimkou jadrovej energie je výroba energie z uvedených zdrojov spojená s tvorbou CO<sub>2</sub>, ktorý sa považuje za jeden z hlavných zdrojov vedúcich ku klimatickým zmenám a globálnemu otepľovaniu. Žijeme v čase, keď si ľudstvo stanovilo za cieľ znížiť svoju uhlíkovú stopu a prejsť na spoločnosť bez uhlíka. To sa odráža aj v tlaku na prechod na zelené obnoviteľné zdroje energie, akými sú slnečná a veterná energia. Ich použitie je však nevyhnutne spojené s potrebou akumulácie energie v dôsledku

kolísania výroby energie zo slnka, alebo vetra. Je preto rozhodujúce vyriešiť skladovanie energie, aby sa vyvážila ponuka a dopyt po nej. Jedným z elegantných alternatívnych a perspektívnych zdrojov „zelenej“ energie je vodík. Pri jeho spaľovaní vzniká voda, ktorá uvoľňuje veľké množstvo energie, a to bez uhlíkovej stopy.

Myšlienka využívania vodíkových technológií pri skladovaní alebo preprave energie je pomerne stará a k dispozícii sú aj dlhodobé skúsenosti z kozmického a vojenského výskumu. Cieleny výskum vodíkových technológií v EÚ sa však začal až po roku 2000 a v posledných rokoch sa zintenzívil vďaka zlepšeniu účinnosti palivových článkov. Vďaka pokrokovým materiálom a technológiám je využívanie vodíkových technológií čoraz reálnejšie. Na Slovensku sa téma vodíkových technológií obchádzala, mnoho rokov nebol o túto problematiku cielenejší záujem priemyslu, investorov a tvorcov stratégií. K zmene začalo dochádzať až v priebehu uplynulých 2 - 3 rokov.

Vodík (H) ako najľahší prvok na Zemi váži približne 0,09 g v 1 litri, čím je asi 11-krát ľahší ako vzduch. Bežne sa vyskytuje vo forme dvojatómových molekúl, t.j. H<sub>2</sub>. Na Zemi sa vodík v prirodzenom stave vyskytuje iba vo forme zlúčenín (najbežnejšou je voda, ale nachádza sa aj v rope, zemnom plyne, atď.), ktoré sú základom pre jeho priemyselné využitie. To však vedie ku skutočnosti, že na rozdiel od fosílnych palív (uhlie, zemný plyn, atď.), v ktorých sa už akumuluje a z nich sa uvoľňuje energia pre každodenné činnosti, pomocou vodíkových technológií musíme vodík najskôr vyrobiť rozkladom iných zlúčenín. A to si vyžaduje vstupnú energiu, zvyčajne vo forme práce alebo tepla, a až následne, buď pomocou palivových článkov alebo priamym spaľovaním, sme schopní túto energiu späťne uvoľniť.

Pre rozsiahlejší vývoj vodíkových technológií a širšie využitie vodíka v spoločnosti je rozhodujúca lacná a ekologická výroba spolu s bezpečnou prepravou a veľkokapacitným skladovaním.

Košický samosprávny kraj môže dnes v malom rozsahu využívať technológie vodíka a palivových článkov a využiť vznikajúce príležitosti, ktoré sú prínosné z dlhodobého hľadiska. No jediným spôsobom, ako z nich dosiahnuť prínos pre verejnosť, je spolupráca s priemyslom, investormi, univerzitami, výskumnými ústavmi a tvorcami stratégií ako hlavnými aktérmi.

Je potrebné podotknúť, že posledné vety štúdie boli napísané v časoch, keď sa na Slovensku uplatňovali masívne preventívne opatrenia v súvislosti s koronavírusom, vyhláseniami WHO, ktoré ho určili za pandémiu a bezprecedentných historických strát na trhoch s akciami. V týchto energeticky a biologicky labilných časoch dúfame teda v renesanciu v uplatňovaní inovatívnych až disruptívnych technológií, akou je zelený vodík, pretože svet už nikdy nebude ako predtým. Takisto dúfame, že inteligentné riešenia zlepšia kvalitu života Košičanov, Slovákov, aj Európanov.

Január 2021, Autori

## Kapitola 1: Výroba vodíka

Kľúčovou otázkou využitia vodíka v KSK je, kde nájdeme a vyrobíme dostatok vodíka na splnenie všetkých požiadaviek priemyslu, mobility, domácností alebo energetiky

a kde zároveň bude výroba vodíka udržateľná, ekologická, s nízkym obsahom uhlíka, či dokonca zelená.

Vodík je možné vyrábať z vody tromi hlavnými spôsobmi. Jedným zo spôsobov je proces známy ako elektrolýza, pri ktorej sa pomocou elektriny extrahuje vodík z vody. Ak sa použije obnoviteľná elektrina, tento proces produkuje nulové emisie uhlíka. V tomto postupe sme vodík nazvali „zelený vodík“. Ďalšími dvoma spôsobmi sú termochemické reakcie, pri ktorých sa využíva uhlie (v procese známom ako splyňovanie) alebo zemný plyn (v procese známom ako reformovanie parného metánu). Tieto posledné dve techniky sa väčšinou používajú na aktuálnu výrobu vodíka. Využívanie fosílnych palív znamená, že vznikajú emisie uhlíka, ale ak je možné tieto emisie v podstatnej miere zachytiť a natrvalo ich uskladniť, „modrý“ vodík alebo vodík vyrobený „nízko uhlíkovou“ technológiou sa dá vyrobiť čistým spôsobom.

Vodík je možné vyrábať z vody tromi hlavnými spôsobmi. Jedným zo spôsobov je proces známy ako elektrolýza, pri ktorej sa pomocou elektriny extrahuje vodík z vody. Ak sa použije obnoviteľná elektrina, tento proces produkuje nulové emisie uhlíka. Použitím tohto postupu sa vyrába tzv. „zelený vodík“. Ďalšími dvoma spôsobmi sú termochemické reakcie, pri ktorých sa využíva uhlie (v procese známom ako splyňovanie) alebo zemný plyn (v procese známom ako parná reformácia zemného plynu). Tieto posledné dve techniky sa väčšinou používajú na aktuálnu výrobu vodíka. 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 vodíka vyrobeného „nízko uhlíkovými“ technológiami.

Zoznam možných spôsobov výroby vodíka:

1. krakovanie uhl'ovodíkov parou
2. čiastočná oxidácia uhl'ovodíkov
3. konverzia vodného syntézneho plynu
4. degradácia biomasy baktériami
5. rozklad chloridov pomocou vodnej pary
6. reformovanie benzínu
7. reformovanie koksárenského plynu
8. elektrolýza vody a kyselín
9. štiepenie fotokatalytickej vody - extrakcia vodíka z molekúl vody
10. rozklad vodnej pary železom, resp. FeO
11. rozklad vodnej pary v plazme (ionizácia)
12. rozklad amoniaku alebo metanolu

Primárnym cieľom je výroba „zeleného vodíka“ alebo vodíka vyrobeného na regionálnej úrovni nízkouhlíkovými technológiami, takže spôsoby distribúcie sa skrátiť a môžeme dosiahnuť vyššiu možnú úroveň účinnosti distribúcie vodíka. Konečným cieľom je výroba a využitie 100% vodíka, na ktorý sa použili obnoviteľné zdroje energie, alebo aspoň zdroje s nízkymi emisiami.

Z dôvodu technického pokroku a ekonomických aspektov sa však vodík vyrobený z fosílnych palív - „šedý“ vodík bude určite využívať aj v prechodnom období. Tzv. šedý vodík,

ktorý je dnes najkonkurencieschopnejšou možnosťou, by mal do roku 2050 úplne zaniknúť, aby sa dosiahol cieľ 2. stupňa. Očakáva sa, že časom bude čoraz menej konkurencieschopný, pretože sa zvyšujú náklady na emisie CO a pred rokom 2040 dosiahnu vyššiu úroveň nákladov ako všetky nízkouhlíkové alternatívy.

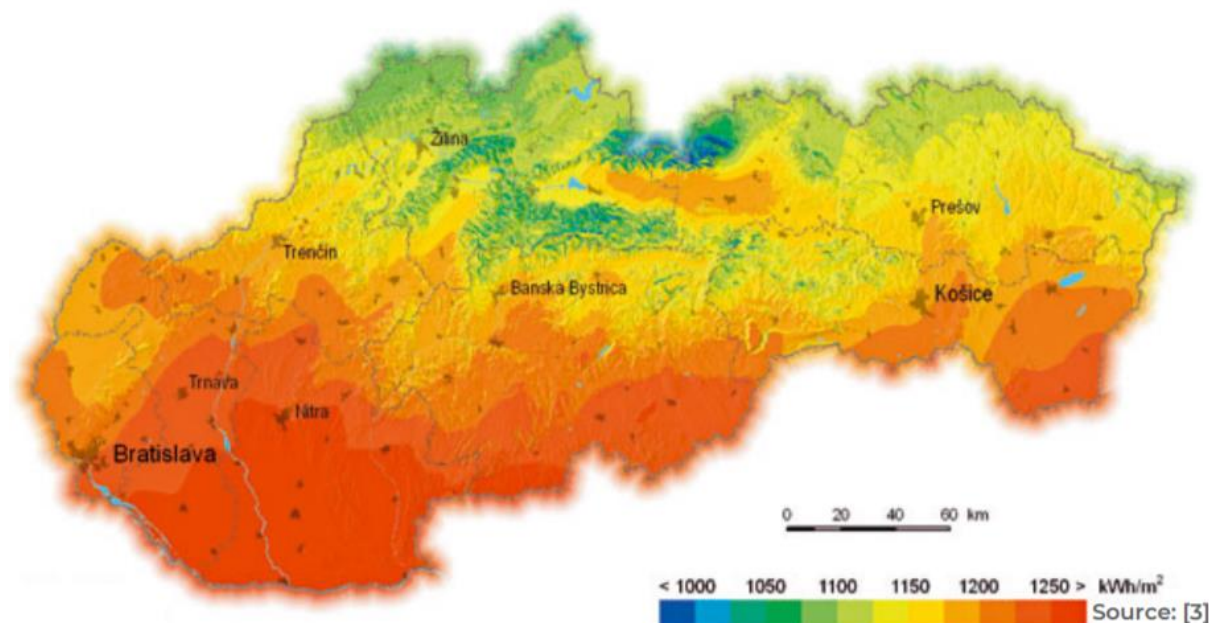
### Výroba vodíka z obnoviteľných zdrojov energie

Výroba vodíka pomocou obnoviteľných zdrojov energie (OZE) je daná geografickými a prírodnými charakteristikami regiónu. Tieto charakteristiky sú hlavnou hnacou silou pri výbere konkrétnych OZE a nákladovej efektívnosti výroby zeleného vodíka. Množstvo použitých OZE je súčasne dané environmentálnymi a technickými limitmi a prijatím verejnosťou. Všetky tieto špecifiká vytvárajú potenciál výroby zeleného vodíka v regióne. Posledné zistenia naznačujú, že rozšírenie vodíkových technológií bude najväčšou hnacou silou znižovania nákladov, najmä vo výrobe a distribúcii vodíka a výrobe systémových komponentov.

Toto zavedie významné zníženie nákladov skôr, ako sa bude brať do úvahy prípadný ďalší dopad technologických prelomov. Náklady na nízkouhlíkovú a/alebo obnoviteľnú výrobu vodíka sa v nasledujúcom desaťročí drasticky znížia až o 60%. To možno pripísať klesajúcim nákladom na výrobu elektriny z obnoviteľných zdrojov, rozširovaniu elektrolyzérových systémov a výstavbe lacných zariadení na skladovanie uhlíka.

### Fotovoltaické systémy výroby vodíka

Fotovoltaika (FV) má v KSK najväčší potenciál uplatnenia. Podľa mapy ožarovania má juh regiónu priemerný energetický výkon na  $\text{m}^2$  v rozsahu 1 000 - 1 200  $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ , ako je to znázornené na nasledujúcej mape.



Momentálne je inštalovaných okolo 100 MWp FV projektov s potenciálom zvýšiť túto kapacitu na 600 až 700 MWp v roku 2030 a 1500 MW v roku 2050 berúc do úvahy technologický pokrok vo fotovoltaike. V strednodobom až dlhodobom horizonte priemerné

náklady na výrobu energie touto cestou klesnú pod 50 eur za MWh, možno ešte nižšie, čo dovoľí byť výroba zeleného vodíka viac konkurenčným ako vodíku pochádzajúceho z fosílnych palív.

Nové FV systémy by sa mali umiestňovať na nepoľnohospodárskych pozemkoch a na budovách. Pomer účinnosti FV panelov sa zvyšuje, takže 1 MW nového FV zariadenia bude vyžadovať 12 000 až 15 000 m dostupného priestoru. Najväčší potenciál pre výrobu zelenej elektriny potrebnej pre zelený vodík majú obchodné budovy, výrobné a logistické budovy.

Znehodnotené pôdy, ako sú skládky, suché poldre, by sa vedeli využiť na stredné a veľké fotovoltické zariadenia, ktoré poskytnú energiu na výrobu zeleného vodíka. Technologické inovácie a inteligentné siete pre obytné budovy umožnia domácnostiam a komunitám stať sa aj výrobcom aj spotrebiteľom energie naraz, čo znamená, že budú vyrábať vodík pre vlastnú spotrebu pomocou FV systému na strechách domov. Pritom netreba zabúdať aj na riešenia, kde bude inkorporovaný aj záchyt a úprava dažďovej vody.

Najväčší potenciál pre nasadenie tzv. technológií "Power to Gas" majú veľké priemyselné oblasti ako EVO Vojany, US Steel Košice, Chemko Strážske s výhodným napojením na už existujúcu elektrickú a plynovú infraštruktúru. FV ako zdroj energie bude zohrávať hlavnú úlohu v skladbe obnoviteľných zdrojov energie v Košickom kraji.

#### Výroba vodíka z vetra

Využitie vetra ako zdroja energie na výrobu zeleného vodíka závisí od konkrétnych poveternostných podmienok. Košické údolie je známe stálym prúdením vetra. Najvhodnejšie veterné oblasti v rámci KSK sa nachádzajú na vrcholoch hôr a kopcov (rýchlosť vetra nad 7 m/s<sup>-1</sup>). V súčasnosti sa globálne využívajú turbíny s výkonom od 1 500 do 2 000 kW.

Z hľadiska využiteľnosti na výrobu veternej elektriny je však potrebné zohľadniť všetky chránené územia, najmä chránené vtáčie územia, územia európskeho významu NATURA 2000 a ďalšie chránené územia.

Potenciál Košického kraja je s prihliadnutím na environmentálne obmedzenia obmedzený na lokality s priemernou rýchlosťou vetra od 6 do 7 m/s<sup>-1</sup>, kde je potrebné podrobné posúdenie výberu technológie na zabezpečenie ekonomickej uskutočniteľnosti výroby zelenej energie.

Ďalším obmedzujúcim faktorom rozmiestnenia veterných turbín sú obytné oblasti, kde by minimálne vzdialenosti veterných turbín od obytných oblastí nemali byť menšie ako 7-násobok výšky turbíny, t.j. cca. 700 - 1 000 metrov.

Pre každú lokalitu je potrebné vypracovať podrobnú analýzu vplyvov na životné prostredie (EIA) vrátane podrobného posúdenia vetra ako efektívneho zdroja energie. Napriek týmto obmedzeniam predstavuje potenciál Košického kraja 30 - 50 veterných elektrární do roku 2030, čo znamená inštalovaný výkon 120 - 200 MW a so zvýšením technologickej efektívnosti inštalovaný výkon 500 MW do roku 2050.

Najrealizovateľnejším plánom je výstavba malých elektrolyzérů s výkonom 1 MW a „vodíkových veterných turbín“, v ktorých je do turbíny zabudovaný elektrolyzér, ktorý bezprostredne vyrába skôr vodík než energiu.

Samostatné malé turbíny s výkonom menším ako 100 kW sa zvyčajne využívajú pre obytné, poľnohospodárske a malé komerčné a priemyselné aplikácie. Malé turbíny je možné využiť v hybridných energetických systémoch s inými distribuovanými energetickými zdrojmi, akými sú mikrosiete napájané z batérií a fotovoltiky. Tieto systémy sa nazývajú hybridné veterné systémy a zvyčajne sa používajú na vzdialených miestach, kde nie je k dispozícii pripojenie k distribučnej sieti.

### Výroba vodíka z biomasy

Biomasa je organický materiál, ktorý obsahuje zvyšky poľnohospodárskych plodín, zvyšky z lesov, špeciálne plodiny pestované na energetické účely, tuhý organický komunálny odpad a živočíšny odpad. Tieto obnoviteľné zdroje sa môžu využiť na výrobu vodíka splyňovaním spolu s ďalšími vedľajšími produktmi. Splyňovanie biomasy je technologická cesta, ktorá využíva riadený proces zahŕňajúci teplo, paru a kyslík na premenu biomasy na vodík a ďalšie produkty bez spaľovania. Pretože rastúca biomasa odstraňuje oxid uhličitý z atmosféry, čisté emisie uhlíka pri tejto metóde môžu byť nízke, najmä ak sú spojené s technológiou zachytávania, dlhodobého využívania a skladovania.

Je úplne postačujúce, aby sa na prepravu biomasy do energetických centier využívali postupy bez uhlíkovej stopy, akými sú železničné vagóny alebo v budúcnosti vodíkové nákladné vozidlá, smetiarske vozidlá atď. Zmení to zmýšľanie obyvateľov, ktorí sa budú pozeráť na "čisté" smetiarske autá, pomáhajúce transformovať odpad na čistejšiu energiu, čo by malo pozitívny dopad na celú technológiu.

Vodíkové technológie, napr. palivové články ponúkajú spôsob, ako zmeniť záťaž pre životné prostredie na čistú a obnoviteľnú energiu, vrátane výroby vodíka, ktorý sa potom môže použiť v stacionárnych palivových článkoch alebo na iné účely, napríklad pre sektor dopravy. Medzi priemyselné produkty na báze palivových článkov patria rôzne druhy palivových článkov, ktoré sú schopné využívať rôzne palivá a suroviny, vrátane metánu, čistého vodíka a odpadového plynu zo zdrojov biomasy, inštalácie palivových článkov a zariadení na výrobu vodíka v čistiarnach odpadových vôd, generovanie elektriny a vodíka zo skládky. Namiesto horenia alebo spaľovania metánu je k palivovému článku pripojená čistiaca jednotka. Úpravou sa odstráni nečistota a potom sa metán odošle do palivového článku, kde vyrába čistú elektrinu, ktorá sa distribuuje do siete.

Kľúčovým faktorom pri využívaní biomasy na výrobu vodíka je vývoj technológií a nákladné zefektívnenie splyňovania biomasy. Pretože sa biomasa ako zdroj energie využíva na výrobu tepla (systém diaľkového a ústredného kúrenia), budú sa nové zdroje energie prevádzkovať ako energetické centrá na spracovanie biomasy rôzneho pôvodu a budú sa kombinovať zdroje tepla, elektriny a vodíka (alebo iného zeleného plynu). Tieto energetické centrá by sa mali budovať a prevádzkovať aj v blízkosti spotrebiteľov tepla, aby sa znížili straty z distribúcie. Vodík ako vedľajší produkt bude vyrovnávacím faktorom a bude sa využívať na skladovanie energie.

Trvalé požiadavky na spracovanie a separáciu komunálneho a priemyselného odpadu (zákaz vyvážania odpadu na skládky, obmedzený potenciál spaľovania odpadu) vyvolávajú potrebu vybudovať niekoľko takýchto „energetických centier na biomasu“ v celom Košickom kraji, najlepšie v blízkosti obcí, alebo spotrebiteľov tepla.

## Výroba vodíka z geotermálnych zdrojov

Geotermálna energia poskytuje cenovo dostupnú a čistú metódu výroby elektriny a poskytovania tepelnej energie. V tejto súvislosti sa využitie geotermálnej energie na výrobu vodíka môže ukázať ako efektívna voľba v budúcej vodíkovej infraštruktúre. Geotermálna energia ako jeden z najstarších zdrojov energie v Košickej kotline je pomerne ľahko dostupná a zatiaľ sa nevyužíva. Nachádza sa na viacerých miestach v blízkosti hlavného mesta Košického kraja, mesta Košice, a je považované za jedno z najvýdatnejších geotermálnych ložísk v strednej Európe. Odhadovaný energetický potenciál je okolo 1 200 MWt, pričom 300 MWt sa prakticky využíva priamo. Oblasť Ďurkov aj ďalšie geotermálne oblasti na východnom Slovensku sú nízko teplotné zdroje, preto je potrebné poskytnúť podrobnú analýzu ekonomickej a technickej uskutočniteľnosti.

Po zohľadnení súčasných cien technológie a elektriny na jednej strane a ceny vodíka na druhej strane sa ukazuje, že potenciál je obmedzený. Avšak pri výpočte dlhodobej analýzy cien elektriny a vodíka bude do desiatich rokov možná výroba zelenej elektriny z geotermálnych zdrojov. Časť tejto energie by sa mohla využiť v geotermálnej elektrárni na napájanie elektrolyzátorov, ktoré budú vyrábať vodík, a k dispozícii by mohli byť aj vodíkové stanice a zásobníky. V pilotnej demonštračnej fáze by to bolo možné skombinovať s ďalšími európskymi projektmi (vodíkové nákladné vozidlá, autobusy, letiskové obslužné automobily, bicykle atď.).

Vodík vyrobený elektrolyzou (iba elektrinou a vodou) spotrebuje približne 50 kWh elektrickej energie na kilogram vyrobeného  $H_2$ . Geotermálna energia sa na výrobu vodíka v súčasnosti využíva v Dánsku a na Islande. Podľa niektorých zdrojov môžu najnovšie technológie výroby  $H_2$  a jeho skvapalňovania pomocou geotermálnej pary viesť k zníženiu výrobných nákladov o 19%.

## Dovoz vodíka

Aj keď sa v Košickom kraji budú využívať všetky obnoviteľné zdroje energie, množstvo vodíka potrebné na uspokojenie dopytu po tejto komodite v priemysle, energetike a doprave bude vyššie. Košický kraj má obmedzený potenciál na využitie obnoviteľných zdrojov energie a zároveň veľkí priemyselní spotrebitelia alebo sektor dopravy budú potrebovať veľké množstvo vodíka pre svoje výrobné procesy, ak sa preň rozhodnú. Oblasť, ktoré majú prístup k obnoviteľným zdrojom energie z vetra aj zo slnka pri znížených nákladoch na energiu (LCOE), akými sú Ukrajina, Rumunsko a Bulharsko, poskytujú vysoké koeficienty účinnosti pre výrobu vodíka elektrolyzou. Ponúkajú tak optimálny potenciál na výrobu obnoviteľného vodíka pri minimálnych nákladoch. Za týchto optimálnych podmienok by mohla byť výroba vodíka dostupná na začiatku roku 2022 s nákladmi okolo 2,50 eur na kg, ktoré by poklesli na 1,90 eur na kg v roku 2025 a možno až na 1,20 eur na kg v roku 2030. Je to hlboko pod priemerom šedého vodíka a dokonca sa blíži parite s optimálnymi nákladmi na šedý vodík v roku 2030, ak sa zohľadnia náklady na  $CO_2$ , ktoré sú dané rozsahom pri výrobe elektrolyzátorov, väčších systémoch a lacnejších obnoviteľných zdrojoch.

Na výrobu vodíka pomocou nízkouhlíkových technológií zo zemného plynu so zachytávaním a skladovaním uhlíka (CCS) existujú dve technologické možnosti: reformácia pár metánu (SMR) a autotermálne reformovanie (ATR). SMR kombinuje zemný plyn a tlakovú paru za vzniku syntézneho plynu, ktorý je zmesou oxidu uhoľnatého a vodíka. Poskytovatelia môžu ľahko zachytiť asi 60% celkového uhlíka oddelením  $CO_2$  od vodíka;

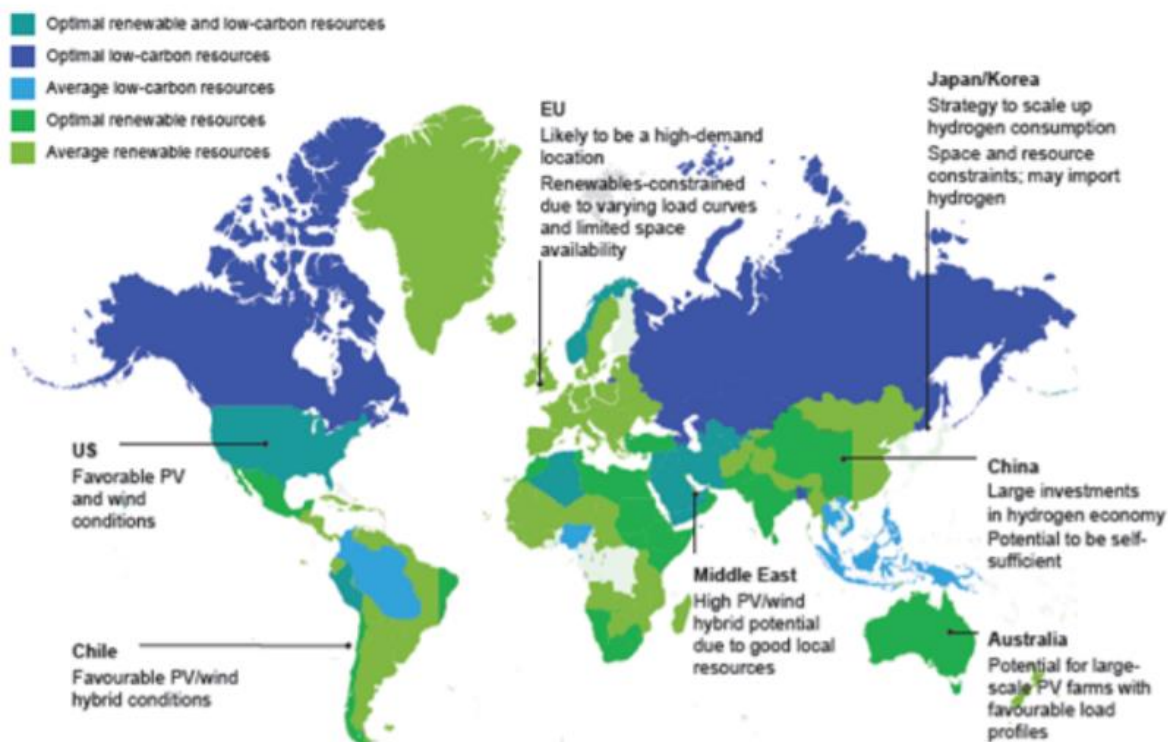
d'alší sa musí extrahovať z výfukových plynov, ktoré sú dnes pomerne drahé a umožňujú až 90% celkovej rýchlosti zachytávania. ATR kombinuje kyslík a zemný plyn za vzniku syngasu. Tento proces môže ľahko zachytiť až 95% emisií CO<sub>2</sub>. Technológia ATR sa zvyčajne využíva vo väčších závodoch v porovnaní s technológiou SMR.

Splyňovanie uhlia na Ukrajine produkuje vodík reakciou uhlia s kyslíkom a parou, čo rovnako ako závod ATR umožňuje pomerne ľahký záchyt CO<sub>2</sub>. Avšak zariadenie na splyňovanie uhlia emituje asi štyrikrát viac CO<sub>2</sub> na kg vyrobeného vodíka ako zariadenie ATR, čo zvyšuje množstvo uhlíka, ktoré sa musí prepravovať a skladovať.

Košický kraj a Slovensko majú obmedzené zdroje na lokálnu výrobu nízkouhlíkového alebo obnoviteľného vodíka. Na druhej strane majú kraje ambiciózne plány stratégie dekarbonizácie, ktoré si budú vyžadovať vodík; ak sú miestne výrobné náklady príliš vysoké, alebo nie sú schopné uspokojiť dopyt, môžeme sa stať dovozcami vodíka. Nasledujúci obrázok (Výroba vodíka v regiónoch) ukazuje, kde sa predpokladá, že vodík z reformovania plus CCS ako nízkouhlíková technológia a obnoviteľný vodík z elektrolýzy sa stanú nákladovo konkurencieschopnými.

## Obrázok Hydrogen production potential across regions

### Best source of low-carbon hydrogen in different regions



Šedý vodík, ktorého výroba je dnes najkonkurencieschopnejšou voľbou, by sa mal do roku 2050 úplne ukončiť, aby sa dosiahol cieľ 2. stupňa. Očakáva sa, že časom bude čoraz menej konkurencieschopný, pretože sa zvyšujú náklady na emisie CO<sub>2</sub> a pred rokom 2040 budú úrovne nákladov vyššie ako všetky nízkouhlíkové alternatívy.



Vďaka svojej strategickej polohe na hranici s Ukrajinou môže KSK zohrať významnú úlohu pri dovoze zeleného a "nízkouhlíkového" vodíka na Slovensko a do EÚ. Vodík ako nosič energie by mohol čiastočne nahradiť zemný plyn v sústave tranzitu a distribúcie plynu, pričom momentálne intenzívne prebiehajú výskumné úlohy spojené so spoludistribúciou vodíka a zemného plynu. Vo svete bolo zatiaľ viacerými testami overená zmes s obsahom do 20% vodíka, ktorá by mala byť bezpečná. Ďalším spôsobom distribúcie vodíka je nosič kvapalného organického vodíka (LOHC), ktorý sa obvykle prepravuje na veľké vzdialenosti vlakmi. S klesajúcou úlohou uhlia v energetike a priemysle v EÚ, ktorá je v súlade s cieľmi dekarbonizácie, bude potrebné prispôsobiť terminál intermodálnej dopravy v Čiernej nad Tisou tak, aby sa zmenila preprava z uhlia na prepravu LOHC.

Vodík ako univerzálny nosič energie zohráva dôležitú úlohu pri spájaní sektorov a môže byť nástrojom na poskytovanie doplnkových služieb. V súčasnosti v Košickom kraji tieto služby poskytuje hlavne EVO Vojany, obrovský potenciál majú spoločnosti US Steel s.r.o., Chemko a.s, Duslo a.s. a ďalšie veľké podniky, ktoré však musia investovať do inovácií spolu s podporou EÚ. Väčšina týchto zdrojov energie využíva fosílna palivá alebo materiály náročné na uhlík ako primárne zdroje energie. Na dosiahnutie cieľov dekarbonizácie do roku 2030 a nulového uhlíkového hospodárstva do roku 2050 by bolo využívanie vodíka pri poskytovaní doplnkových služieb pre distribučnú sústavu a požadované množstvo energie na bezemisnú dopravu jednou z niekoľkých alternatív. [Hegeduš]

Na území Košického kraja by bolo vhodné, aby zelené aktivity začali aj významné spoločnosti pôsobiace v oblasti výroby plynu a elektriny, a to SPP distribúcia a.s., Nafta a.s., Slovenské elektrárne a.s., ktoré by sa mali aktívne podieľať na transformačnom procese. V správe Slovenských elektrární a.s. sa nachádza uhoľná elektráreň Vojany, jeden z uhlíkovo najnáročnejších výrobcov elektriny v kraji. Víziou všetkých zainteresovaných by mala byť transformácia tejto elektrárne na výrobu zeleného vodíka a následné uskladnenie v zásobníkoch (napr. Nafta a.s.) a distribúcia potrubiami (SPP-D a.s.) v blízkosti elektrárne. Za týmto účelom je však potrebné najskôr posúdiť všetky okolnosti, vypracovať víziu a stratégiu, ako aj vyhodnotiť prekážky a riziká tejto transformácie. Z tohto dôvodu je potrebné aby aj Košický samosprávny kraj vstúpil do tohto partnerstva, ako je to pri takýchto projektoch v Holandsku, Nemecku, Francúzsku.

## Kapitola 2: Distribúcia a uskladnenie

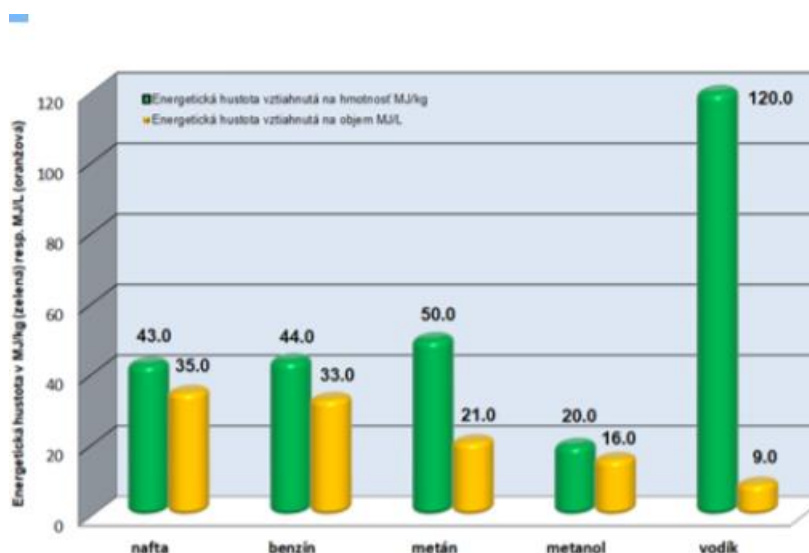
Vzhľadom na to, že atóm vodíka je najmenším atómom v periodickej sústave prvkov, a vo forme plynu tvorí molekulu, má tendenciu unikať a môže poškodzovať niektoré kovové časti systémov, akými sú potrubia, ventily atď. V tekutej forme predstavuje problém s bezpečnosťou v dôsledku vznikajúcej nízkej teploty, pričom je vždy dosť chladný na to, aby zamrzol vzduch, a na súčiastkach sa často vytvára ľad, ktorý môže neskôr spôsobiť koróziu. Rozhodnutie v strategickom pláne už bolo prijaté, je však potrebné dbať na výber materiálov, aby sa zabezpečila kompatibilita s vodíkom. Jednou z najslubnejších ciest prispievajúcich k rozvoju vodíka je elektrochemické skladovanie z obnoviteľnej energie.

Vodíkové technológie sú sľubnou alternatívou pri prechode na čistú energiu, vodík je atraktívnym palivom pre ťažké vozidlá, nákladné automobily, autobusy, vlaky, roboty, drony atď. poháňané palivovými článkami, ale preprava a skladovanie vodíka je stále náročná.

Aj keď pre mnoho materiálov vo vysokotlakových vodíkových aplikáciách už existuje databáza materiálov, nie všetky prípady obsahujú komplexné údaje z výrobného procesu, akými sú mikroštruktúra, parametre zvarovania, tepelné spracovanie na jednej strane a na druhej strane úplne chýbajú dlhodobé skúsenosti s degradáciou a únavovou životnosťou, hlavne pre nové pokročilé materiály. Z tohto nedostatku skúseností a novodobých pretekoch pri vývoji lacnejších nových materiálov je potrebná intenzívna pomoc viacerých univerzít (TUKE, UPJŠ, STU atď.), výskumných ústavov Slovenskej akadémie vied, to všetko v úzkej spolupráci s priemyselnými partnermi.

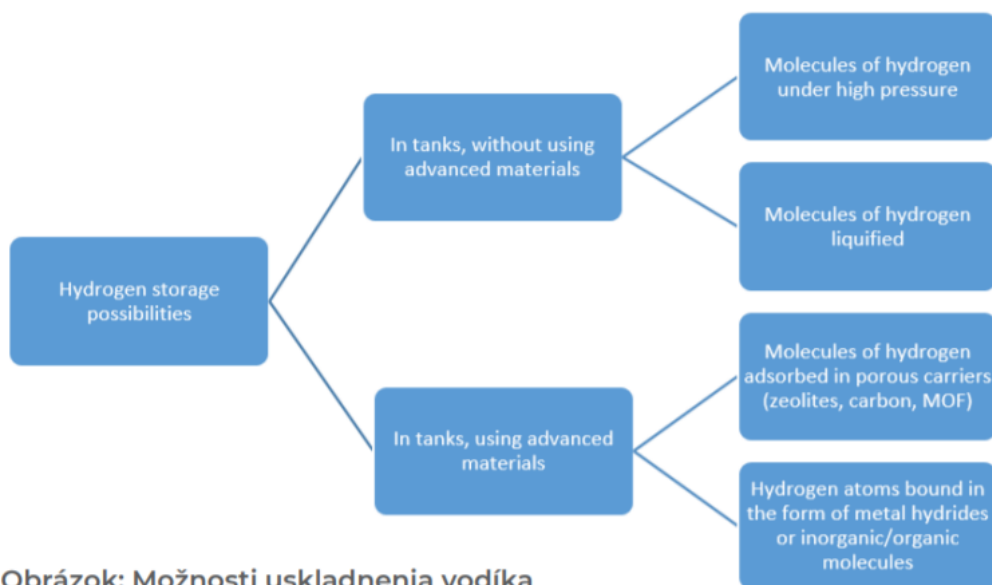
## Skladovanie vodíka

Vodík ako najľahšia existujúca molekula má veľmi nízku hustotu. 1 kg plynného vodíka, zaberá približne 11 m<sup>3</sup> pri normálnej izbovej teplote a atmosférickom tlaku. Zaberá teda veľký objem pri veľmi nízkej hmotnosti. Z energetického hľadiska je využitie vodíka účinné iba vtedy, ak je jeho skladovacia kapacita vysoká. Obrázok (Hustota energie na hmotnosť) vysvetľuje tento jav. Porovnáva, koľko energie môžeme získať z konvenčných palív (benzín, nafta atď.) a ich porovnanie s vodíkom. Je zrejmé, že ak vezmeme 1 liter týchto palív (oranžové stĺpce v grafe), použitie vodíka nie je zaujímavé, pretože tým dostaneme menej energie na ten istý objem.



Situácia sa úplne zmení, keď vezmeme do úvahy hmotnosť. Z 1 kg vodíka získame podstatne viac energie ako z iných zdrojov (zelené pruhy v grafe). Pri vývoji materiálov a technológií na skladovanie vodíka je preto potrebné pozerieť sa najmä na to, koľko vodíka je možné skladovať.

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. Grafické rozdelenie rôznych prístupov k skladovaniu vodíka je znázornené na obrázku (Možnosti skladovania vodíka). Žiadna z týchto metód nemusí byť univerzálna a nemusí uspokojiť všetky potreby budúcej ekonomiky založenej na vodíku. V tejto oblasti je potrebných viac výskumných a vývojových aktivít, pričom hlavnou výzvou je v súčasnosti schopnosť skladovať vodík bezpečne, ekonomicky, ekologicky a v dostatočnom množstve.



Obrázok: Možnosti uskladnenia vodíka

Uskladnenie vodíka ako stlačeného plynu je najjednoduchšou, najprirodzenejšou a najhospodárnejšou možnosťou. Ide o stlačenie vodíka do tlakových nádob pomocou kompresorov. Je to v podstate analógia s tým, ako sa dnes vodík bežne distribuuje pomocou valcov. 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).

Zvyšovanie tlaku vedie k väčšiemu množstvu uloženého plynu, a tým sa dosahuje aj vyššia hustota energie. Hustota vodíka pri atmosférickom tlaku (1 bar) pri 20° C je približne 0,084 kg.m<sup>-3</sup>. Keď sa pri rovnakej teplote zvýši tlak na 100 bar, hustota stúpne na 7,8 kg.m<sup>-3</sup>, pri 300 baroch je to už 20 kg.m<sup>-3</sup> a napríklad pri tlaku 700 bar takmer 40 kg.m<sup>-3</sup>.

Medzitým sa táto metóda uskladnenia 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. Na zaistenie vysokej hustoty energie a následne dojazdu automobilov je potrebný vysoký tlak. Pri tlaku 700 bar sa dojazd automobilov s palivovými článkami pohybuje okolo 600 km. Komerčné príklady takýchto automobilov pochádzajú hlavne z Ázie, napríklad Honda Clarity, Hyundai NEXO, Toyota Mirai, ale aj európske automobilky ako BMW, Mercedes atď. pracujú na vývoji a trhovej realizovateľnosti.

V prípade rozsiahleho uskladnenia vodíka sa v súčasnosti skúma možnosť podzemného skladovania v podzemných dutinách (obdobne ako skladovanie zemného plynu v podzemí, v geologických útvaroch). Tento spôsob skladovania, aj keď je výhodný, sa viaže na konkrétne podmienky, zvyčajne na soľné jaskyne, ktoré sa nachádzajú iba na niektorých miestach na planéte.

Okrem zváženia bezpečného a dlhodobého skladovania veľkého množstva vodíka ako nositeľa energie boli zamýšľané aj nové poznatky o generovaní „zeleného“ syntetického metánu technológiou Power-to-Gas, pretože niektoré baktérie môžu produkovať metán

metabolickými procesmi z vodíka a oxidu uhličitého. Ale túto myšlienku vo veľkom rozsahu je potrebné najskôr ekonomicky dokázať na malých pilotných projektoch.

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 dvojitém plášťom majú rýchlosť odparovania menej ako 0,1% za deň. V takýchto nádržiach je možné uskladniť niekoľko stoviek ton tekutého vodíka. Možno nebude racionálne predpokladať použitie kvapalného vodíka v automobiloch alebo nákladnej doprave, ale napriek spotrebe energie je skvapalnený vodík vhodnou formou na jeho prepravu na miesto použitia, napríklad do čerpacích staníc.

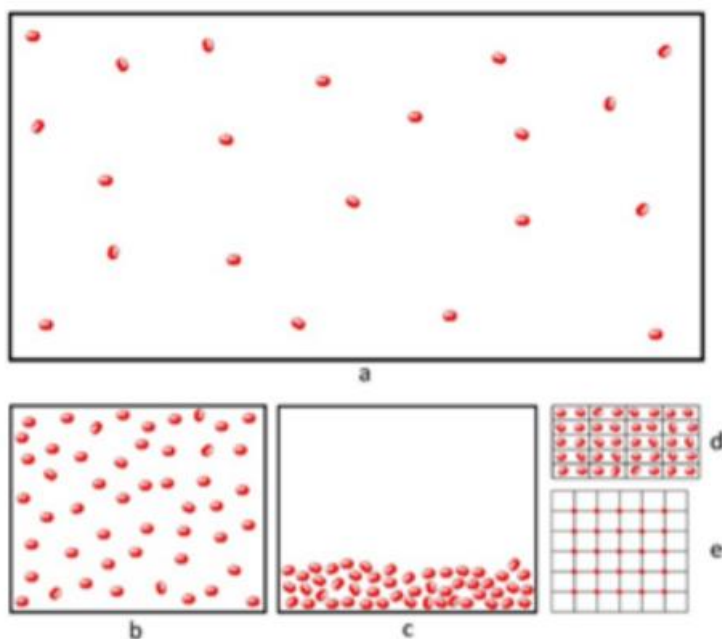
Adsorpcia vodíka v poréznych nosičoch je založená na slabých intermolekulárnych interakciách (takzvaných van der Waalsových silách) medzi molekulárnym vodíkom a poréznym materiálom s veľkým špecifickým povrchom. Kľúčom je veľmi vysoký špecifický povrch. Moderné porézne materiály môžu mať povrch niekoľko tisíc m<sup>2</sup> na gram nosiča. Fenomén adsorpcie teda vedie k „pripojeniu“ molekúl vodíka k povrchu a v póroch pórovitého materiálu. Týmto spôsobom sa dá vodík skladovať veľmi efektívne a s vysokou hustotou. Množstvo molekúl vodíka v poréznom materiáli môže byť vyššie pri vysokom tlaku. Názorný príklad použitia pórovitých materiálov na skladovanie vodíka je na obrázku (Porézne materiály na skladovanie vodíka). Ak je nádoba naplnená pórovitým materiálom, je možné do nádoby vstreknúť niekoľkonásobne viac plynu v porovnaní so vstrekaním pri rovnakom tlaku ako prázdnej nádoby.



Obrázok: Porézne materiály pre skladovanie vodíka

Modelové znázornenie molekúl vodíka v rôznych podmienkach:

- Molekuly vodíka v uzavretej nádobe pri normálnej izbovej teplote a atmosférickom tlaku
- Molekuly vodíka stlačené v tlakovej nádobe pri vysokom tlaku
- Molekuly vodíka v tekutom stave
- Atómy
- Molekuly vodíka adsorbované v poréznom materiáli



Obrázok: Uskladnenie molekúl vodíka

Ďalšou kategóriou materiálov, ktoré sú predmetom výskumu na uskladnenie vodíka, sú hydridy (kovové aj nekovové). V týchto látkach je vodík integrovaný priamo do štruktúry tuhých látok a vytvára silnú väzbovú interakciu s touhou látkou vo forme chemickej sorpcie. Pri príprave hydridov sa teda molekula vodíka štiepi na atómy a tieto atómy sa následne viažu chemickou (iónovou) väzbou na atóm kovu (napr.  $\text{MgH}_2$ ) alebo sú prítomné v intersticiálnych polohách vo vnútri intermetallickej hydridovej štruktúry.

#### Kovové hydridy

Vhodnú chémiu na uskladnenie vodíka spĺňa  $\text{MgH}_2$  a  $\text{AlH}_3$ , ktoré sú ľahké a obsahujú zaujímavé gravimetrické množstvá vodíka, ktoré sa dajú takto uchovať. Majú dosť odlišné vlastnosti. Zlúčenina  $\text{MgH}_2$  (schopná ukladať 8 hmotn. %  $\text{H}_2$ ) je schopná reverzibilnej desorpcie/sorpcie vodíka. Má to však nevýhodu, že na uvoľnenie vodíka je potrebná pomerne vysoká energia (asi  $75 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ), a teda sa vodík uvoľňuje zo zlúčeniny pri teplotách asi  $300^\circ\text{C}$ .

Adsorpcia vodíka v intermetalických hydridoch bola objavená okolo roku 1960 a prvé aplikácie sa začali využívať na skladovanie vodíka asi o 10 rokov neskôr. Intermetalické hydridy sa už komerčne využívajú na výrobu elektriny (batérie NiMH) a na pohon pohonov banských vozidiel alebo v moderných ponorkách.

Hmotnosť vodíka uloženého (gravimetrická kapacita) v intermetalických hydridoch je relatívne nízka, zvyčajne menej ako 2% hmotnostných. Objemové kapacity sú porovnateľné s inými materiálmi a pre niektoré materiály môžu dosiahnuť až  $65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Napríklad teplota desorpcie pri atmosférickom tlaku je asi  $12^\circ\text{C}$  pre zliatinu  $\text{LaNi}_5\text{H}_{6.5}$  (1,49% hmotn. Kapacity H) a až asi  $30^\circ\text{C}$  pre zliatinu  $\text{ZrNiH}_3$  (1,49% hmotn.%). Nevýhodou intermetalických hydridov je zatiaľ ich vysoká cena.

Poslednou skupinou sú bežné chemické zlúčeniny, chemické hydridy, akými sú metanol, amoniak, kyselina mravčia alebo rôzne kvapalné uhľovodíky.

Zistili sme, že z hľadiska uskladnenia vodíka v rámci Košického samosprávneho kraja má potenciál napr. spoločnosť Zeocem Bystré, a.s., ktorá sa zaoberá ťažbou a spracovaním zeolitových minerálov ako jedného z kandidátov na efektívne uskladnenie vodíka. Zeolity, ktoré za normálnych okolností neabsorbujú značné množstvo vodíka, s malou prísadou Pd alebo iónovou výmenou vykazujú lepšie vlastnosti pri adsorpcii vodíka. Zeolity s výmenou iónov Mg majú vysokú adsorpčnú kapacitu pre vodík, až 6,2 hmotn.%, čo sa vysvetľuje jeho zapuzdrením v póroch zeolitu. [Zeleňák].

## Preprava vodíka

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. To si vyžaduje vyššie prietoky plynu. Ale...

Odhaduje sa, že na prepravu vodíka potrubím je potrebných asi 4,6-krát viac energie ako na prepravu zemného plynu. Okrem toho dochádza počas prepravy k značným stratám energie, približne 10% na každých 1 000 km. Holandsko v súčasnosti skúma najrobustnejší a najlacnejší spôsob prenosu elektriny cez molekuly vodíka k veľkým používateľom. Nakoniec sa to zdá byť lacnejšie ako preprava elektriny cez káblové rozvody. TNO už testuje existujúcu infraštruktúru pobrežných a severomorských plynovodov na prepravu 100% vodíka.

Okrem potrubia sa môže vodík prepravovať aj v tlakových nádobách s tlakmi do 350 bar alebo alternatívne vyšším tlakom. V prípade masívneho zavedenia vodíkových technológií s predpokladanou vyššou spotrebou vodíka by však takáto distribúcia bola neekonomická. Preto je potrebné zvládnuť všetky vedomosti a spojiť sily, aby bola potenciálna distribúcia pomocou potrubnej infraštruktúry bezpečná. Toto je momentálne predmetom testovania FMMR TUKE a SPP-Distribúcie.

Alternatívou môže byť transport kvapalného vodíka. Aj keď je skvapalnenie proces, ktorý je časovo a energeticky náročný a prebieha pri teplote  $-253^{\circ}\text{C}$ , 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.

Kvapalný vodík sa ťažko odparuje, ale v súčasnosti sa vyvíjajú veľkokapacitné vákuovo izolované viacvrstvové nádrže pre nákladné automobily, vagóny alebo lode, ktoré majú minimálny odpar. Cestná preprava kvapalného vodíka sa v súčasnosti vykonáva v cisternách, ktoré môžu mať objem viac ako 60 000 litrov.

Alternatívou v blízkej budúcnosti bude preprava vodíka viazaného v zlúčeninách, napríklad molekulárnych hydridoch uvedených vyššie a v kapitole Výskum a inovácie.

## Aké je riešenie pre Košický kraj?

Pravdepodobnou perspektívou vo vývoji vodíkových technológií je, že výroba vodíka musí byť decentralizovaná a potenciál prírodných zdrojov energie sa musí plne využívať na regionálnej úrovni, ako napríklad budovanie elektrolyzérův v tesnej blízkosti jazier, geotermálne elektrárne na výrobu energie na elektrolyzu atď. Napríklad sa predpokladá, že čerpacie stanice vodíka, ktoré sa majú použiť na prepravu (vozový park autobusov, nákladných automobilov, smetiarskych vozidiel, kvadrokoptér, bicyklov, policajných vozidiel

atď.) budú mať integrovanú aj vyššie uvedenú výrobu vodíka, či už elektrolyzou vody alebo parným reformovaním minimalizujúcim fyzickú prepravu vodíka v nádržiach. Ďalším riešením je v budúcnosti využiť existujúcu infraštruktúru na prepravu plynu a tzv. mikrogrid siete v domácnostiach, ktoré fungujú autonómne.

Praktické riešenia je možné dosiahnuť v spolupráci univerzít TUKE, UPJŠ, Slovenskej akadémie vied, kde všetci partneri využívajúci najnovšiu high-tech infraštruktúru v konzorciu akým je Centrum Promatech (Centrum progresívnych materiálov a technológií) a vlastníkov plynárenskej distribučnej infraštruktúry SPP Distribúcia, a.s. alebo aj výrobcov nákladných vagónov ako Tatravagónka a.s. Je potrebný ďalší výskum a vývoj v tejto oblasti, ktorý by pomohol rýchlejšej a bezpečnej implementácii vodíkových technológií s vysokou pridanou hodnotou pre kraj.

### Spoludistribúcia vodíka v plynárenskej infraštruktúre

Niekoľko testov vykonaných v západných krajinách EÚ preukázalo potenciál zmesí s obsahom až 20% obj.  $H_2$  pri distribúcii zemného plynu. Hlavnými obmedzeniami pre vyšší obsah vodíka sú koncové spotrebiče a bezpečnostné charakteristiky zmesi dvoch plynov (metán a vodík), ktoré sa môžu líšiť od jednotlivých charakteristík týchto dvoch plynov. Ďalším obmedzením sú ocelové potrubia, kde môže dôjsť k vodíkovému krehnutiu v samotnom materiáli a vo zvaroch. Vďaka malej molekule  $H_2$  môže dôjsť aj k vyššej miere úniku z potrubí, zvarov, armatúr a tvaroviek. Na druhej strane sa plastové potrubia (väčšina miestnych sietí v mestách) považujú za schopné prepravovať 100% vodík (a teda každú zmes s metánom), čo zvyšuje zreálnenie možností budúcej prepravy obnoviteľných plynov. Malo by však existovať komplexné testovanie a demonštračné projekty na skutočnej infraštruktúre, ktoré by sa mali vykonať najskôr na overenie výsledkov v zahraničí a na druhej strane na zvýšenie povedomia verejnosti a všeobecného prijatia budúcich používateľov bezpečnej, čistej a udržateľnej energie.

## Kapitola 3: Oceliarsky priemysel

### Zelená oceľ

Na trhu už existujú technológie, ktoré využívajú vodík na výrobu kovov, najčastejšie v súvislosti s výrobou ocele.

Postupne sa vyvíjajú a zdokonaľujú procesy založené na MIDREX a HYL, ktoré využívajú redukčné plyny založené na  $H_2$  a  $CO_2$  vyrobené reformingom zemného plynu. Cieľom nových technológií v dnešnej dobe je zvýšiť podiel vodíka (asi 60 - 70%) v redukčnom plyne pri syntéze až po použitie čistého vodíka (99,9%) v redukčnom procese železných rúd a peliet.

Oceľ vyrobená staromódny tradičným spôsobom je založená na prevádzke vysokých pecí (BF) a primárnych pecí s kyslíkovým konvertorom (BOF), ktoré emitujú okolo 1,8 tony  $CO_2$  na tonu ocele v porovnaní so spôsobom výroby surového železa založeným na prevádzke pecí s elektrickým oblúkom (EAF) emitujúce 0,3 tony  $CO_2$  na tonu ocele. Ďalšou možnosťou je použiť techniku priameho redukovaného železa (DRI) s emisiou asi 0,6 tony  $CO_2$  na tonu ocele. Ale vzhľadom na obmedzenú dostupnosť a množstvo vhodného šrotu a tiež na niektoré

známe problémy s nahradzovaním koksu biomasou sa vývoj technológií na ukladanie uhlíka (CCS) stáva veľmi aktuálnym a v súčasnosti je predmetom intenzívneho vývoja.

Jedným z elegantných riešení na zachytávanie uhlíka je bioreaktor na riasy, ktorý absorbuje CO<sub>2</sub> 400x účinnejšie ako stromy. Prostredníctvom procesu fotosyntézy nasáva vodná rastlina riasy CO<sub>2</sub>, vodu a slnečné svetlo na výrobu energie. Prirodzene, tieto druhy rastlín využívajú túto energiu na množenie a neskoršiu premenu na inú formu energie. Vedci experimentujú so spôsobmi, ako zachytiť CO<sub>2</sub> a premeniť ho namiesto toho na biopalivo.

Je zrejmé, že oceliarsky priemysel čelí dramatickej transformácii z energetického a klimatického pohľadu a jediným spôsobom je výskum praktických spôsobov znižovania emisií CO<sub>2</sub> dostupnými obnoviteľnými zdrojmi energie. Jeden z príkladov sa momentálne realizuje v rámci projektu H2Future v oceliarni v Linzi v rakúskom Voestalpine. Tu bola nainštalovaná a sprevádzkovaná protónovo-výmenná membrána (PEM), rozsiahly 6M PEM elektrolyzér. V tomto projekte globálni priemyselní partneri úzko spolupracujú s univerzitnými výskumnými centrami a študujú opakovateľnosť experimentálnych výsledkov vo veľkom meradle v modeli EÚ 28.

Aké je riešenie pre Košický kraj?

Z pohľadu Košického samosprávneho kraja pri napĺňaní ambiciózneho klimatického plánu je rozhodujúce, že aj globálna oceliarska spoločnosť US Steel s.r.o. pôjde do popredia s ambicióznym plánom implementácie masívnych inovácií, čiastočne vo výrobe ocele, ktorá je veľmi nákladná a má vyššie investičné riziko, aj v oblasti energetickej bilancie, využívania obnoviteľných zdrojov, uskladnenia v batériách a výmeny uhlíkových zdrojov. V každom prípade je potrebné brať v úvahu dosatočný vodný zdroj pre veľkokapacitný elektrolyzér (až 2000 m<sup>3</sup> za hod), príp. uplatňovať účinné procesy zachytávania uhlíka. Oceliarsky priemysel vynakladá enormné finančné čiastky na emisie CO<sub>2</sub> a vodíkové technológie sú pre nich aj pre univerzitných partnerov výzvou, ako spoľahlivo zlepšiť kvalitu života občanov v Košickom kraji prostredníctvom implementácie inovatívnych projektov zo zdrojov EÚ. Jedným z existujúcich riešení je použitie elektrolyzérov, ako napr. špeciálny pre oceliarske spoločnosti s výkonom až 1,2 MW (fy. Salzgitter).

Demonštračné projekty a pilotné štúdie na výrobu ocele bez fosílnych palív sa uskutočnili v oceliarskych spoločnostiach s vysokou inovatívnou schopnosťou, nap. vo Švédsku (projekt HYBRIT) a vo vyššie spomenutom projekte v Rakúsku (H2Future). Hlavným cieľom je nahradiť koksovateľné uhlie, ktoré je tradične potrebné na výrobu ocele na báze rudy, vodíkom.

Vývoj týchto technológií však závisí od ich ekonomických požiadaviek, ako aj od inovačnej stratégie spoločností. Z hľadiska týchto technológií je ideálne vyrábať vodík v mieste spotreby, alebo sa doprava zabezpečí plynárenskou infraštruktúrou, príp. ak bude aj možnosť uskladnenia miestne dostupná a štandardná.

Na základe informácií v nasledujúcej kapitole Jadrový a chemický priemysel je ďalším príkladom využitia energie z jadrovej elektrárne na výrobu vodíka a následné využitie vodíka na priamu redukciu železných rúd. Tento režim už funguje v rýchlo sa rozvíjajúcich krajinách, akými sú India a Čína. Inovatívny proces sa nazýva proces „sírajód“ a v blízkej budúcnosti sa bude uvažovať o jeho ekologickej výrobe v oceliarskom priemysle s cieľom znížiť množstvo rudy.



## Digitalizácia a ďalšia generácia hybridných inžinierov v oceliarstve

Každá nová masívne komercializovaná technológia musí byť bezpečná. Vidíme, že aj najnovšie IT technológie ako rozšírená (AR) a virtuálna realita (VR), umelá inteligencia (AI), resp. strojové učenie zlepši tréningový proces nových hybridných inžinierov.

Veľmi dôležité je školenie v témach, akými sú simulácie procesov, predpovedanie efektívnosti procesov a otázky bezpečnosti týkajúce sa aplikácií vodíkových technológií. V spolupráci s jednou začínajúcou spoločnosťou v Univerzitnom vedeckom parku na TUKE plánujeme pripraviť školiaci kurz pre študentov, operátorov a nových vodíkových inžinierov s využitím modelovej situácie založenej na virtuálnej realite.

Poskytne lepšie povedomie o situácii priamo na virtuálnych staveniskách počas simulovaných nehôd časti systému, potenciálneho zlyhania komponentov a realizácie servisnej činnosti atď. Výhodou je, že sa môžu pridať opisné textové a vizuálne informácie pre účastníkov prostredníctvom inteligentných okuliarov, alebo náhlavných súprav na zvýšenie ich schopnosti vykonávať činnosti.

Ďalším spôsobom, ako prilákať a efektívne vzdelávať mladú generáciu, je použitie humanoidného robota AI vybaveného terabajtmi informácií o vodíkových technológiách, teórii, aplikáciách, manuáloch, legislatíve atď. Tento prístup sa použije v procese výučby na rôznych stupňoch škôl, od základných škôl, gymnázií, univerzít, ale aj na odborných fórach, vedeckých podujatiach, akými sú workshopy a konferencie, na interakciu s účastníkmi a zhromažďovanie a zodpovedanie otázok, vypísanie dotazníka s okamžitou analýzou výsledkov atď.

Digitalizácia využívaním umelej inteligencie, strojového učenia, rozšírenej a virtuálnej reality na školenie má v oceliarskom priemysle s využitím vodíkových technológií osobitný význam a môže prilákať mladú generáciu budúcich inžinierov do novej nízkouhlíkovej éry. Potenciál je však obrovský pri aplikácii vodíkových technológií aj v iných priemyselných odvetviach. [Halama, Novákova]

## Kapitola 4: Jadrová energetika a chemický priemysel

### Jadrový a chemický priemysel

Mnoho prebiehajúcich projektov v celej Európe bolo zameraných na demonštráciu možností výroby a aplikácií vodíka. Na týchto projektoch je zaujímavé to, že dokazujú, že vodíková ekonomika vyrobená z obnoviteľných zdrojov energie je uskutočniteľná, a preto budúcnosť vodíkovej ekonomiky spočíva v znižovaní nákladov na tieto technológie. Mnoho aplikácií už funguje a stále sa vylepšujú. V súčasnosti sa vodík používa predovšetkým v chemickom priemysle na výrobu amoniaku, metylalkoholu ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), kyseliny dusičnej ( $\text{HNO}_3$ ), chlorovodíka ( $\text{HCl}$ ) a v petrochemickom priemysle na rafináciu oleja. V súčasnosti sa až 93% vodíka na svete termochemicky vyrába z fosílnych palív (hlavne zemného plynu a uhlia), ktoré obsahujú uhlíkovodíky. Približne 3% vodíka sa vyrábajú z biomasy a odpadových plynov. Elektrolýza vody v súčasnosti produkuje asi 4% vodíka (2020). Očakáva sa, že pri termochemických procesoch sa parné reformovanie najčastejšie

bude využívať na výrobu vodíka, ktorý spočíva v štiepení (reformovaní) uhl'ovodíkov z palív vodnou parou, kyslíkom a vzduchom.

Amoniak by v prípade potreby mohol slúžiť ako chemikália na skladovanie energie pre zelenú elektrinu. Môže sa rozdeliť na  $H_2$  a  $N_2$  a premeniť sa späť na energiu v palivových článkoch. Ak sa však výroba vyrába zo zdrojov obsahujúcich uhlík, musia sa implementovať aj technológie na zachytávanie uhlíka. Vedci v súčasnosti skúmajú takýto pilotný závod v Nemecku (Univerzita v Duisburg-Essene v spolupráci so spoločnosťou ZBT).

Potenciál využitia vodíka a vodíkových technológií existuje v spoločnosti Chemko, a.s., Strážske ako dcérska spoločnosť vo vlastníctve Duslo Šaľa, a.s. Je načrtnutý budúci potenciál obnovy ekologickej chemickej výroby v Strážskom, kde vodík, jeho výroba, skladovanie a využívanie, by mohli mať významné miesto.

Ďalší potenciál je možné oživiť v spoločnosti U.S. Steel Košice s.r.o. použitím šedého vodíka v procese reformovania na výrobu hnojív pre poľnohospodárstvo (pozri tiež kapitolu Oceliarsky priemysel). Takže malá chemická spoločnosť v areáli globálneho výrobcu ocele je efektívnym spôsobom, ako pridať odpadu ďalšiu hodnotu v podobe nového produktu pre ďalšie odvetvie a vytvárať nové pracovné miesta.

V Európe sa začali prvé projekty „Energia na amoniak“, a hoci sa neočakáva, že sa amoniak použije v tejto fáze vývoja projektu, jeho premena na vodíkové palivo predstavuje medzistupeň, ktorý ukazuje, že vodík je možné vyrábať pomocou zemného plynu. Neskôr do roku 2030 by bolo možné vyrábať ho pomocou udržateľne vyrobeného amoniaku. Amoniak môže efektívne slúžiť ako pamäťové médium na vodík, ako super batéria, ktorá vytvorila zo slovenských spoločností DUSLO a.s. a CHEMKO a.s. veľmi atraktívnych obchodných partnerov pre popredné európske spoločnosti v oblasti vodíkovej ekonomiky.

Na základe predpovedí svetových profesionálnych vodíkových aliancií a združení bude vďaka použitiu jadrovej energie výroba vodíka v budúcnosti lacnejšia a dostupnejšia. Aj keď sa jadrová energia využíva už celé desaťročia, neustále sa vyvíjajú novšie a bezpečnejšie jadrové reaktory. Reaktory 4. generácie, ktorých súčasťou je aj tóriový reaktor, sa v súčasnosti vyvíjajú na celom svete.

V takom prípade by tekuté tórium nahradilo stuhnutý urán používaný v súčasných elektrárnach. Takáto revolučná zmena by znamenala, že tavenie reaktorov by bolo prakticky nemožné. Tieto typy reaktorov majú dve hlavné bezpečnostné výhody. Ich skvapalnené palivo je pod oveľa menším tlakom ako tuhé palivo. To výrazne znižuje pravdepodobnosť nehody, napríklad výbuchu vodíka. V prípade výpadku prúdu sa zmrazená soľ v reaktore topí a skvapalnené palivo sa odvádza do nádrží, kde tuhne, a štiepna reakcia sa zastaví. Okrem bezpečnosti poskytuje tórium ďalšie strategické výhody. Potreba obrovských chladiacich veží sa drasticky zníži, takže elektrárne by boli čo do veľkosti a výrobné kapacity oveľa menšie. Na základe tejto predikcie možno v budúcnosti uvažovať o výstavbe menších miestnych jadrových blokov [Legemza].

Termochemickú výrobu vodíka je možné efektívne dosiahnuť dvoma procesmi: tepelným rozkladom vody v jadre jadrového reaktora a termochemickým rozkladom (napr.  $H_2SO_4$ ) pomocou slnečnej energie alebo tepla z jadrového reaktora. Výroba vodíka jadrovou energiou je na svete najrozšírenejšia v krajinách, ktoré majú silný jadrový program -

Japonsko, Francúzsko, Nemecko, Čína, USA, Južná Kórea a India. Tieto krajiny využívajú uránové reaktory 3. generácie nielen na výrobu tepla a elektriny, ale aj na výrobu vodíka.

Perspektívne technológie na výrobu vodíka využívajú proces S-I „Síra-jód“ (Japonsko, Francúzsko, Južná Kórea), cyklus HyS „Hybridná síra“ (USA, Čína) alebo vysokoteplotná parná elektrolýza MHR-HTSE (Japonsko, Južná Kórea). V súčasnosti sa vyvíjajú aj termochemické cykly založené na Cu-Cl „hybridoch meď-chlór“ (Nemecko, USA), Fe-Cl „železo-chlór“ (India, Čína) a reformácii metánu pomocou pary HTGR (Francúzsko, Nemecko). Na všetky tieto procesy je možné použiť jadrový reaktor, ktorý je účinný aj pri menších výrobných objemoch. V Japonsku (proces HTTR) bola vyvinutá nová koncepcia parného reformátora ohrievaného plynným héliom z jadrového reaktora, aby sa dosiahla vysoká účinnosť výroby vodíka a konkurencieschopnosť vo výrobe vodíka pomocou fosílnych palív. [Legemza]

Systém HTTR bol navrhnutý tak, aby poskytoval približne 4 200 Nm<sup>3</sup>/h výroby vodíka pomocou katalyzátora na báze Ni s využitím 10 MW tepelnej energie.

- Plynom chladený systém rýchleho reaktora (GFR)
- Olovom chladený rýchly reaktor (LFR)
- Systém reaktora chladeného roztavenou soľou (MSR)
- Sodíkom chladený rýchly reaktor (SFR)
- Superkritický vodou chladený reaktorový systém (SCWR)
- Veľmi vysokoteplotný reaktor (VHTR)

Očakáva sa, že voda a biomasa budú v budúcnosti hlavnými zdrojmi vodíka, pričom zdroje tepla potrebné na extrakciu vodíka sa budú získavať zo zdrojov energie bez CO<sub>2</sub>. Pokiaľ ide o výrobu vodíka v akomkoľvek objeme a množstve, jadrová energia môže zohrávať rozhodujúcu úlohu, najmä na Slovensku, ktoré počas uplynulých dvoch desaťročí investovalo do nových jednotiek miliardy eur.

## Kapitola 5: Symbióza s batériovým priemyslom

### Podpora batériového priemyslu

V nedávnej minulosti sa technológie batérií a vodíka javili ako konkurenčné. V súčasnosti vzniká veľa aplikácií, v ktorých inteligentná súhra týchto dvoch technológií vytvára výrobky vysokej každodennej praktickosti. V prudkom vývoji sú vozidlá s krátkymi dobami tankovania a s dlhým dojazdom, ktoré využívajú inovatívne palivové články s batériovým systémom (model Mercedes-Benz GLC F-Cell). Najmä v autobusoch, ťažkých nákladných vozidlách, vlakoch a inej ťažkej doprave bez prítomnosti jednej z týchto technológií je riešenie v mnohých aplikáciách nepraktické. Toto spojenie dvoch zelených technológií vytvára strategický zlom pri plnení ambiciózných plánov v bezemisnej doprave, vykurovaní atď.

Košický samosprávny kraj spolu s podporou vlády SR pripravil plány na vybudovanie veľkej továrne na výrobu batérií. Memorandum o spolupráci bolo podpísané v novembri 2019 medzi spoločnosťou Inobat j.s.a., Technickou univerzitou v Košiciach, Univerzitou P. J.

Šafárika, Slovenskou akadémiou vied a Košickým samosprávnym krajom. Túto iniciatívu podporuje aj Slovenská batériová aliancia (SBaA), kde je aj nasadenie vodíkových technológií jednou z priorít v nasledujúcich rokoch. Na podporu strategických výskumných a vývojových aktivít vláda SR v rokoch 2020/2021 vyčlenila v základnom výskume a v aplikačnom výskume 5 miliónov eur, ktoré však môže ovplyvniť súčasná korona kríza. [Halama, Smik]

## Kapitola 6: Výskum a inovácie v Košickom kraji

### Uskladnenie vodíka ako kľúčový faktor pre vývoj vodíkových technológií

Niektoré študijné odbory a predmety zahŕňajú školenie v technológiách palivových článkov a možnostiach využitia vodíka. Pre lepšie zabezpečenie absolventskej odbornosti je potrebné vytvoriť nové predmety priamo zamerané na danú problematiku so zameraním na vzdelávanie v problematike bezpečnosti palivových článkov a vodíkových technológií. V spolupráci s Medzinárodným združením pre bezpečnosť vodíka je priame zabezpečenie špecialistov na prácu s batériovými systémami možné aj pri výrobe samostatných študijných programov.

Uskladnenie vodíka v nanoporéznych materiáloch v súčasnosti skúma špičkový výskumný tím na Slovensku TRIANGEL na Univerzite P. J. Šafárika pod vedením prof. RNDr. Vladimíra Zeleňáka, DrSc. Jeho tím je zameraný na výskum najslubnejších materiálov pre uskladnenie vodíka.

Kovovo-organické štruktúry (MOF) sú pevné kryštalické látky, ktoré sa vyznačujú nízkou hustotou (teda nízkou hmotnosťou), vysokou pórovitosťou a špecifickým povrchom. Povrch týchto látok je zvyčajne  $500 - 3\,000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , v niektorých prípadoch dokonca viac ako  $5\,000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Na týchto materiáloch je možné dosiahnuť vysokú hmotnosť uloženého vodíka (gravimetrické množstvo), pri tlakoch 70 - 100 barov môže adsorbované množstvo vodíka dosiahnuť až 7 - 8% hmotnostných. V prípade najefektívnejších MOF, ako je NU-100 alebo MOF-210, môže dosiahnuť asi 15 až 20 hmotnostných percent (wt%). Tieto kapacity sa však stále dajú dosiahnuť iba pri nízkych teplotách kvapalného dusíka ( $-196^\circ\text{C}$ ). Gravimetrické kapacity klesajú na približne 2% hmotnosti pri  $25^\circ\text{C}$ . Preto je súčasný výskum zameraný na prípravu a úpravu MOF na zvýšenie adsorpčnej interakcie. To by umožnilo dosiahnuť adsorpčný proces na normálnu teplotu a plne využiť potenciál ponúkaný MOF.

### Materiály na báze uhlíka

Pre uskladnenie vodíka sa skúmajú rôzne typy nanoštruktúrovaných uhlíkových materiálov, akými sú uhlíkové nanovlákná, uhlíkové nanorúrky, atď. Špecifické povrchy týchto materiálov môžu presahovať  $3\,000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Rovnako ako v prípade MOF je skladovanie obmedzené na použitie nízkych teplôt a tlakov 20 - 80 barov a adsorpčná kapacita za týchto podmienok dosahuje 8 - 10% hmotn.

Okrem vyššie spomenutých materiálov sa pre skladovanie vodíka skúma aj iná skupina pórovitých materiálov, akými sú zeolity, klatráty a pórovité polyméry. Množstvo uskladneného vodíka však ešte nedosahuje množstvo uvedené pre MOF alebo uhlíkové materiály. [Zeleňák]

## Prototyp kompresora hydridu kovov s tepelným čerpadlom

Cena za vedu a techniku 2018 pre najlepší vedecko-technický tím bola udelená doc. Ing. Tomášovi Brestovičovi, PhD., zo Strojníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach za vývoj vodíkových technológií v energetickom a automobilovom priemysle. Jeho výskum sa zameriava na vývoj a aplikáciu najnovších trendov v oblasti vodíka a vodíkových technológií implementáciou nových programovacích techník a simulačných nástrojov.

Jeho tím vyvinul jedinečný prototyp kompresora využívajúceho chemickotepelný cyklus absorpcie a desorpcie vodíka do intermetallickej štruktúry kovov stláčaním vodíka pri nízkej teplote. Koncept vodíkoveho kompresora funguje v princípe, keď je prenos tepla, vykurovanie a chladenie zabezpečované tepelným čerpadlom, čo vedie k značnej úspore elektrickej energie a je prevádzkované na základe autonómneho riadenia. Riadiaci softvér je napísaný v jazyku C++ v prostredí Qt Creator a je vybavený dotykovým monitorom na kontrolu a vizualizáciu nameraných údajov. Zariadenie je chránené dvoma úžitkovými vzormi (SK 8388 Y1, SK 8320 Y1) [Brestovič].

Prototyp automobilu s hybridným vodíkovým/lítium-iónovým akumulátorom používajúcim na pohon palivové články a metalhybridy

Prototyp vozidla je navrhnutý tak, aby pojal vodík do nízkotlakových nádrží ako hydrid kovu (objem 1 l) s použitím 0,4 kg intermetallickej zliatiny LaCeNi s akumulačnou kapacitou vodíka 42 l. Palivový článok vyrába elektrinu z vodíka uloženého v tlakovej nádobe. Stlačený vodík musí byť dodávaný zo špeciálnych tlakových nádrží. Potrebný kyslík sa spotrebúva priamo z okolitého vzduchu. Odpadom počas výroby energie v palivovom článku je iba čistá voda.

Je možné uskladniť 42 litrov plynného vodíka pri tlaku 1 MPa v 1 litri nádoby vo forme metalhydridu. Táto kapacita umožňuje približne 40 minút prevádzky vozidla. V štandardnej tlakovej nádobe s rovnakými parametrami, ale bez technológie hydridu kovu, je možné pri rovnakom tlaku uskladniť iba 10 litrov plynného vodíka. [Brestovič, Saksl].

Vodíkový model automobilu vyvinul Brestovičov tím na SjF TUKE. Podvozok vozidla je založený na zvaranej konštrukcii z hliníkovej zliatiny EN AW6060 s profilmi tepelného spracovania T6 obdĺžnikového prierezu. Ramená boli vyrobené pomocou aditívnej technológie pomocou 3D tlače. Pripojenie ramien k hlavnej konštrukcii je zabezpečené upínacími prvkami z ocele triedy E295. Na odpruženie podvozku sa použili tlmiče bicykla s pružinami prispôbenými pre dané vozidlo. Koncept hnacej sily využíva palivový článok, elektrický motor a lítium-iónové batérie. Mechanický koncept pohonu pozostáva z jednosmerného motora s výkonom 200 W pri 12 V. Palivový článok je zariadenie umožňujúce priamu premenu chemickej energie viazanej na vodík na elektrickú energiu. Energia sa uvoľňuje riadenou chemickou reakciou vodíka a kyslíka na základe výmeny protónov.

Daný motor bol zvolený tak, aby zabezpečoval požadovaný výkon pre model vozidla. Podľa koncepcie pohonu je možné zvoliť prevádzkový režim vozidla. Vozidlo je možné prevádzkovať ako čisto elektrické vozidlo so súpravou 16 Ah lítium-iónových batérií. Ďalšou možnosťou je použitie palivového článku ako primárneho zdroja elektrickej energie pre elektrický motor. Palivové články sú vhodné pre mobilné aplikácie pracujúce pri nízkych

teplotách. Majú tiež výhodu v dosiahnutí vyššej termodynamickej účinnosti elektrochemickej reakcie v porovnaní s účinnosťou premeny energie chemickej väzby na elektrickú energiu pomocou tepelných motorov. Na pohon modelu vozidla bol použitý palivový článok PEM DEA 0,5 s výkonom 500 W, ktorý poskytoval napätie 12 až 16 V.

Predikčné techniky, vodíková bezpečnosť, analýza porúch

Jedným z alternatívnych riešení v distribúcii vodíka je využitie existujúcej plynárenskej infraštruktúry. Aj keď vodík distribuovaný v potrubí vyžaduje dokonalú kvalitu izolácie a mimoriadne požiadavky na tesnosť, najvyššou prioritou musí zostať bezpečnosť. Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie na Technickej univerzite v Košiciach môže ponúknuť know-how v oblasti nedeštruktívneho monitoringu korózie plynárenskej infraštruktúry potenciálne používanej na rýchlu prepravu vodíka a bezpečnostné hladiská spojené s homogenitou zmesi, difúznou kontrolou vodíka v kovových konštrukciách (experimenty Devanathana- Stachurského). Takisto vývoj pokročilých a ich charakterizácia, vodíkové krehnutie ocelí a zliatin, či analýza porúch je veľmi dôležitá. Túto výskumnú skupinu vedie Dr. Maroš Halama, ktorý má dlhoročné skúsenosti s analýzou porúch v energetike, expertízou a konzultáciách na plynárenskej infraštruktúre, klasických elektrárňach, jadrových atď. Úzko spolupracuje na interdisciplinárnych témach s ďalšími európskymi univerzitami a jeho skupina vyvíja predikčné modely na hodnotenie životnosti materiálov pomocou umelých neurónových sietí a predikuje fyzikálno-chemické vlastnosti materiálov pomocou superpočítačov prostredníctvom kvantovo-chemických výpočtov a modelovania [Halama, Makowska-Janusik]

Všetky tieto pokročilé techniky minimalizujú chyby v predikciách, pomáhajú dosiahnuť presnejšiu analýzu vplyvu ovplyvňujúcich faktorov a nakoniec šetria rozpočet projektu (hodnota za peniaze) ešte pred rozhodnutím, ktorý nákladný experiment sa v laboratóriách alebo v teréne uskutoční.

Termodynamické modely spaľovacích procesov

Ďalšou odbornou oblasťou pod vedením prof. Ing. Jaroslava Legemzu PhD. z Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie je zameranie na vývoj termodynamických modelov, v ktorých sú oblasti stability a koncentrácie plyných zložiek (vrátane vodíka) počas procesov horenia alebo spaľovania (vodík a biomasa atď.) a vysokoteplotného spekania materiálov s obsahom železa. Vo výskume sa zameriava na optimalizáciu faktorov, ktoré ovplyvňujú množstvo vodíka počas spaľovania a tvorby procesného plynu. Jeho výskumná skupina má skúsenosti s využívaním biomasy v priemyselných procesoch spekania. Boli vytvorené termodynamické modely, v ktorých sú špecifikované oblasti stability a koncentrácie plyných zložiek (vrátane vodíka) pri spaľovaní biomasy a vysokoteplotnom spekaní materiálov obsahujúcich železo. [Legemza]

Ďalšia expertíza pochádza z vývoja modelu pre zariadenie na splyňovanie tuhého odpadu. Okrem kvality vyprodukovaného plynu na základe zloženia vstupného odpadu, ktorého procesný plyn bol založený na CO a H<sub>2</sub>, riešenie zahŕňalo výpočty spojené s prietokom cez vstupnú vrstvu.

V rámci prípravy projektu EÚ CARBON v spolupráci s 9 slovenskými subjektmi (vrátane Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie a Slovenskej akadémie vied), ktoré sú združené v Národnej technologickej platforme pre výskum, vývoj a inovácie surovín, úlohou

bolo využitie prchavých látok vznikajúcich pri spracovaní uhlíkatých materiálov na výrobu syntetických plynov a vodíka. Základný rámec výskumu a vývoja v tejto téme sa týkal materiálového zhodnocovania plynných zložiek pri spracovaní uhlíkatých materiálov s cieľom vývoja produktov s vyššou pridanou hodnotou, nielen syntetických alebo redukčných plynov, ale hlavne výroby vodíka.

Budúci výskumný záujem na Fakulte materiálov, metalurgie a recyklácie bude zahŕňať aj:

- Vytvorenie termodynamických modelov pri výrobe vodíka technológiou vysokej teploty - možno ju použiť na optimalizáciu existujúcej technológie alebo na vývoj novej technológie.
  - Výskum súvisiaci s výrobou vodíka z odpadovej biomasy.
  - Výskum uhlíkatých látok na uskladnenie a prepravu vodíka (napr. uhlie, koks, elektródové materiály, grafit, samospekacie a kompozitné elektródy atď.).
  - Výskum v oblasti metalurgického využitia vodíka.
  - Perspektívna elektrolytická regenerácia kovov z vodného roztoku a z roztavenej trosky (proces ULCOWIN) alebo výroba železa priamou redukciou vodíka (proces ULCORED, HYBRIT. Vývoj úplne nového technologického procesu využívajúceho vodík.)
  - Výskum v oblasti splyňovania hnedého uhlia na Slovensku a výroby vodíka. Táto oblasť by stála minimálne za experimentálnu štúdiu, pretože ťažba hnedého uhlia pre elektrárne bude v blízkej budúcnosti obmedzená a zastavená a ťažobné spoločnosti nemajú alternatívne výrobné programy. Výroba vodíka z hnedého uhlia už prebieha za prevádzkových podmienok na celom svete.
  - Vplyv vodíka v zemnom plyne na vlastnosti spaľovania zmesi.
  - Vplyv vodíka v zemnom plyne na energetickú náročnosť prepravy.
  - Vývoj systémov horákov na použitie zemného plynu obohateného o vodík a čistého vodíka v spaľovacích jednotkách.
  - Vodík a jeho využitie v malých kompaktných kogeneračných jednotkách.
  - Obohatenie metalurgických horľavých plynov na podporu distribúcie vodíka v oceliarni.
- [Legemza, Jablonský, Džupková]

Pokročilé materiály pre vysokú absorpčnú kapacitu vodíka

V súčasnosti sú intermetalické hydridy veľmi sľubnými kompozitnými materiálmi z hľadiska uskladnenia vodíka, často nestechiometrické chemické zlúčeniny so všeobecným vzorcom  $XaYbHc$  (a, b, c nemusia byť v pomere malých celých čísel). Môžu obsahovať dva kovy (X, Y, napr. TiFe) alebo viac, z ktorých jeden viaže vodík silnejšie ako iné. Skúsený výskumný tím pod vedením Ing. Karla Saksla, DrSc. z Ústavu materiálového výskumu SAV, ktorý sa podieľa na európskom výskume vývoja materiálov s vysokou absorpčnou kapacitou vodíka, akými sú zliatiny TiVZrNb-X (X = Ag, Ta, Hf, Mo, W, Cu, Cr, Fe, Ni). Na charakterizáciu týchto nových materiálov sa použilo silné synchrotrónové žiarenie a zariadenia na báze neutrónových zdrojov (DESY Hamburg, ILL D4 Grenoble atď.), Dr. Saksl pôsobil od roku 2006 ako vedecký tajomník Komisie pre spoluprácu so spoločnosťou XFEL.

Vodíkové drony z enormným doletom môžu začať novú éru zberu vzoriek pri monitorovaní kvality vody in situ meraním pH, vodivosti, obsahu kyslíka, prítomnosti

mikroorganizmov atď. pomocou senzorov. V jednom návrhu projektu Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie s partnerom z Ukrajiny, v projekte „Na ceste k cezhraničnému východokarpatskému zdravému vodnému reťazcu prostredníctvom inovatívneho monitorovania“ sme stanovili plán autonómneho zberu vzoriek vody pomocou vodíkových dronov. Ďalšou výhodou vodíkových dronov vybavených fyzikálnochemickými senzormi je dlhšia prevádzková doba, takže by sa dali využiť aj na monitorovanie kvality ovzdušia, čo otvára potenciál pri výskume atmosférickej korózie kovových konštrukcií a predikcii ich životnosti. [Halama]

V projekte „Na ceste k cezhraničnému východokarpatskému vodnému reťazcu pre zdravie prostredníctvom inovatívneho monitorovania“ sme stanovili plán autonómneho zberu vzoriek vody pomocou vodíkových dronov. Ďalšou výhodou vodíkových dronov vybavených fyzikálno-chemickými senzormi je dlhšia prevádzková doba, takže by sa dali využiť aj na monitorovanie kvality ovzdušia, čo otvára potenciál pri výskume atmosférických korózií kovových konštrukcií a predpovedaní ich životnosti.

### Obrovská vedecká infraštruktúra v centre PROMATECH

Centrum Promatech ako konzorcium dvoch univerzít (TUKE, UPJŠ) a troch ústavov Slovenskej akadémie vied je centrom excelentnosti pre pokoročilé materiály a technológie. Obsahuje obrovskú vedeckú infraštruktúru vybavenú najnovšími sofistikovanými zariadeniami v 39 laboratóriách slúžiacich modernému materiálovému výskumu. Pomáha vedcom, inovátorom v oblasti vývoja materiálov, komplexnej charakterizácie, pokrývajúcej aj vodíkové témy (katalyzátory, elektródy, články, elektrolyty atď.), témy vo výskume batérií (elektródy, elektrolyty) vrátane využívania nanotechnológií. Umožňuje tam pôsobiacim vedcom zlepšovať materiály v technických aplikáciách, kde majú všetko pre dosiahnutie vysoko kvalitných výsledkov. Má k dispozícii aj najnovšie prístroje na výrobu vodíka využívajúcej nanotechnológie, ako je napríklad najnovší objav tímu profesora Zhaa, ktorý vynášiel niklovo-železnú elektródu na výrobu kyslíka s rekordne vysokou účinnosťou.

Myšlienka jeho koncepcie funguje na princípe s relatívne lacnými kovmi, akými sú železo a nikel. Tie nie sú dobrými katalyzátormi na výrobu vodíka, ale ak sa spoja v nanorozmeroch, radikálne to zníži spotrebu energie. Na tomto katalyzátore je malé nanorozmerové rozhranie, kde sa železo a nikel stretávajú na atómovej úrovni, ktorá sa stáva aktívnym miestom štiepenia vody. To je miesto, kde sa môže vodík odštiepiť od kyslíka a zachytávať ako palivo a kyslík sa môže uvoľňovať ako ekologický odpad. Veľmi pekný príklad, ako môžu košickí vedci dosiahnuť porovnateľný výskum svetovej úrovne s využitím infraštruktúry v hodnote 40 mil. eur, ktorá je v centre Promatech v laboratóriách. A práve takéto zariadenie ako Nanospider je schopné realizovať podobný koncept.

### Nanokatalyzátory na termokatalytický rozklad metánu

Tepelný rozklad metánu (TCD) sa používa na výrobu vodíka vysokej čistoty, pri ktorom sa metán rozkladá na plyný vodík a tuhý uhlík. Na zníženie teploty a zvýšenie účinnosti reakcie sa používajú rôzne katalyzátory. Výskumná skupina prof. RNDr. Andrej Oriňaka PhD. na Katedre fyzikálnej chémie Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach (Sisáková, Podrojková, Macko, Oriňaková) je zameraná na prípravu katalyzátorov neušľachtilých kovov zložených z Ni, Co a Fe vzhľadom na elektrónovú konfiguráciu a ich fyzikálne vlastnosti. Konverzný pomer výroby vodíka s použitím vyššie uvedených katalyzátorov je viac ako 80% a katalytická aktivita je vysoká už pri veľmi nízkych teplotách.



## Nanokatalyzátory na premenu oxidu uhličitého

Použitím účinného katalyzátora je možné konvertovať oxid uhčitý na rôzne chemické zlúčeniny, ktoré sa dajú použiť ako alternatíva čistej energie v spaľovacích motoroch, plynových turbínach alebo v palivových článkoch a môžu viesť aj k tvorbe vodíka alebo k jeho uskladneniu.

Výskumná skupina pripravuje iné uhľovodíky ako katalyzátory zložené z Cu, Zn. Vo svojich nedávnych štúdiách mali rôzne štruktúry ZnO katalyzátora dopovaného Cu v termokatalytickej konverzii biomasy veľký vplyv na množstvo konečných produktov, hlavne alkoholov, a na zníženie množstva CO<sub>2</sub>. Štruktúra katalyzátorov Zn, Cu sa študuje aj pri konverzii CO<sub>2</sub> na metanol.

## Teoretické výpočty katalytických povrchov

Skupina profesora Oriňaka v spolupráci so skupinou profesora Honkala z Univerzity Jyväskylä vo Fínsku využíva DFT funkčnú teóriu (DFT) na modelovanie katalytického povrchu, optimalizáciu a simuláciu tepelného rozkladu metánu a konverzie oxidu uhličitého. Teoretické výpočty poskytujú podrobnosti o reakciách a zlepšujú výrobu katalyzátora.

## Katalyzátory systému kvapalných organických vodíkových nosičov (LOHC) na distribúciu vodíka

Alternatívnou možnosťou na skladovanie a prepravu vodíka je použitie systémov LOHC, ktoré pozostávajú z páru jednej organickej zlúčeniny chudobnej na vodík (LOHC-) a jednej vodíkovej organickej zlúčeniny (LOHC+). Vodík sa skladuje konverziou LOHC- na LOHC+ v katalytickej hydrogenačnej reakcii a uvoľňuje sa konverziou LOHC+ na LOHC- v katalytickej dehydrogenácii. Skupina Andreja Oriňaka študuje katalyzátory pre systémy LOHC, ktoré by viedli k vysokej skladovacej kapacite vodíka ( $> 56 \text{ kg.m}^{-3}$  alebo  $> 6\%$  hmotn.), veľmi selektívnej hydrogenácii a dehydrogenácii pre dlhý životný cyklus a nízkymi výrobnými nákladmi.

## Dizajn elektroaktívnych uhlíkových vlákien modifikovaných kovovými nanočasticami ako nové elektrokatalyzátory pre vývoj vodíka

Uhlíkom modifikované vlákna ako potenciálne elektrokatalyzátory pre reakciu vývoja vodíka (HER) boli pripravené pomocou bezihlovej zvlákňovacej technológie (NLE) výskumnou skupinou v Ústave materiálového výskumu SAV v spolupráci s UPJŠ. Zistilo sa, že špecifický povrch vlákien sa rýchlo zvyšoval so zvyšujúcim sa obsahom kovových nanočastíc a ich fosfidov (Ni, Co, Cu atď.) v uhlíkovej matrici. Vyvinuli tvorbu veľkého množstva uhlíkových nanorúrok s viacerými stenami (MWCNT) kolmých na uhlíkovú maticu. Najvyššia elektrochemická aktivita pre výkon HER sa zistila vo vláknach obsahujúcich najvyššie množstvo nanočastíc Co<sub>2</sub>P, ktoré poskytovali prúdovú hustotu 10 mA cm<sub>2</sub> pri  $\eta_{10} = 300 \text{ mV}$ . Menší sklon Tafel a najrýchlejšia kinetika HER sa zistili vo vzorkách s najvyšším obsahom nanočastíc Co<sub>2</sub>P a najvyššou špecifickou povrchovou plochou.

## Palivové články (SOFC) pre konverziu vodíka na energiu

Palivový článok je elektrochemický článok, ktorý premieňa chemickú energiu paliva (často vodíka) a oxidačného činidla (často kyslíka) na elektrinu prostredníctvom dvojice redoxných reakcií. Existuje niekoľko druhov palivových článkov, medzi ktoré patrí i) palivový článok s kyselinou fosforečnou (PAFC), ii) palivový článok s tuhou kyselinou (SAFC), iii) alkalický palivový článok (AFC), iv) palivový článok s obsahom roztaveného uhličitanu (MCFC) a v) palivový článok na tuhý oxid (SOFC).

Vedecký tím pod vedením RNDr. Martina Fabiána, PhD. z Geotechnického ústavu Slovenskej akadémie vied vyvíja nový typ nanokryštalických oxidických elektrolytov s modifikovanými štruktúrami a morfológiou a vylepšenými funkčnými vlastnosťami pre vysokoteplotnú elektrochemickú premenu a uskladnenie energie. Zahŕňa prípravu komplexných oxidov perovskitového typu s navrhnutými zloženiami využívajúcimi bezkalcinačnú mechanochemickú syntézu optimalizovanú na krátky reakčný čas, vývoj sintrovacích postupov na výrobu hustej elektrolytickej keramiky s riadenou distribúciou zrnitosti. Študoval systematickú analýzu vzťahov medzi zložením, mikroštruktúrou a iónovým transportom. Nekonenčný prístup mechanosyntézy sa predpokladá ako nákladovo efektívny a rýchly spôsob výroby pokrokových tuhých elektrolytových materiálov s kontrolovanou mikroštruktúrou a zlepšeným elektrochemickým výkonom, a teda zahŕňa sľubnú cestu prispievajúcu k rozvoju elektrochemického uskladňovania obnoviteľnej energie.

Spomedzi všetkých typov palivových článkov sú palivové články na báze tuhého oxidu (SOFC) jedným z najatraktívnejších systémov, ktoré kvôli vysokej účinnosti ponúkajú významné výhody pre rezidenčné účely, prepravu vo veľkom meradle (napr. tankermi) a pomocné energetické jednotky pre veľké priemyselné energetické aplikácie (až 70%), spoľahlivosť, modularitu, flexibilitu paliva a bezpečnosť pre životné prostredie.

Zvyšovanie povedomia o alternatívnych zdrojoch energie je hlavným faktorom podporujúcim rast na trhu. Palivové články SOFC čoraz viac získavajú na prestíži ako dôležitý zdroj pre možnosti záložného napájania, predovšetkým vďaka svojej schopnosti vyrábať elektrinu pomocou rôznych palív, akými sú vodík, zemný plyn a bioplyn. Energetická kríza je dlhodobým globálnym problémom a vlády na celom svete podporujú technologický rozvoj v riešení tejto otázky. [Fabián].

## Kapitola 7: Výzvy vo vzdelávaní

### Úloha pre oblasť vzdelávania

Dôležitá súčasť efektívneho a bezpečného využívania zelených technológií v Košickom samosprávnom kraji ide len ruka v ruke s komplexným vzdelávaním v tejto oblasti na všetkých kvalifikačných úrovniach vrátane odborného vzdelávania na stredných a vysokých školách prostredníctvom školení, kurzov, letných škôl a zvyšovaním povedomia verejnosti o batériových systémoch, palivových článkoch a vodíkových technológiách. Kvalita vzdelávania je nevyhnutná pre budúcu generáciu inžinierov, ktorí sa budú zaoberať najväčšími energetickými výzvami a čeliť najnovšiemu zlepšovaniu technológií v oblasti obnoviteľných zdrojov energie, batérií a vodíka. Efektívna cesta povedie iba v partnerstve

prostredníctvom medzinárodného prepojenia univerzít s intenzívnym výskumom, Akadémiou vied spolu v úzkej spolupráci s Košickým samosprávnym krajom a priemyselnými partnermi a vyžaduje si výrazné inovatívne úsilie.

Ideálny model pre vzdelávanie hybridných inžinierov potrebných pre novodobé požiadavky priemyslu budú nevyhnutne zahŕňať silný rozvoj interdisciplinárnych zručností a výcvik na medzinárodnej úrovni. Príprava atraktívneho a na vedomostiach založeného vyučovacieho procesu a školiacich materiálov je veľmi dôležitá pre zabezpečenie ich dosiahnutia pre rôzne úrovne kvalifikácie.

Keď sa opýtate malých detí, ako si predstavujú budúcnosť, ich odpovede budú plné lietajúcich automobilov, vozidiel bez vodičov a magického paliva. A nie sú ďaleko od pravdy. Tieto malé deti vyrastajú v úplne inom technologickom svete ako ich rodičia a už vedia, že je čas na zmenu...

Ako pripraviť našu mladú generáciu študentov na to, čo nás čaká? Na zelenú budúcnosť? Máme čas? Nie je už neskoro začať čo aj hneď teraz?

Ľudia sa už teraz stretávajú s nastupujúcim trendom nových alternatívnych palív, medzi ktoré nepochybne patrí aj vodík. Sú to však iba krátke správy, často bez vysvetľujúcich súvislostí. Vodíkové autá, nákladné autá, vlaky, bicykle... Ako však fungujú? Aké sú ich výhody? Všetky tieto otázky by už mali byť vysvetlené študentom stredných škôl. Je nevyhnutné, aby boli študenti vedení k premýšľaniu o technológiách, ktoré raz zmenia svet. Aby sme nezostali v tradičnom a konvenčnom učení sa o vodíku ako o chemickom prvku, pričom v mnohých prípadoch sa maximálna úroveň vedomostí skončila elektrolýzou. Musíme však čeliť najnovším výsledkom výskumu v laboratóriách s veľkým potenciálom ich rozšírenia na inovatívne aplikácie, ktoré sú už pretavené v demonštračných projektoch, o ktorých sa ani týmto študentom nikdy ani len nesnívalo.

Ako dosiahnuť takúto zmenu? Kľúčovú úlohu bude zohrávať synergická spolupráca medzi inovatívnym priemyslom - výskumnými univerzitami - regiónmi - učiteľskými klubmi.

Aktuálny systém stredných škôl presýtený základnými učebnými osnovami bez zamerania na ich praktické využitie a uplatnenie si vyžaduje metodické usmernenie a následnú kontrolu zo strany správcu stredných škôl, ktorými je Košický samosprávny kraj.

Košický samosprávny kraj spravuje 63 stredných škôl s právnou subjektivitou:

- Gymnázia: 19
- Umelecké konzervatória: 2
- Spojené školy: 2
- Odborné školy: 40

Košický samosprávny kraj a jeho odbor školstva spolupracuje s orgánmi štátnej správy a samosprávy v oblasti vzdelávania a výchovy, s mimovládnymi organizáciami a inými právnickými osobami zaoberajúcimi sa záujmami detí, mládeže a športu. Vo svojej zriaďovateľskej pôsobnosti vytvára podmienky pre vzdelávanie nadaných a talentovaných detí, ako aj detí so špeciálnymi výchovno-vzdelávacími potrebami. Odbor školstva Košického samosprávneho kraja je zodpovedný za:

- kvalitu riadenia vzdelávacieho procesu
- analýzu
- efektívne plánovanie a následnú kontrolu
- pozorovanie vzdelávacieho procesu, vyhodnocovanie a generalizácia výsledkov pedagogickej rady

Usmernenie na roky 2019/2020 vydané samotným Košickým samosprávnym krajom obsahuje množstvo sľubných bodov, ktoré naznačujú, že kraj sa snaží myslieť na budúcnosť, upozorňuje na činnosť metodických orgánov na stredných školách a na ich poslanie v oblasti metodiky a vyučovacieho procesu, podporuje ďalšie vzdelávanie pedagogických zamestnancov a metodicky najlepších učiteľov s cieľom skvalitniť celkový pedagogický proces. V procese musia byť implementované témy spojené s transformáciou energie, ako napríklad batériové systémy, vodík.

Základné vedomosti o batériových a vodíkových technológiách je možné v primeranom rozsahu a vhodnou formou zahrnúť do vyučovacieho procesu základných a stredných škôl v rámci Štátneho vzdelávacieho programu Slovenska (ISCEC 3), kde 25% až 35% časti vyučovacieho procesu je na stredných školách k dispozícii na realizáciu nových predmetov alebo tematických celkov. Rozsah a obsah tejto časti určuje vedenie školy (viac ako 25% z vlastných zdrojov). Časť tejto kapacity môže byť venovaná článku, ktorého obsahom by boli batériové systémy, technológia palivových článkov a vodík a možnosti ich použitia.

Aké konkrétne postupy by sa mali zvoliť? Na koho sa zamerať na šírenie najnovších poznatkov o vodíkových technológiách?

## Pedagógovia

Po mnohých rozhovoroch so stredoškolskými učiteľmi prírodovedných predmetov je ich zámer a úsilie vzdelávať sa a odovzdávať svojim študentom najnovšie poznatky z 21. storočia veľmi pozitívne. Na druhej strane očakávajú, že pri svojej práci pocítia výraznú podporu, ktorá by sa nemala zakladať iba na riaditeľoch ich škôl, ale aj na úlohe metodických centier, združení alebo vzdelávacích klubov. Dnes vedú informácie, ktoré pedagógovia získavajú:

### I. Klub učiteľov chémie

Vzdelávací klub pod vedením doc. Márie Ganajovej z Katedry didaktickej chémie Prírodovedeckej fakulty Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach. Stretnutia organizované týmto klubom sú už dobre zavedené a konajú sa v nepravidelných intervaloch. Dotazovaní učitelia však ocenili kvalitu prednášok s veľkým dopadom na ich ďalšiu prácu na hodinách chémie. Vedomosti, ktoré si priniesli z prednášok, obohatili ich vedomosti a rozhl'ad.

### II. Metodické listy

Zavedením metodických listov do výučby prírodovedných predmetov je možné urýchliť tok informácií. Po zadaní konkrétnej témy, v našom prípade o vodíkových technológiách, je možné poskytnúť pedagógom metodické listy zložené z dvoch častí:

- A) Časť pedagóga: Základné vedomosti o téme s priloženými odkazmi, kde v prípade potreby nájdú ďalšie vedomosti. Táto časť obsahuje odporúčanie, ako vysvetliť tému študentom tak, aby bola čo najlepšie pochopená, a navrhuje aj praktické cvičenia k tejto téme.
- B) Pracovný list študenta: Táto časť obsahuje v hornej časti grafický abstrakt obsahujúci jednoduchú schému vysvetľujúcu napríklad princíp vodnej elektrolýzy, palivové články v automobiloch, obnoviteľné zdroje energie podporný vodíkový reťazec atď. V tejto časti sú uvedené aj ďalšie otázky na overenie či študent pochopil obsah učiva, dáva spätnú väzbu učiteľovi, či sa tému naučil efektívne.

Naše odporúčanie spočíva v spolupráci stredných škôl so špecializovanými pracoviskami na výskumných univerzitách, ústavoch, ktoré môžu podporiť tému vodíkovej technológie praktickými ukážkami vo svojich laboratóriách. Pre pedagógov odporúčame použiť jednoduchý model veterného mlyna alebo lepšie, vodíkového automobilu so zabudovaným reverzibilným palivovým článkom PEM (membrána na výmenu protónov). Funguje to v oboch smeroch: ako elektrolyt (generujúci vodík z vody) a ako zdroj prúdu (na výrobu elektriny z vodíka). Len čo sa vyrobí vodík, palivový článok ho môže premeniť na elektrickú energiu na pohon tohto automobilu.

Metodické listy by mali obsahovať kontakt s vybranými vysokoškolskými učiteľmi a výskumnými pracovníkmi, s ktorými by učitelia stredných škôl spolupracovali. Úzka spolupráca stredných škôl s univerzitami sa odporúča v medziach laboratória a výučby na vysokých školách.

Ideálne načasovanie šírenia nových zelených technológií je počas „Dňa otvorených dverí“ na univerzitách a výskumných ústavoch.

V roku 2018 zvíťazili študenti SOŠ Ostrovského 1 v súťaži modelov vodíkových automobilov RC v nemeckom Chemnitz v súťaži „Hydrogen Horizon Automotive Challenge“ s účasťou tímov z celého sveta. Študenti vytvorili telemetriu na báze wi-fi na komunikáciu so serverom a získavanie údajov z automobilu. Neustále teda majú prehľad o tom, koľko energie spotrebuje, aký je stav batérií, vodíkových článkov a pod. Táto súťaž rozširuje vedomosti študentov v oblasti obnoviteľných zdrojov, pretože tieto automobily sú poháňané palivovým článkom, v ktorom sa vodík a kyslík premieňajú na elektrinu a táto elektrina sa používa na pohon automobilu. Je to vynikajúci príklad toho, ako vysoko kvalitné vzdelávanie a praktická príprava na strednej škole môžu pripraviť motivovaných študentov, aby neskôr navštevovali konkrétnejšie študijné programy na výskumných univerzitách.

### III. Sledovanie časopisov pre učiteľov prírodovedných predmetov

- A) Dnešná škola - človek a príroda: tento časopis vydáva Asociácia učiteľov chémie. Združenie je aktívne aj na sociálnej sieti Facebook, kde sa teší veľkej obľube. Učitelia si môžu rýchlo vymieňať rady, skúsenosti, zamerať sa na nadchádzajúce udalosti, ako sú dni otvorených dverí na univerzitách, alebo môžu sledovať rôzne prírodovedné súťaže.
- B) ChemZi: časopis vydávaný Slovenskou chemickou spoločnosťou (SCHS), ktorý je určený členom SCHS, ktorí sú prevažne z univerzitného prostredia, preto sú v ňom

diskutované témy koncipované odbornejšie a podrobnejšie. Na druhej strane poskytuje vynikajúci prehľad o najnovších výskumoch na Slovensku i v zahraničí.

Naším odporúčaním je poskytovať informácie o časopisoch vydávaných stredoškolským pedagógom, aby sa dozvedeli o aktuálnych témach, ktoré potom môžu vyučovať na danom predmete. Tiež je vhodné využiť sociálne siete, kde sa môžu rýchlo dostať k informáciám o najnovších poznatkoch o vodíkových technológiách, batériových systémoch 21. storočia.

## Študenti

Dnešná generácia študentov stredných škôl nemá problém s dostupnosťou informácií. Je však potrebné, aby smerovali k tomu, aby sa internet stal skôr vzdelávacím nástrojom ako zdrojom zábavy. Vhodne nastavený proces učenia musí v nich vzbudiť záujem a zvedavosť. Existuje možnosť rozšírenia vzdelávania o projektové vyučovanie. Tento spôsob výučby je veľmi vhodný na rozšírenie informácií, ktoré nie sú obsiahnuté v základnom prírodovednom učebnom pláne, a vodíkové technológie sú veľmi dobrým príkladom.

Projektové vyučovanie pozostáva zo štvorstupňového plánu:

- IMPULZ
- SPOLOČNÉ PLÁNOVANIE
- IMPLEMENTÁCIA
- HODNOTENIE

Odbor školstva môže prevziať zodpovednosť za prvý stupeň a byť iniciátorom projektovej podpory a vyhlásenia projektovej súťaže pre stredné školy na vybrané témy. Rozhovory so stredoškolákmi ukázali, že študenti potrebujú silnú motiváciu, aby dosiahli lepší výkon. Umiestnenie na prvých troch miestach takejto súťaže by malo byť atraktívne pre študentov aj pedagógov.

Medzi témami projektu bude najlepší spôsob, ako zahrnúť oblasti najnovších aplikácií batérií a vodíka v 21. storočí, nechať študentov premýšľať, ako by tieto technológie mohli transformovať Košický kraj v zdravšom prostredí s nízkymi emisiami a doplniť tieto témy o praktické laboratórne cvičenia v spolupráci s univerzitami.

## Kluby vedeckých komunit

Na strednej škole je potrebné zaujať študentov s prirodzeným záujmom o prírodovedu s apetítom v oblasti moderných technológií. Ako ukázali štatistické údaje, počet študentov, ktorí sa po strednej škole uchádzajú o štúdium životne dôležitých prírodných a technických odborov, klesá. Je potrebné, aby vhodné združenie mladej generácie vo vedeckej klubovej komunite prilákalo tieto oblasti výskumu a urýchlilo ďalšiu prípravu lídrov výskumu v zelených energiách na ich ceste.

## PROGRAM MOBILITY ERASMUS+

Projekt Hydrogen In Schools (Vodík v školách) ([www.HySchools.eu](http://www.HySchools.eu)) je program Erasmus+, ktorého cieľom je poskytovať vzdelávanie o vodíku na stredných školách. Boli

vytvorené vzdelávacie a online zdroje na použitie v školách v európskych krajinách, ktorých cieľom je poskytnúť učiteľom pridanú istotu pri výučbe vodíkových technológií. Cieľom HySchools je pomôcť školám zvýšiť kvalitu výučby HFCT, aby vybavili študentov budúcimi zručnosťami požadovanými v tomto rastúcom energetickom sektore.

Odporúčame vytvoriť pravidelne sa stretávajúce spoločenstvo mladých nádejných vedcov v Košickom kraji vedené špičkovými vedcami. Tento komunitný koncept by zahŕňal prednášky na vybrané témy, poskytoval by priestor na predvádzanie najmodernejších vied, pokrýval by súťaže pre tímy stredných škôl a organizoval by exkurzie a workshopy. Vedecké kluby môžu urýchliť vysoko kvalifikovanú mladú generáciu lídrov výskumu v oblasti zelenej energie. Program Erasmus+ môže účasť na medzinárodnom projekte HySchool povýšiť na EU úroveň.

Správny marketing a celková prezentácia modernej strednej školy a atraktívne miesta dávajú vynikajúci predpoklad úspešnej cesty. Ide napr. o implementáciu IT technológií do vzdelávania súvisiaceho s transformáciou energie vrátane batériového systému a vodíka s novými prístupmi využívajúcimi virtuálnu realitu, rozšírenú realitu, humanoidných robotov a pod., a takisto účasť na medzinárodných projektoch, ako je HySchool atď.

#### Vysokoškolské vzdelávanie a noví hybridní inžinieri

V dnešnom európskom priestore nemôže žiadna univerzita ponúknuť samostatný program na vzdelávanie inžinierov v najnovších energetických systémoch, akými sú vodíkové technológie alebo batériový systém.

Malo by sa zohľadňovať komplexnejšie vzdelávanie, najlepšie odvetvové. Je mimoriadne dôležité, aby sa miestne výskumné univerzity zúčastňovali na spoločných európskych programoch spolupráce, ako je napríklad sieť TeacHy (koordinátorská univerzita v Birminghame), ktorá sa zameriava na prípravu materiálov, navrhovanie a uskutočňovanie školení pre študentov v oblasti palivových článkov a vodíka. Projekt pozostáva zo základnej skupiny vysoko skúsených inštitúcií pracujúcich so sieťou pridružených partnerov (univerzity, orgány odborného vzdelávania, priemysel a pod.). Program Teachy ponúka riešenia pre akreditáciu a vzájomné hodnotenie kurzov a umožňuje inštitúciám ponúkať školiace kurzy, ktoré by inak neboli k dispozícii, a zároveň poskytuje študentom prístup k zmesi osobného a e-learningového obsahu. Každá zapojená inštitúcia čiastočne prispieva k celkovému obsahu projektu.

Študenti doktorandského štúdia a mladí výskumní pracovníci z košických univerzít musia byť v krátkodobom horizonte konfrontovaní s výskumnými talentami v zahraničí v laboratóriách svetovej úrovne. Priemyselné vzdelávanie naopak poskytuje prístup k nedostupnému vybaveniu, údajom a silne aplikačným znalostiam.

Byť súčasťou takejto skupiny skúsených inštitúcií v medzinárodnej sieti ďalších pridružených partnerov (univerzity, inštitúcie odborného vzdelávania, priemysel atď.) prináša obrovské výhody pri zdieľaní skúseností. Program Teachy ponúka akreditovaný program a umožňuje inštitúciám ponúkať školiace kurzy a školenia, ktoré by inak nemohla zvládnuť jedna univerzita pri poskytovaní prístupu k obsahu evzdelávania. Každá zapojená inštitúcia čiastočne prispieva k celkovému obsahu. Preto TUKE s UPJŠ pripravili výcvikový kurz - letná škola vodíka. TUKE sa od roku 2020 stala súčasťou aliancie univerzít ULYSSEUS, ktorá

počíta s nadštandardnou výmenou študentov medzi partnerskými univerzitami zo 6 krajín EÚ.

Univerzity TUKE a UPJŠ budú zohrávať kľúčovú úlohu vo vzdelávaní v ére transformácie energie vrátane batériových systémov, vodíka a súvisiacich technológií:

- odborná príprava vysoko kvalifikovaných pracovníkov (Bc., Ing./M.Sc., RNDr., PhD.)
- získavanie najnovších skúseností a najnovších poznatkov počas výskumných projektov,
- mentoring mladých vedcov, výskumných pracovníkov a inovátorov,
- príprava budúcich učiteľov,
- poskytovanie mentoringu v odbornej podpore študentom stredných škôl pri rozvíjaní vedomostí o vodíkových technológiách a súvisiacich činnostiach mimo vyučovacieho procesu
- ponuka a riadenie kvalifikačných kurzov, školení, letných kurzov potrebných pre vhodnú pozíciu v novom druhu vodíkového a batériového priemyslu.

Výučba v oblasti vodíka, vodíkových technológií a palivových článkov na univerzitách TUKE a UPJŠ:

- niektoré oblasti a predmety zahŕňajú odbornú prípravu v technológiách palivových článkov a možnostiach využívania vodíka. Pre lepšie zabezpečenie odborného profilu absolventa je potrebné vytvárať nové predmety priamo zamerané na danú problematiku
- zamerať sa na vzdelávanie v oblasti bezpečnosti palivových článkov a vodíkových technológií v spolupráci s Medzinárodnou asociáciou pre vodíkovú bezpečnosť vodíkových technológií
- priame zabezpečenie špecialistov na prácu s batériovým systémom, vodíkovými technológiami je možné aj vytvorením samostatných študijných programov
- komplexná alebo špecifická výučba pod záštitou univerzít TUKE a UPJŠ s vybranými fakultami, ústavmi, katedrami
- doktorské študijné programy v spolupráci so Slovenskou akadémiou vied
- kurzy, školenia pre technických pracovníkov, operátorov a administrátorov, vytváranie rekvalifikačných kurzov v spolupráci s Úradom práce a sociálnych vecí
- príprava a zabezpečenie preškolenia pohotovostných služieb na situácie spojené s H<sub>2</sub> pomocou virtuálnej reality, simulácie rozšírenej reality. [Halama, Orságová Králová, Baranová]



## VODÍK + VÝCVIKOVÝ KURZ - VÝUČBA V LETNEJ ŠKOLE

### TEACH<sub>2</sub><sup>4</sup>KE

#### I. MEDZIODVETVOVÝ POTENCIÁL

(v spolupráci so Slovenským národným vodíkovým zväzom)

Elektrolýza malého rozsahu s využitím obnoviteľných zdrojov energie na ekologickú výrobu vodíka. Doprava a použitie vodíka prostredníctvom infraštruktúry pre zemný plyn. Preprava vagónmi. Potenciál chemických spoločností vyrábajúcich amoniak a hnojivá. Vodík v globálnej spoločnosti na výrobu ocele. Zdieľanie bicyklov, miestne autobusy, vodné skútre, turistické lode a veľa ďalších. Technológie palivových článkov pri spracovaní odpadu. Výzva v oblasti vzdelávania a povedomie verejnosti.

#### II. DELENIE TECHNOLOGIÍ VODÍKA A BATÉRIE

(v spolupráci so Slovenskou batériovou alianciou)

Jedinečná kombinácia ako inteligentná súhra medzi batériami a palivovými článkami pre veľký dojazd a krátke časy tankovania umožňujú použitie napr. vozidla vysokej každodennej praktickosti. V mnohých ďalších aplikáciách systém palivových článkov/batérií ponúka maximálnu účinnosť a pohodlie.

#### III. GEOTERMÁLNA ENERGIA A VODÍK

Geotermálna energia ako jeden z najstarších zdrojov energie v Košickom kraji je pomerne ľahko dostupná. Táto energia by sa mohla použiť v geotermálnej elektrárni na napájanie elektrolýznych systémov, ktoré budú vyrábať vodík.

#### IV. NAJNOVŠIE TECHNOLOGIE PREPRAVY A SKLADOVANIA

Osvedčené postupy v doprave z vysoko plynofikovaných krajín po celej Európe. Európske projekty Black Horse a vodíkových ťahačov v Košickom kraji. Preprava vodíka pomocou vagónov od svetového výrobcu. Skladovanie vodíka pomocou nanoporéznych materiálov. Teória za technológiou metalhydridu atď.

#### V. VEĽKOOBCHODNÁ VÝROBA AMONIAKU

Veľkovýroba amoniaku a jeho príspevok k vodíkovej ekonomike. Amoniak ako nosič vodíka. Elektrochemická oxidácia amoniaku na výrobu vodíka a dusíka. Lacné katalyzátory. Prípadová štúdia s TWI, UK.

#### VI. VODÍK V METALURGII

Príklad z Voestalpine v Linzi, ako bojovať proti emisiám CO<sub>2</sub> pri ekologickejšej výrobe ocele. Potenciál na mieste u globálneho výrobcu US Steel Košice. Transformácia „šedého“ vodíka vo výrobnom procese ocele na „zelený“.

#### VII. ANALÝZA RECYKLÁCIÍ A ŽIVOTNÉHO CYKLU PALIVOVÝCH ČLÁNKOV

Prierezové činnosti. Princíp uzavretej slučky. Ekologická recyklácia membránových elektród z palivových článkov. Posudzovanie životného cyklu palivových článkov a podpora vodíkových technológií v procesoch riadenia atď.

## VIII. ASPEKTY VODÍKA A BEZPEČNOSTI

Difúzia vodíka v kovových štruktúrach. Krehnutie vodíkom. Monitorovanie korózie plynovej infraštruktúry. Predikcia životnosti pomocou umelých neurónových sietí.

## IX. VZDELÁVACÍ A VIRTUÁLNY VÝCVIK SIMULÁCIE REALITY

Opisné textové a vizuálne informácie pre účastníkov prostredníctvom inteligentných okuliarov alebo náhlavných súprav zvyšujúce ich schopnosť vykonávať činnosti a simulovať procesy. Ďalším spôsobom, ako prilákať a efektívne naučiť operátorov, študentov a vo všeobecnosti mladú generáciu, je použitie humanoidného AI robota vybaveného terabajtmi informácií o aplikáciách vodíkových technológií, teórii, manuálom, legislatíve atď.

## X. TECHNOLÓGIA VODÍKA V AKČNÝCH PLÁNOCH CESTOVNÉHO RUCHU

Potenciál mobilnej výroby vodíka v malom meradle elektrolýzou s využitím miestnych obnoviteľných zdrojov energie (kombinácia malých veterných turbín, vodných mlynov a fotovoltických panelov v blízkosti vodných zdrojov (rieky, jazerá). Nabíjacia stanica pre vodíkové bicykle bez pripojenia k sieti. Vodíkové vodné skútre a výletné lode s podporou alternatívnych zdrojov. Flotila malých hybridných autobusov (palivové články/lítium-iónové batérie), podpora vozidiel na letisku v Košiciach, elektrická a vodíková zdieľaná flotila bicyklov atď. Koexistencia tradičného kováčstva v Múzeu metalurgie vs. príkladná najnovšia technológia využívajúca priamu redukciu železnej rudy vodíkom.

### Kapitola 8: Benefity pre verejnosť

#### Akčné plány

Atraktívna bezemisná verejná doprava na medzinárodné letisko Košice

V mestskej hromadnej doprave smerujúcej na medzinárodné letisko Košice sa doteraz nevyužívajú električky. Spojiť tento najdostupnejší spôsob mestskej hromadnej dopravy s vodíkovým autobusom by vytvorilo prepravu s nulovými emisiami.

Vozidlá by mali byť vybavené 60 kW palivovými článkami a batériami. Batérie budú hlavným zdrojom elektrickej energie pre elektromotor. Nejde teda o pohon energie priamo do motorovej časti z palivových článkov, ale najskôr sa uskladní energia v batériách (autobusy by boli vybavené dvoma kolesovými nápravami s integrovanými výkonovými motormi - 2x 125 kW). Odpadové teplo z palivových článkov bude odvádzané tepelným čerpadlom a môže tak efektívne slúžiť na vykurovanie interiéru. Vodíkový autobus je schopný na jedno natankovanie prejsť 350 km na dojazd, čo v prípade 2 km trasy Košice-Barca Letisko predstavuje viac ako 100 ciest bez doplnenia vodíkom. Štandardným balíkom je 8-ročná

servisná údržba vozidiel. Vodíkový autobus môže spojiť mestskú časť s letiskom, kde je električka navyše prístupná k turisticky zaujímavej soche pápeža Jána Pavla II. na stanici Barca. Prípadné čakanie na prestupy by prinieslo návštevníkov do miestneho parku, kde sa dá naviazať na gastro-kulinársku, kultúrnu alebo muzeálnu turistiku v kaštieli miestneho úradu. Je to príležitosť, ako začať propagovať čistú technológiu, ktorá bude prenajímateľná kvôli prijateľnej cene za cestu okolo 4 Eur (stále 3x lacnejšie ako taxi). Náklady na palivo pre vodíkové autobusy od roku 2017 (Bolzano, Taliansko) sú 0,90 eur za km, pričom náklady na údržbu toto dokonca prevyšujú 2,60 eur za km, ale stále sú celkové náklady na úrovni max. 3,62 eur za km. Dá sa ale predpokladať, že cena s časom a množstvom vodíkovej infraštruktúry poklesne.

Prípadným futuristickejším variantom by mohla byť malá verzia hybridnej električky, ktorá sa môže transformovať z čisto elektrickej verzie na „autobusovú“ električku vybavenú ďalšími kolesami a na časť trasy po asfaltovej ceste využívať vodíkové palivové články na výrobu elektriny pre elektrický motor, keď je mimo elektrickej siete.

#### Flotila vodíkových bicyklov pre zelenú a efektívnu mobilitu turistov

Pred rokom začala spoločnosť Antik zdieľať flotilu bicyklov, aby prilákala ekologický spôsob zdravej verejnej dopravy. Ďalším krokom je v mnohých mestách rozšírenie o flotilu elektrobicyklov, ktoré si vyžadujú nabíjanie a značné investície do údržby. Preto je potenciál vodíkových bicyklov atraktívny vďaka maximalizácii dojazdu až na 200 km a doplneniu paliva do 2 minút. Nielen samotný Košický samosprávny kraj, ale aj súkromní investori sú dnes už ochotní podporiť takúto iniciatívu vybudovaním infraštruktúry napr. pri atraktívnej vodnej ploche. V tomto prípade je veľmi perspektívne riešenie vo verzii „off-grid“ (t.j. mimo elektrickej siete) uplatniteľné v cykloturistických aktívnych oblastiach v celom regióne. Tu je rozhodujúci záujem potenciálnych operátorov o údržbu a technický servis, čo zvyšuje náklady, a tu by spolupráca so zamestnancami spoločností zaoberajúcich sa zberom a zvyškovým odpadom, spoločnosťami zaoberajúcimi sa odpadovým hospodárstvom alebo spolupráca s elektromobilnými stanicami zdala výhodná.

Plán výstavby prvej vodíkovej čerpaciej stanice v Košiciach je zásadný a môže byť strategickým rozhodnutím pre celé Slovensko v prvej fáze zavádzania vodíkových technológií. Môže to byť prvá regionálna vodíková stanica v krajine. Poloha v Košiciach je ideálna vďaka najbližšej čerpaciej stanici vo Viedni (Rakúsko) vo vzdialenosti 600 km, takže v dosahu dostupnom aj pre vodíkové auto na jedno natankovanie.

Vytvorí to príležitosť na nasadenie ďalších typov malých vozidiel, najmä lacných, vysoko efektívnych, hybridných, ľahkých vozidiel špeciálne navrhnutých na použitie vo veľkých spoločnostiach s vysokými emisiami CO<sub>2</sub>, na letiskách atď. a neskôr pre vozidlový park s vysoko špecializovanými vozidlami, akými sú policajné vozidlá, smetiarske vozidlá atď. Existujú dva spôsoby, ako to realizovať. Jedným z nich je vybudovanie štandardnej čerpaciej stanice s vysokou kapacitou (100 - 200 kg/deň) a s vysoko výkonnou technológiou (70 MPa) na tankovanie, príkladom je Holandsko (Valónsko, Weser-Ems) alebo výstavba na existujúcich menších staniach s nižšou kapacitou a tlakom, ako napríklad vo Veľkej Británii (Midlands a Plymouth).

Prvá varianta v Košickom kraji by pripadala v úvahu, ak sa v najbližšej budúcnosti rozhodnú pre veľkokapacitný elektrolyzér a produkciu a zhodnocovanie vodíka US Steel Košice, prípadne elektrárňou Vojany s blízkymi podzemnými zásobníkmi, prípadne SPP-

Distribúcia bude schopná transportovať zmes vodíka a zemného plynu v existujúcich potrubiach. Druhé varianty sú schodnejšie už aj dnes.

#### Vodíková infraštruktúra pri vodných plochách a cestovný ruch

Ďalším obrovským potenciálom je rozvoj mobilnej výroby vodíka v malom rozsahu elektrolýzou pomocou obnoviteľnej energie (fotovoltaických panelov, kombináciou malých veterných turbín, vodného mlyna a pod. v blízkosti vodného zdroja (riečka, jazero) na nabíjanie vodíkových bicyklov, malých výletných lodí, vodných skútrov atď. v „off-grid“ režime, t.j. bez pripojenia k elektrickej sieti. Potenciálne sa dá využiť na niekoľkých miestach, kde počas sezóny slúžia cyklistické dráhy turistom. Takto sa dá dodávať vodík pre miestnu sezónnu flotilu zdieľaných bicyklov, výletných lodí a skútrov. Jeden poskytovateľ by takto zvládol starostlivosť o flotilu vodíkových, elektrických bicyklov a skútrov nielen v Košiciach, ale môže variabilne meniť polohu infraštruktúry v ďalších lokalitách pri vodnej ploche s turistickým využitím.

Jedným z kritických problémov v tomto akčnom pláne sa môže zdať chýbajúci zdroj stabilnej elektriny, a práve v tomto kombinácia malého elektrolýzera, uskladnenia vodíka v tlakovej nádrži, uskladnenie prebytočnej OZE v batérii a palivový článok prinášajú elegantné riešenie.

Mobilnú verziu elektrolýzera je možné nainštalovať v oblastiach s najväčšou fluktuáciou cykloturistov, kde je potrebná existujúca infraštruktúra alebo minimálne investície do cyklistickej dráhy. Jedným z najlepších miest pre realizáciu tak tvoria vodné plochy ako Nad Jazerom, či Bukovec pri Košiciach, Zemplínska šírava, Vinianske jazero a tiež Domaša na pomedzí Košického a Prešovského kraja, kde existujú alebo sú vyvíjané ďalšie podporné aktivity, napríklad centrá vodných športov.

Atraktívne by mohli byť okrem bicyklov aj vodíkové výletné lode. So založením športových centier, parkov môže tak počet turistov rýchlo stúpať.

Ďalšou možnou kombináciou preferujúcich riešení sa črtá napr. v širšej oblasti Domaši (aj príležiace obce Košického kraja), kde je pridanou hodnotou historicky existencia metalurgického priemyslu so starým vodným mlynom ako súčasť múzea. Tiež porovnanie najnovšej zelenej technológie ako redukcie železnej rudy vodíkom vs. klasickej výroby železa za pomoci uhlia a kosku môže byť veľmi zaujímavé pre poučenie návštevníkov, ako môžeme pomôcť Zemi v boji s klimatickými zmenami a znižovať emisie CO<sub>2</sub> a skleníkové plyny, čím zvýšujeme povedomie verejnosti.

Vyššie spomínané zelené riešenia dopravy pre turistov si vyžadujú tzv. „offgrid“ riešenie. Už aj na Slovensku máme vysokošpecializované technické tímy, ktoré vedú ponúkať „know-how“ a majú referencie z realizácie úspešných projektov s vodíkom a batériami v zahraničí.

Je možná aj čisto slovenská realizácia (Antik Košice, Tesla Blue Planet Liptovský Mikuláš) v spolupráci so zahraničnými renomovanými výrobcami elektrolýzerov, zásobníkov na vodík a prídavnými technológiami, pričom navrhovaný modulárny spôsob by bol elegantným, rýchlym a dostatočne výhodným akčným krokom v blízkosti vodnej nádrže Zemplínska Šírava.

Výhodou takéhoto riešenia je jednoznačne modularita takéhoto systému, pričom sa vie prispôbiť kapacite a výkonu, možnosti pripojenia OZE (vietor), prípadne vie poslúžiť aj pre zdieľanie infraštruktúry s elektromobilmi, elektroautobusmi a pod.

Odhadovaná cena zahŕňajúca kryté stanovište pre bicykle s inštalovaným fotovoltickým systémom 10 kWp o ploche 40 m<sup>2</sup>, ročnou produkciou 10,2 MWe, batériovým systémom pre uskladňovanie prebytkov energie o kapacite 20kWh, elektrolyzéry s výkonom 2 x 2,4 kW, výrobou 45g H<sub>2</sub> za hod., kapacitou 5 kg s objemom nádrže 2m<sup>3</sup> a plniacim stojanom pre 20 vodíkových bicyklov a 4 výletné lode je pod investíciou 100 000 Eur.

### Košická detská historická železnica

Košická detská historická železnica je jednokoľajná úzkorozchodná železnica s dĺžkou 3,9 km. Nachádza sa v prímestskej rekreačnej zóne v údolí potoka Čermel' v severnej časti Košíc. Historická lokomotíva je veľmi príjemným nostalgickým spôsobom, ako sa stretnúť s históriou a vyskúšať, ako sa parný stroj posúva za pomoci výdobytkov prvej priemyselnej revolúcie pomocou spaľovania uhlia.

Na druhej strane produkuje značné množstvo emisií CO viditeľným spôsobom, no musí sa povedať, že atraktívnym pre deti. Ak bude niektorá z veteránskych lokomotív prestavaná na hybridnú, môže verejnosť porovnať tradičnú technológiu s najnovším prístupom za pomoci zelených technológií.

V dnešnej dobe, v časoch transformácie energie, je to jedna z veľmi relevantných akcií a investícia do lokomotívy, ktorá využíva vodíkové palivové články aj batériu, môže pomôcť vzbudiť verejné povedomie u celej škály ľudí rôzneho veku. Nehovoriac, že popri trati sa vedia opäť zapojiť vodíkové bicykle v prípade, že bude cyklotrasa predĺžená až do rekreačnej oblasti Aplinka.

### Energetický sebestačný internát pre študentov

Tento koncept by mohol byť založený s použitím solárnych panelov na strechách nízkonákladových obytných kontajnerových domčekov, ktoré premieňajú slnko na energiu. Energia sa bude zhromažďovať v batérii, ktorá sa použije na napájanie elektrolyzéra. Elektrolyzér vyprodukuje plyný vodík štiepením molekúl vody na vodík a kyslík. Dažďová voda by sa navyše mohla zachytávať do nádrže a neskôr destilovať na použitie v elektrolyzéri. Vodík je možné skladovať v podzemných tlakových nádržiach počas letného obdobia a využiť na vykurovanie počas zimných období. Tento variant existuje už 3 roky vo Švédsku a sú ním napájané celé obytné bloky. Ak je potrebná energia, môže sa vodík pomocou vodíkového palivového článku čistým a efektívnym spôsobom premeniť späť na elektrinu. Jediné emisie zo systému sú kyslík a čistá voda. Navrhovaná koncepcia je zároveň šetrná k mestu a počíta s plánom opatrení na zadržiavanie vody, ktorý je v súlade so stratégiou vodného hospodárstva Košického samosprávneho kraja.

### Vyhliadkové lety

Ďalším akčným plánom v oblasti cestovného ruchu doslova na rozšírenie obzoru z nadhľadu je využitie najnovších zelených technológií pre verejnosť vo forme vyhliadkových letov vodíkovou kvadroptérou ponad okolie Košíc a širokého okolia.

Pohon na vodíkové palivové články spĺňa požiadavky na rýchlosť, dojazd a užitočné zaťaženie. Každý 0,5kg stlačeného vodíka obsahuje viac ako 200-násobné množstvo energie, ktoré by sa dalo uložiť v 0,5 kg lítium-iónovej batérii. Toto zníženie hmotnosti je nevyhnutné na splnenie letových výkonov. Komerčne budú v najbližšom období dostupné kvadroptéry s doletom viac ako 500 km a maximálnou rýchlosťou cca. 170 km/h. Takáto vodíková helikoptéra vie byť natankovaná kvapalným vodíkom približne za 10 minút a kvapalné vodíkové palivo sa dá ľahko transportovať k miestu použitia aj cisternou.

Košice 12.1.2021

Spracovala: Mgr. Lenka Kožárová, vedúca oddelenia európskych záležitostí

Autori: Maroš Halama, Vladimír Zelenák, Tomáš Brestovič, Peter Hegeduš, Jaroslav Legemza, Andrej Oriňak, Karel Saksl, Zuzana Orságová Králová, Gabriela Baranová, Sergej Koperdák