

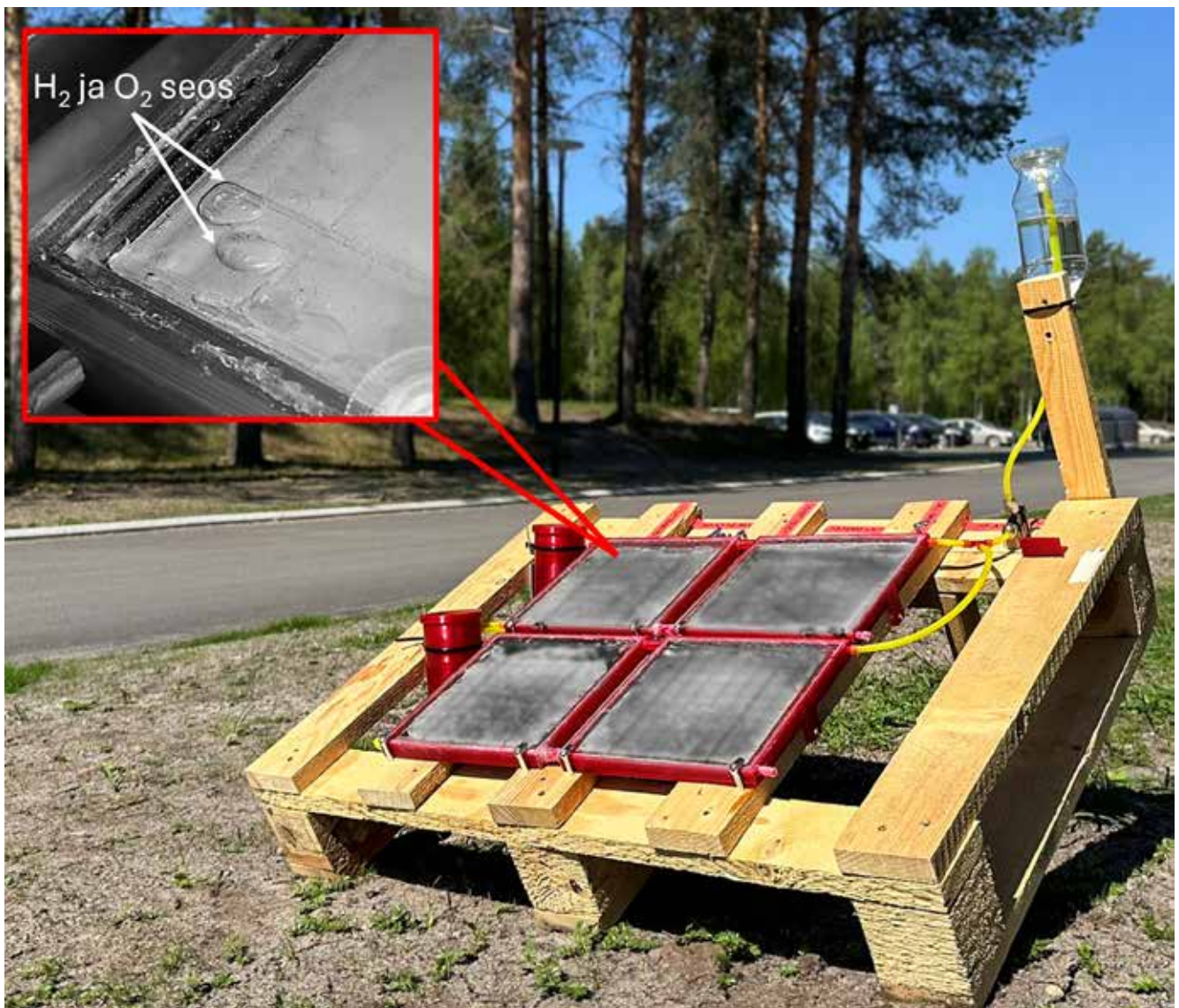
Vaihtoehtoiset puhtaan ja energiatehokkaan vedyn tuotantomenetelmät

Puhtaan vedyn tuotannossa perinteisen vesielektrolyysin rinnalle tarvitaan uusia ratkaisuja sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Elektrolyysivedyn haasteina ovat kuitenkin korkeat tuotantokustannukset ja siitä aiheutuva korkea vedyn hinta. Lisäksi

elektrolyysiin liittyy mm. vihreän sähkön tuotannon haasteita: tehon äärimmäinen vaihtelevuus ja potentiaaliset pitkät tuulettomat ajanjaksot. Lisäksi katalyyttimateriaalien kestävyys ja saatavuus vaativat myös tutkimusta ja tuotekehitystä skaalautuvuuden saavuttamiseksi. Globaalissa perspektiivissä

myös riittävän puhtaan veden saatavuus saattaa muodostua edullisen laajamittaisen vedyntuotannon haasteeksi.

Oulun yliopiston vedyntuotannon tutkimus keskittyy erityisesti ns. vaihtoehtoihin puhtaisiin ja energiatehokkaisiin menetelmiin. Tutkimusta tehdään osana Suomen



Auringonvalolla tuotettu vety näkyy isoina kuplina aurinkovetyreaktorin sisällä.

Akatemian rahoittamaa H2FUTURE-profilatiorahanketta sekä lukuisissa Strategisen tutkimuksen, Suomen Akatemian, Business Finlandin ja EU:n rahoittamissa projekteissa.

Termokatalyyttinen hajottaminen on TRL (Technology Readiness Level) -luokituksen tasojen 6-7 mukainen menetelmä. Siinä (bio)metaani hajotetaan vedyksi ja kiinteäksi hiileksi, joka on myös arvotuote. Valokatalyyttinen vedyn tuotanto on puolestaan lähitulevaisuuden menetelmä, joka tarjoaa mahdollisuuden niin kutsutun aurinkovedyn tuotantoon suoralla vesimolekyylin rikkomisprosessilla auringonvalon avulla, käytännössä sähkövapaasti.

Metaanipyrolyysi

Metaanipohjaisia vedyntuotantomenetelmiä tunnetaan useita, esim. höyryreformointi (steam methane reforming), metaanin osittaishapetus (methane partial oxidation) ja metaanipyrolyysi (methane pyrolysis). Näistä höyryreformointi on ns. ”state-of-the-art” teknologia, jota käytetään mm. vedyn tuotantoon ammoniakkituotannon yhteydessä. Höyryreformoinnin haasteena ovat kuitenkin korkeat hiilidioksidipäästöt (noin 8,8 kg CO₂ tuotettua vetykiloa kohden). Tämän vuoksi päästöttömät metaanipohjaiset vedyntuotantoratkaisut ovat tarpeen.

Eräs vaihtoehtoinen tuotantomenetelmä on metaanipyrolyysi, jossa metaani pilkotaan termisesti tai katalyyttin läsnä ollessa vedyksi ja kiinteäksi hiileksi. Menetelmässä energiankulutus on höyryreformoinnin tapaan alhainen, noin 35 kJ/mol vetyä. Metaanipyrolyysin parhaita puolia on metaanin hiilen muuntaminen kiinteäksi hiileksi, joten se ei vapaudu ilmakehään. Kyseessä on siis hiilen sidontaan perustuva menetelmä (decarbonizing). Katalyyttisesti toteutettuna metaanipyrolyysi voidaan tehdä suhteellisen alhaisessa lämpötilassa. Suomessa kehitetään myös Oulun yliopiston innovaatioon perustuvaa metaanipyrolyysilaitosta Hycamiten toimesta. Parhaillaan Kokkolan teollisuuspuistoon nousee pilottilaitos, jonka tuotantokapasiteetti on 2000 kg vetyä/vuosi. Katalyyttinen metaanipyrolyysi ei prosessina tuota CO₂-päästöjä lainkaan, ja sen elinkaaripäästöt asettuvat ns. vihreän vedyn luokkaan. Biometaania käytettäessä se on jopa hiilinegatiivinen.

Metaanipyrolyysissä vedyn ohella muodostuvan kiinteän hiilen rakennetta voidaan katalyyttin valinnalla muokata, ja hiili saattaakin olla jopa vetyä merkittävämpi lopputuote. Muodostuvan hiilen määrä on noin kolminkertainen muodostuvaan vetyyn

nähdessä. Oma innovaationsa on prosessissa käytettävä katalyytti. Se on metallinjalostuksen yhteydessä muodostuvista sivutuotteista tehty halpa, jalometallivapaa materiaali. Katalyyttin avulla voidaan paitsi alentaa reaktion tarvitsemää aktivoitumisenergiaa, myös pienentää reaktiolämpötilaa merkittävästi. Tämä mahdollistaa merkittävät säästöt energiakustannuksissa.

Aurinkovety: puhdasta vetyä suoraan auringonvalosta

Vedyn tuotanto suoran valokatalyyttisen prosessin avulla on menetelmä, jossa valokvanttien avulla viritettyjen elektronien ja prosessissa syntyvien elektroniukkujen avulla voidaan jakaa vesimolekyylin (H₂O) hapeksi (O₂) ja vedyksi (H₂). Prosessi on samankaltainen kuin vedyn elektrolyytissä tuotannossa, jossa vastaavasti hyödynnetään sähköä vesimolekyylin pilkkomiseen. Valokatalyyttinen prosessi on kuitenkin potentiaalisesti suoraviivaisempi ja kustannustehokkaampi lähestymistapa vedyn tuotantoon, sillä sitä varten ei tarvitse rakentaa valtavaa uusiutuvan sähkön infrastruktuuria.

Valokatalyytiin pohjautuva aurinkovety on erittäin lupaava ratkaisu, joka kuitenkin vaatii huomattavasti jatkokehitystyötä (TRL-taso on tällä hetkellä 1-2). Suurimpina haasteina ovat tuotannon tehokkuus sekä skaalattavuus. Tällä hetkellä valokatalyyttinen prosessi ei ole hyötysuhteeltaan tarpeeksi tehokas, ja reaktoriskaalaus on vasta kehittyneenä. Katalyyttimateriaalit kehittyvät kuitenkin erittäin nopeasti suuremman kvanttitehokkuuden saavuttamiseksi. Esimerkiksi paikallista magneettikenttää hyödyntämällä on saavutettu ennennäkemätön 11,9 % aurinko-vety-hyötysuhde hiukkasmaisilla valokatalyyteillä. Indium-galliumnitridipohjaisilla (InGaN) valokatalyyteillä on saavutettu 9,2 % hyötysuhde käyttämällä puhdasta vettä ja keskittynyttä auringonvaloa. Tämä osoittaa menetelmän toimivuuden ja tehokkuuden vedyn tuottamisessa luonnollisesti auringonvalosta ja vedestä. Yhdysvaltojen energiaministeriön DOE asettama käytännön sovellusten tavoite on 10 %.

Oulun yliopiston tutkijat ovat saavuttaneet merkittävää edistystä tällä saralla. Tutkijat ovat luoneet ”ulottuvuudellisesti para-

doksaalisia” materiaaleja, joissa yhdistetään tasomaisia kaksikulotteisia puolijohdemateriaaleja vieläkin pienempien rakenteiden, kuten lankamaisten yksikulotteisten nanoputkien tai erittäin pienten ”nollakulotteisten” nanopisteiden kanssa. Nämä materiaalit eli taidokkaasti rakennetut ns. heterorakenteet ovat osoittaneet merkittäviä parannuksia kyvyssä tuottaa aurinkovetyä verrattuna perinteisiin katalyytteihin. Esimerkiksi ZnIn₂S₄/Ni(dmgH)₂ -pohjaisilla valokatalyyteillä on saavutettu huomattava 36,3 mmol/g/h vedyn tuotto prosentti UV-Vis valossa ja korkean näennäisen kvanttitehokkuuden (AQE) arvo 20,45%. Tämä osoittaa potentiaalain kehittää tehokkaita valokatalyyttejä vedyn tuotantoon luonnollisessa auringonvalossa ja puhtaassa vedessä.

Tehokkuuden kasvattamiseksi kehitetään skaalattavia valokatalyyttisiä kalvoja. Kalvot ovat ohuita kaksikulotteisia arkkeja, joihin on kiinnitetty tehokkaita valokatalyyttisiä heterorakenteita. Niillä on useita etuja ja juhemaisiin katalyytteihin verrattuna: ne ovat kestävämpiä, edullisempia sekä helpommin sovellettavissa jatkokäyttöä varten. Lisäksi niiden suurempi pinta-ala maksimoi vuorovaikutusta katalyyttin, auringonvalon ja veden välillä, mikä tarkoittaa entistä tehokkaampaa vedyn tuotantoa. Valokatalyyttiset kalvot ovat päässeet jo testikäyttöön 3D tuotetuissa laboratorioreaktoreissa. (Kuva 1).

Tiellä nopeaan ja kestäväan vetysiirtymään

Vetysiirtymällä ja vedyllä on suuri rooli tulevaisuuden päästöttömässä energiataloudessa. Oulun yliopiston tutkijat uskovat kehitettävien vaihtoehtoisten, puhtaiden ja energiatehokkaiden vedyntuotantomenetelmien tarjoavan mahdollisuuden nopeaan ja kestäväan vetysiirtymään. ▲

KIRJOITTAJAT:

PROFESSORIT: WEI CAO, MARKO HUTTULA, ULLA LASSI

TUTKIJAT: ZOUHAIR EL ASSAL, YOUSRA EL JEMLI, VEERA JUNTUNEN, FILIPP TEMEROV, SHUBO WANG
OULUN YLIOPISTON KESTÄVÄN KEMIAN TUTKIMUSYKSIKKÖ SEKÄ NANO- JA MOLEKYYLISYSTEEMIEN TUTKIMUSYKSIKKÖ

