

VIHREÄN SIIRTYMÄN TUOTEKEHITYS - Vetyvärit



Vedyn eri tuotantomuotoja ja värimääritelmät

Johdanto

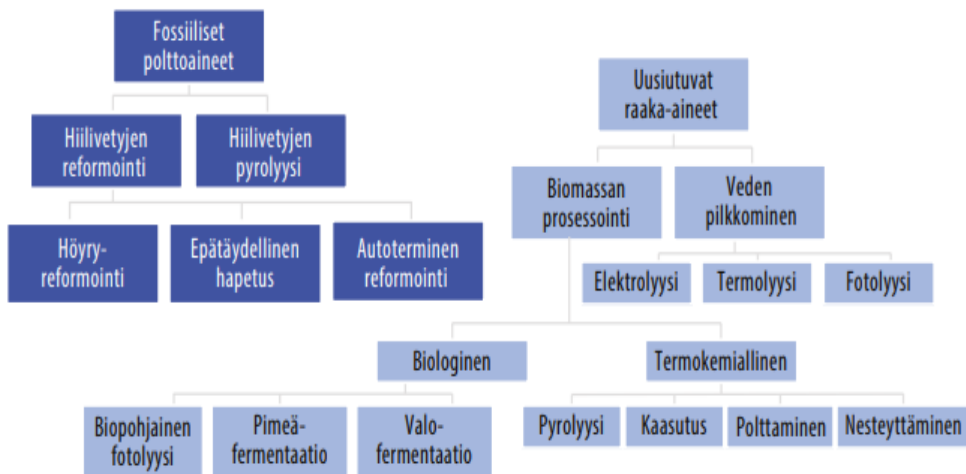
Vaikka vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine, vapaana alkuaineena sitä ei maapallolla esiinny. Vetyä voidaan kuitenkin valmistaa monin tavoin ja tässä osiossa tutustutaan erilaisiin tuotantomenetelmiin sekä niiden määritelmiin. Vety ei esiinny normaalioloissa vetymolekyylinä, vaan on sitoutuneena yhdisteisiin, kuten veteen ja hiilivetyihin. Tämän vuoksi vedyn käyttöä varten se tulee jollain tavalla erottaa näistä yhdisteistä. Vedyn tuotanto on siten aina energiaa kuluttava prosessi. [1.]

Vedyn erotus- tai tuotantomenetelmiä on useita, joista tällä hetkellä yleisin maailmanlaajuisesti on höyryreformointi. Höyryreformoinnissa vetyä tuotetaan pääasiassa fossiilisesta maakaasusta. Vedyn tuotannossa ollaan kuitenkin siirtymässä yhä enemmän uusiutuvan vedyn tuotantomuotoihin. Suomessakin suunniteltuja tai toteutuksessa olevia hankkeita on jo paljon. Uusiutuvan eli ns. vihreän vedyn tuotannossa merkittävin teknologia on veden hajoitus elektrolyysillä käyttäen uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. Vihreän vedyn odotetaan olevan suosituin tuotantotapa ja taloudellisesti kilpailukykyinen maakaasun hintojen kanssa vuoteen 2050 mennessä. [1.], [2.]

Moni tämän materiaalin vedyn tuotantoteknologioista on vielä teoria tai kehitysasteella tällä hetkellä, ja näille tuotantoteknologioille ei ole olemassa kansainvälisiä standardeja ja säännöksiä.

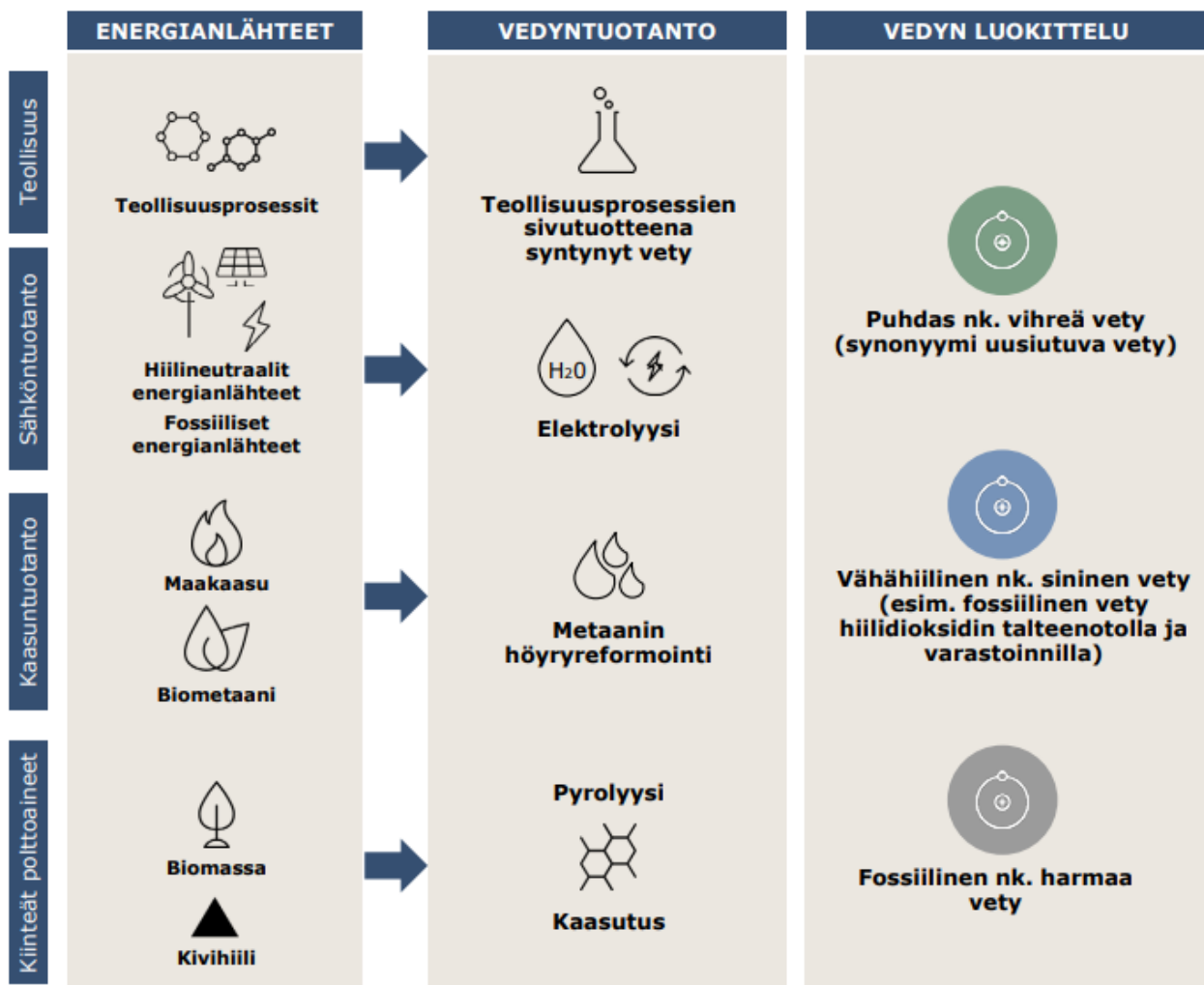
Vedyn tuotannon raaka-aineet

Vetyä voidaan valmistaa monella eri menetelmällä, joko uusiutuvista raaka-aineista tai fossiilisista polttoaineista. Kuva ...alla esittää vedyn valmistuksen pääasialliset vaihtoehdot fossiilisista ja uusiutuvista lähteistä. Molempien, sekä fossiilisten että uusiutuvien raaka-aineiden tapauksissa vaihtoehtoisia prosesseja tuotantoon löytyy useita. Uusiutuvia lähteitä hyödyntävä vedyn tuotanto voidaan jakaa raaka-ainelähteensä mukaisesti vettä tai biomassaa käyttäviin prosesseihin. Biomassaa käyttäviä prosesseja on edelleen niin biologisia kuin termokemiallisia. [3.]



Kuva 1. Pääasialliset vaihtoehdot vedyn tuotantoon [3.]

Vetyä voidaan tuottaa päätuotteena (dedicated production) tai vety voi olla sivutuote jostakin muuta teollisesta prosessista. IEA:n (2019) mukaan päätuotteena tuotetusta vedystä tuotetaan nykyisin 99 % fossiilista polttoaineista: maakaasusta (76 %) ja kivihiilestä (23 %). Nykyisin noin kolmannes maailman vedyn tuotannosta syntyy sivutuotteena prosessista, jonka pääasiallinen tuote on jokin muu kuin vety. [3.]



Kuva 2. Vedyn luokittelu [3.]

Vedyn värien määritelmät

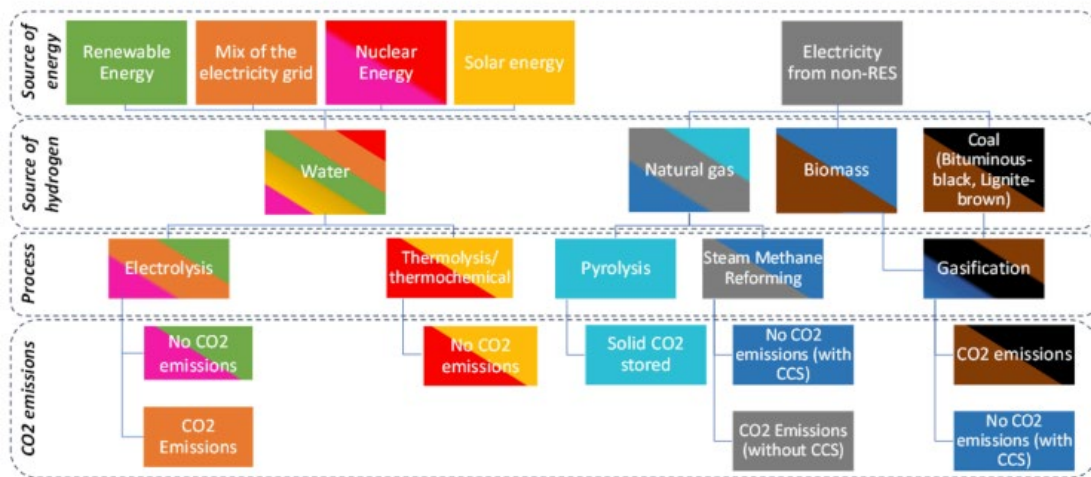
Vedyn tuotantoprosesseja on niin monia, että tuli tarve erotella tuotantomuodot toisistaan ja jotta voidaan erottaa vety sen lähteen perusteella. Vedyn määrittäminen alkoi ensiksi määrittämällä vihreä ja harmaa vety, koska haluttiin erottaa ”saastuttamaton” vedyn tuotanto ja siihen liittyvät hiilidioksidipäästöt. Vihreän vedyn määritelmä ymmärretään nykyään laajasti vedyksi, joka on tuotettu uusiutuvilla energialähteillä toimivalla vesielektrolyysillä. Sitten värien määrittäminen on laajentunut viittaamaan jokaista eri vedyn tuotantopolkua. Toistaiseksi värikoodeista ei ole ollut yleistä standardoitua sopimusta. Tässä materiaalissa käydään yleiskatsaus kirjallisuudessa määritetyistä väreistä. Värien avulla voidaan verrata myös vedyn tuotannon ympäristövaikutuksia, tuotantokustannuksia ja muita parametreja.

Tässä materiaalissa mainitut monet määritelmät eroavat kirjallisuuden, raporttien ja kansallisten suunnitelmien välillä. Tutkituista raporteista, papereista, lehdistötiedotteista ja kansallisista suunnitelmista. Yleisimmät raportoidut värit ovat harmaa, vihreä ja sininen vety seuraavilla määritelmillä:

- Vihreä: vety, joka on tuotettu vesielektrolyysistä, joka saa voiman uusiutuvista energialähteistä.
- Harmaa: vety, joka on tuotettu höyrymetaanireformoimalla ilman hiilidioksidipäästöjen talteenottoa ja varastointia tai hyödyntämistä.
- Sininen: vety, joka on tuotettu höyrymetaanireformoimalla, mukaan lukien hiilidioksidipäästöjen talteenoton ja varastoinnin tai hyödyntämisen.

Moniin määritelmiin kuuluu myös turkoosi vety, joka syntyy metaanin pyrolyysistä, josta syntyy vetyä ja kiinteää hiiltä.

Tällä hetkellä käydään keskusteluja siitä, millä värillä ydinenergialla tuotettu vety tulisi määrittää. Ydinvoimalla tuotettua vetyä on kuvattu vaaleanpunaisella violetilla sekä punaisella värillä eri julkaisuissa. [2.]

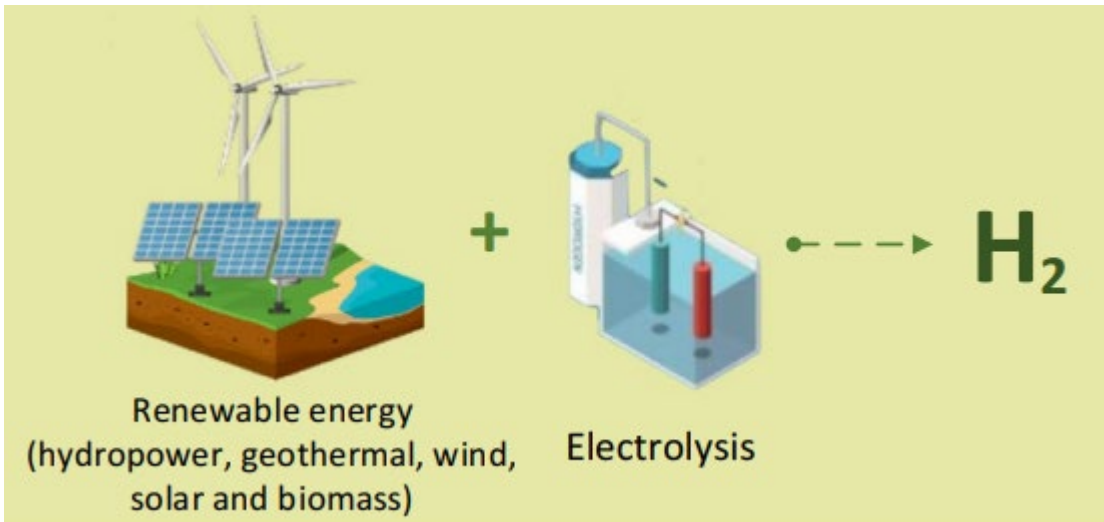


Kuva 3. Monissa artikkeleissa vedyn värien määritelmää kuvataan sateenkaarena tai riikinkukkona. [2.]

Vihreä vety

Elektrolyysi

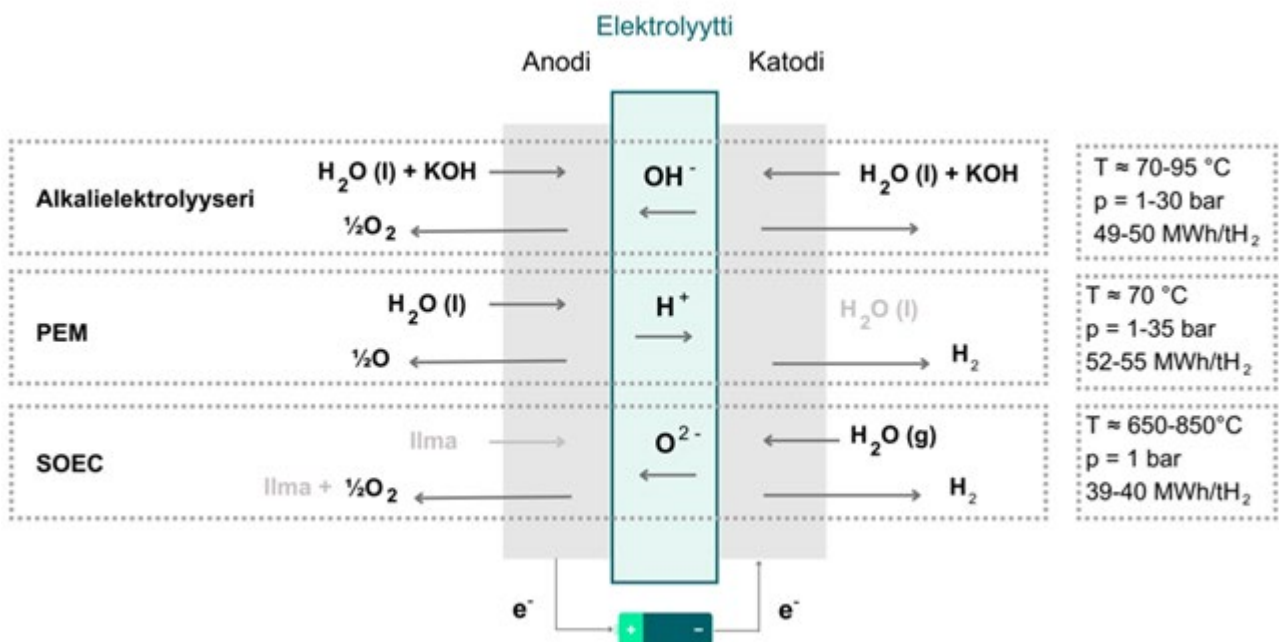
Kun vety tuotetaan vesielektrolyysillä käyttämällä ja uusiutuvia energialähteitä avulla puhutaan vihreästä vedystä. Vesielektrolyysi on puhdas ja ympäristöystävällinen tapa tuottaa vetyä. Energialähteenä voidaan käyttää vesi-, aurinko-, tuulivoimaa sekä geotermistä energiaa.



Kuva 4. Vedyn värien luokitus vihreä vety [4.]

Elektrolyysissä veden vety ja happi erotetaan toisistaan sähkökemiallisesti. Prosessi kuluttaa paljon sähköä, tyypillisesti kertaluokkaa 55 kWh/kg vetyä. Prosessissa käytetystä sähköenergiasta n. 30 % muuttuu lämmöksi. Veden elektrolyysissä syntyvää happea voidaan käyttää hyödyksi muissa teollisissa prosesseissa.

Elektrolyysereitä on erityyppisiä ja ne toimivat toisistaan poikkeavilla tavoilla, esim. alkalielektrolyysi, protoninvaihtomembraani elektrolyysi (PEM), sekä kiinteäoksidi elektrolyysi (SOEC) (Kuva 5.). Näistä yleisin ja pisimpään käytössä ollut tekniikka on alkalielektrolyysi. [1.]



Kuva 5. Elektrolyysikennojen toimintaperiaatteet

Alkalielektrolyysissä käytetään elektrolyysiliuoksena emäksistä liuosta, tyypillisesti kaliumhydroksidia. Metallielektrodien välissä on huokoinen kalvo, jonka tarkoitus on estää tuotekaasujen, vedyn ja hapen, sekoittuminen. Vesimolekyyli hajoaa katodilla vedyksi ja

hydroksidi-ioniksi. Hydroksidi-ioni kulkee kalvon läpi anodille, jossa kaksi hydroksidi-iona reagoi muodostaen happea ja vettä. Alkalikennon käyttölämpötila on tyypillisesti 70-95 °C ja käyttöpainne 1-30 bar.

Protoninvaihtomembraanielektrolyysissä elektrolyyttinä käytetään kiinteää erikoismuovista valmistettua protoneja johtavaa kalvoa. Samoin kuin alkalielektrolyysissä, kalvo erottaa syntyvät tuotekaasut toisistaan. Anodi ja katodi puristetaan kalvoa vasten, tai ne ovat integroitu kalvoon, jolloin muodostuu elektrodikokoonpano. Anodilla vesi hajoaa hapeksi ja protoneiksi (H⁺), jotka liikkuvat kalvon läpi katodille. Katodilla protonit reagoivat elektronien kanssa muodostaen vetykaasua. PEM-kennon käyttölämpötila on tyypillisesti 50-80 °C ja käyttöpainne 1-35 bar. PEM-elektrolyysissä syntynyt vety on yleensä hyvin puhdasta (99,99%) ilman erillistä puhdistamista.

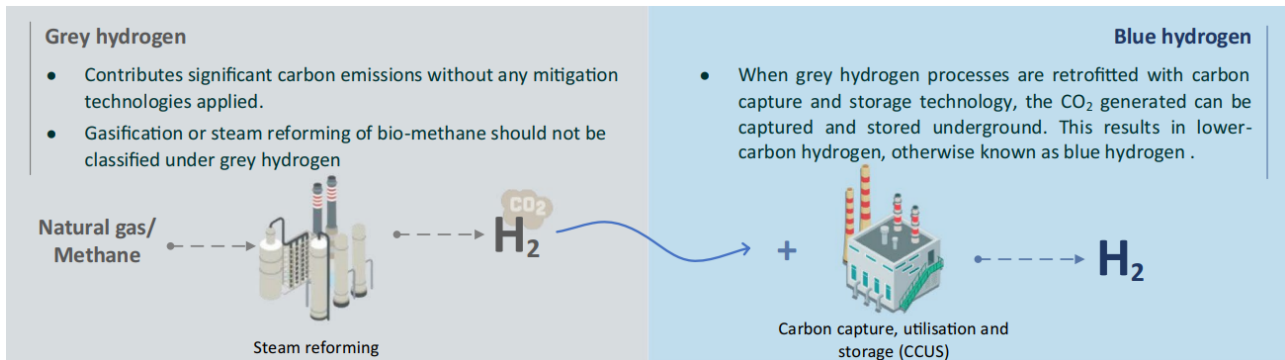
Kiinteäoksidi elektrolyysikennossa (SOEC) huokoisten elektrodien välissä on kiinteä ioninen sähköä johtava elektrolyytti. Katodilla vesi yhdistyy ulkoisesta piiristä peräisin olevien elektronien kanssa muodostaen vetykaasua ja negatiivisesti varautuneita happi-ioneja. Happi-ionit kulkeutuvat kiinteän keraamisen elektrolyyttikalvon läpi ja reagoivat anodilla muodostaen happikaasua ja elektroneja ulkoiseen piiriin. SOEC-kenno vaatii korkean käyttölämpötilan, tyypillisesti 650-850 °C. SOEC-kennon paineistaminen on erittäin haastavaa, ja sen johdosta SOEC-kennon käyttöpainne on lähellä vallitsevaa ilmanpainetta.

Alkali- ja PEM-elektrolyysereiden suunnittelussa ja operoinnissa on huomioitava ja estettävä luotettavasti tuotekaasujen, hapen ja vedyn, liiallinen sekoittuminen ja syttymiskelpoisten kaasuseosten syntyminen elektrolyysilaitteistossa tai muissa tuotekaasujen käsittelylaitteissa ja kaasuvarastoissa. Tuotekaasujen sekoittumisen määrä riippuu elektrolyysilaitteiston suunnittelusta ja voi tapahtua esim. liian suuresta paine-erosta elektrolyysikennon erotuskalvon yli, erotuskalvon vahingoittumisesta väärin olosuhteiden vuoksi tai liian matalasta nestepinnasta elektrolyysilaitteiston neste-kaasuerottimissa. [1.]

Termokemiallinen veden hajotus

Toinen mahdollinen vihreän vedyn tuotantomuoto voi tulevaisuudessa olla termokemiallinen veden hajotus. Termokemiallista veden hajotusta pidetään vahvana ehdokkaana pitkän aikavälin sekä suuremman mittakaavan teknologiana vedyn valmistukseen. Menetelmä perustuu toistuviin kemiallisten reaktioiden sarjoihin. Näissä käytetään välireaktioita sekä kemikaaleja, jotka kiertävät prosessissa siten, että kokonaisreaktiot ovat tasapainossa. Termokemiallinen veden hajotus voi tapahtua pelkän lämpöenergian avulla tai voidaan käyttää toista ulkoista energialähdettä, jolloin sitä kutsutaan hybridi-termokemialliseksi veden hajotukseksi. [1.]

Harmaa ja sininen vety



Kuva 6. Vedyn värien luokitus harmaa ja sininen vety [4.]

Reformointi

Harmaa vety tuotetaan kaasumaisen maakaasun katalyyttisellä höyryreformoinnilla hiilivedystä. Höyryreformointi aloitetaan poistamalla maakaasusta rikkiyhdisteet. Reformointiprosessi sisältää kaksi vaihetta; ensimmäisessä hiilivety sekoitetaan höyryn kanssa ja syötetään putkimaiseen katalyyttiseen reaktoriin. Prosessissa syntyy vety-hiilimonoksidi-kaasuseos sekä pienempi pitoisuus hiilidioksidikaasua.

Toisessa vaiheessa, vesikaasun siirtoreaktiossa (water gas shift), hiilimonoksidi ja vesihöyry reagoivat katalyytin vaikutuksesta, jolloin muodostuu hiilidioksidia sekä enemmän vetyä. Lopuksi valmistetusta vedystä erotetaan hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet PSA-yksikössä (pressure-swing adsorption). [1.]

Höyryreformointi on hyvin yleinen vedyn tuotantomenetelmä ja prosessissa käytettäviä raaka-aineita ovat yleisimmin käytetyn maakaasun lisäksi metanoli, kevyemmät hiilivedyt sekä muut happipitoiset hiilivedyt. Harmaan vedyn tuotantomenetelmä on taloudellisesti tehokas, mutta siitä syntyy hiilidioksidipäästöjä, mikä voi olla haitallista ympäristölle. [1.]

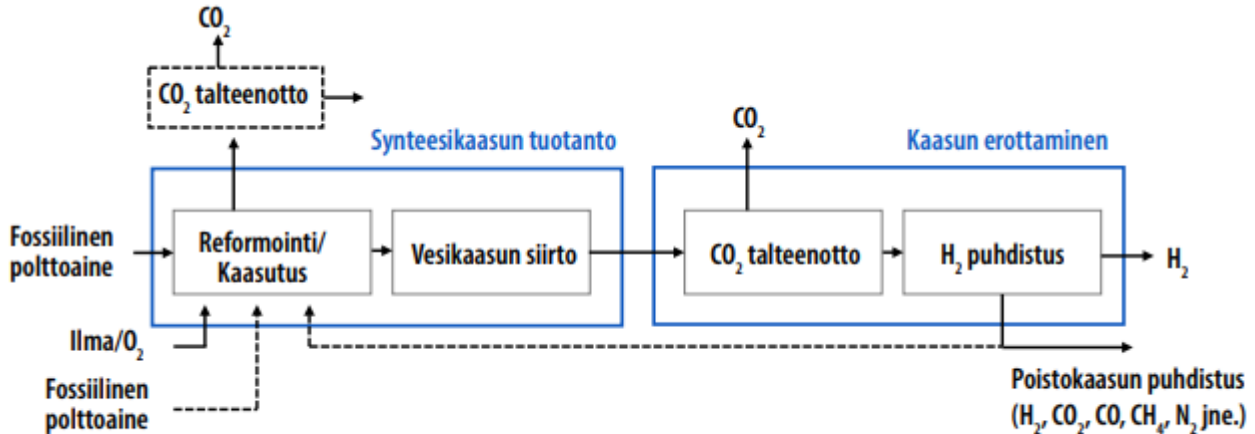
Epätäydellinen hapetus

Reformointi voidaan suorittaa myös osittaisella hapettumisella. Osittaishapetus toimii kaasutuksen tavoin pienemmällä happimäärällä, kuin mitä stoikiometrisesti tarvitaan täyteen palamiseen. Osittaishapetuksella vetyä voidaan valmistaa raskasöljystä, metaanista tai biokaasusta. Pääasiallisena hapettajana käytetään puhdasta happea. Osittaishapetus voidaan tehdä katalyytin avulla tai ilman sitä.

Osittaishapetus ilman katalyyttiä tapahtuu korkeassa lämpötilassa, yleensä noin 1300–1500 asteessa, paineen ollessa 30–80 bar. Raakamateriaali kaasutetaan hapen kanssa, jolloin syntyy vetyä, hiilimonoksidia, hiilidioksidia, vettä ja metaania. Synteesikaasussa esiintyy myös rikkiyhdisteitä ja sivutuotteena syntyy nokea. Katalyytin avulla käytettävää lämpötilaa voidaan laskea. Tällöin reaktio saadaan tapahtumaan 700–1000 asteessa. [1.]

Sininen vety

Harmaan vedyn tuotannon hiilidioksidi voidaan ottaa talteen ja varastoida tai hyödyntää raaka-aineena, mikä vähentää päästöjä ja tällöin tuotantoa kutsutaan **siniseksi veddyksi**. Tämä lisäprosessi kuitenkin nostaa vedyn hintaa. Sininen vety ei ole myöskään yhtä ympäristöystävällistä vihreän vetyyn verrattuna, koska sen ensisijaisena raaka-aineena käytetään fossiilisia polttoaineita. [1.]



Kuva 7. Periaatekuva hiilidioksidin talteenottoon perustuvasta vedyntuotannosta. [3.]

Kuvassa 7. esitetään esimerkki hiilidioksidin talteenottoon perustuvasta, fossiilista raaka-ainetta hyödyntävästä vedyn tuotantoprosessista. Prosessissa syntyvä hiilidioksidi erotetaan ja otetaan talteen. Hiilidioksidi on tällöin mahdollista varastoida pitkäaikaisesti (CCS) tai hyödyntää raaka-aineena (CCU). [3.]

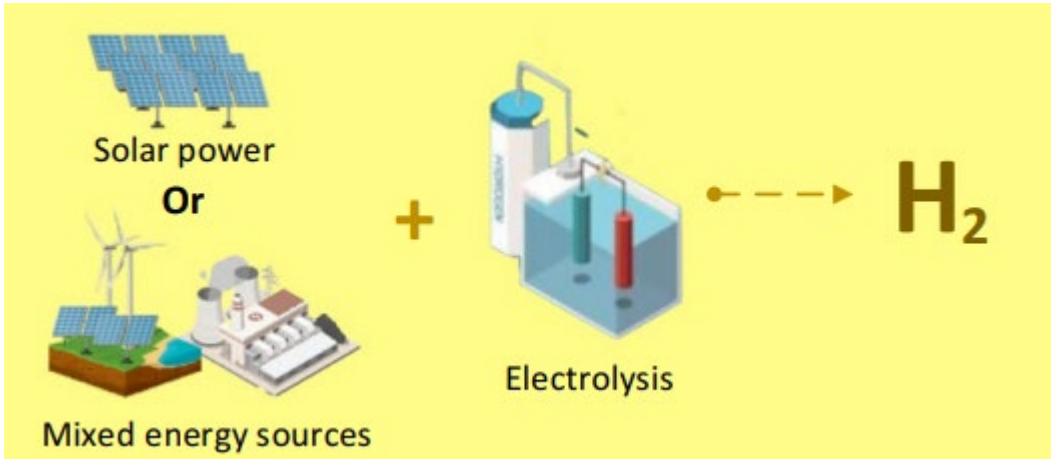
Kuva havainnollistaa kuinka vetyä valmistetaan fossiilisista polttoaineista hiilidioksidin talteenoton avulla. Kuvassa mustat viivat viittaavat kaasutukseen tai autotermiseen reformointiprosessiin. Katkoviivalla kuvaan on merkattu muut virtaukset. Hiilidioksidin talteenoton ja vedyn puhdistuksen järjestys kaasun erottelussa riippuvat käytetystä teknologiasta. [3.]

Keltainen vety

Keltaisen vedyn määritelmä ei ole yksinkertainen vaan siitä on usea toisistaan poikkeava määritelmä.

Joissakin artikkeleissa se on vihreän vedyn kaltainen, joka on peräisin aurinkovoimalla toimivasta elektrolyysistä. Mutta aurinkovoimalla toimivat metaanipyrolyysi, biomassan kaasutus ja veden fotokatalyyysi vedyntuotantoprosessit eivät ole luokiteltu keltaisen vedyn alle.

Toisissa määritelmissä se on määritetty vedyksi, joka on johdettu energiaseoslähteistä, jotka voivat sisältää uusiutuvaa energiaa ja fossiilisia polttoaineita. [4.]



Kuva 8. Vedyn värien luokitus keltainen vety [4.]

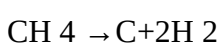
Turkoosi vety

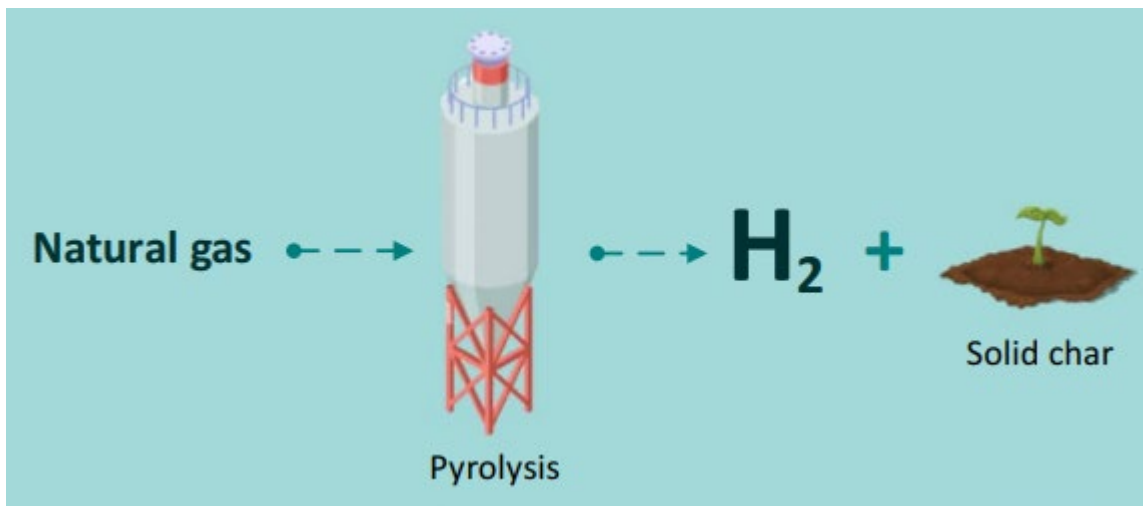
Pyrolyysi

Turkoosi vety valmistetaan metaanipyrolyysi prosessilla, jossa metaania (CH₄) hajotetaan sen osiin ilman happea, yleensä korkeassa lämpötilassa tyypillisesti 700 - 1200 Celsius asteessa ja sitä voidaan tehostaa eri menetelmillä, kuten termisellä, plasman tai sähkömagneettisen induktion avulla.

Metaanipyrolyysi etuna on, että siitä syntyvä vety ei aiheuta CO₂-päästöjä ja kiinteää hiiltä voidaan käyttää maatalous tarkoituksiin. Haasteita ovat muun muassa korkeat lämpötilat, jotka vaativat energiaa, ja kiinteän hiilen käsittely. Metaanipyrolyysi on aktiivisen tutkimuksen kohteena, ja sen odotetaan voivan olla osa tulevaisuuden kestävien energiaratkaisujen joukkoa, erityisesti vedyntuotannossa. Turkoosin vedyn tuotanto on kuitenkin vielä kokeiluasteella.

Metaanipyrolyysin reaktio voidaan kirjoittaa seuraavasti:

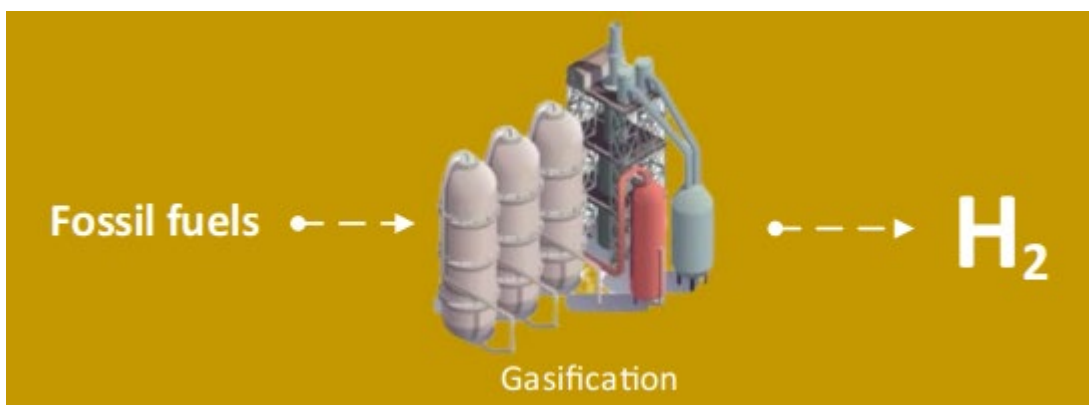




Kuva 9. Vedyn värien luokitus turkoosi vety [4.]

Ruskea ja musta vety

Myös hiilen kaasutus on menetelmä, jota käytetään vedyn tuottamiseen. Se on kuitenkin erittäin saastuttava prosessi, ja CO_2 ja hiilimonoksidi syntyvät sivutuotteina ja vapautuvat ilmakehään. Tämä tuotantomuoto aiheuttaa todella suuret kasvihuonepäästöt sekä terveysongelmia maissa jossa sen tuotantoa on paljon. [2.]



Kuva 10. Vedyn värien luokitus ruskea vety [4.]

Kivihiilestä valmistetut mustat ja ruskeat värit viittaavat bitumisen (musta) ja ruskohiilen (ruskean) tyyppiin.

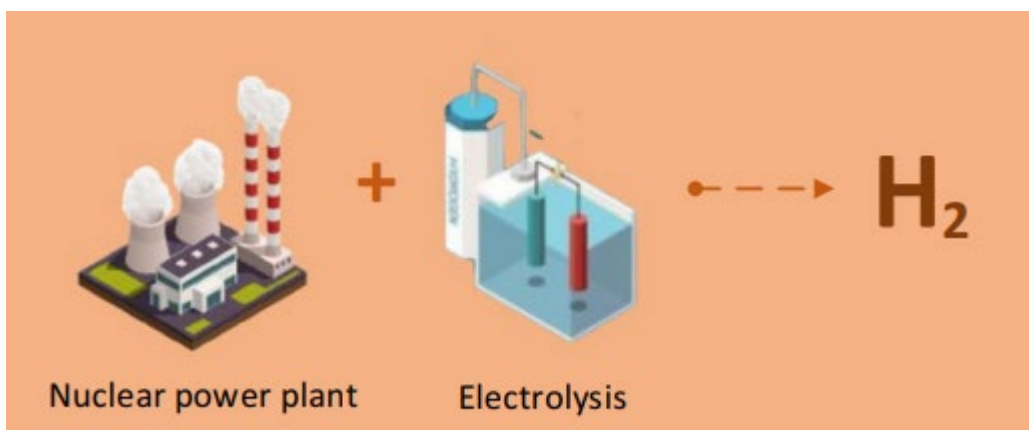
Kaasutus on prosessi, jossa palavaa materiaalia osittain hapetetaan ja kuumennetaan. Tuotteena saadaan synteetikaasua. Toisin kuin useimmat polttopohjaiset prosessit, kaasutusprosessit toimivat ilman ylimääräistä happea. Näin varmistetaan lähtöaineen lähes täydellinen muuntautuminen synteetikaasuksi. Kaasutusta käytetään vedyn valmistamiseksi kivihiilestä. [1.]

Prosessi alkaa sekoittamalla hiilipitoista materiaalia (biomassa, kivihiili) ja happea, joka lämmitetään jopa 1800 asteeseen, jolloin hiili kaasuuntuu. Synteetikaasu jäädytetään ja se puhdistetaan epäpuhtauksista siten, että jäljelle jää vedyn lisäksi vain hiilimonoksidi ja -dioksidi. Puhdistettu synteetikaasu siirretään shift-reaktoriin, jossa siihen sekoitetaan höyryä. Reaktiossa hiilimonoksidi hapettuu hiilidioksidiksi. Synteetikaasu sisältää tämän vaiheen jälkeen pääasiassa vetyä ja hiilidioksidia, jotka erotetaan toisistaan. [1.]

Pinkki vety

Myös ydinvoimalla voidaan tuottaa sähköenergiaa vedyn tuotantoon. Ydinvoimalaitoksissa tuotettua sähköä voidaan käyttää vesielektrolyysiprosessiin, jossa vesi muutetaan vedyksi ja hapeksi sähköenergian avulla. Näin voidaan tuottaa puhdasta vetyä, mutta ydinvoiman käyttö on myös herättänyt turvallisuuskysymyksiä ja ydinen energian vastustusta.

Tulevaisuudessa ydinreaktoreista saatavaa ylimääräistä energiaa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää elektrolyyttilaatuisen vedyn tuottamiseen massiivisessa mittakaavassa hiilivetyjen reformoinnin sijaan.



Kuva 11. Vedyn värien luokitus pinkki vety [4.]

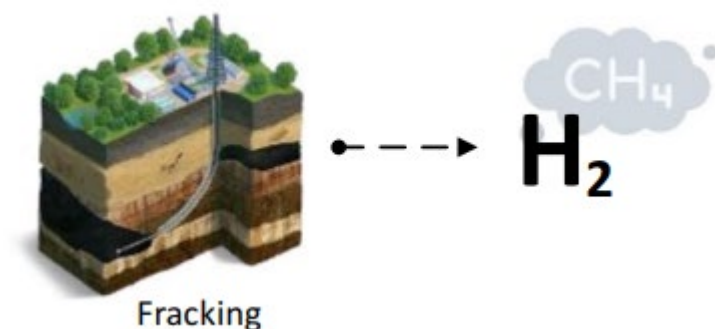
Muita ydinvoimalla tuotettuja vetyjä ovat punainen ja purppura vety.

Punainen vety tuotetaan termolyysi/termokemiallinen prosessissa korkeassa lämpötilassa.

Purppura vetyä valmistetaan käyttämällä ydinvoimaa ja lämpöä veden yhdistetyn kemoterminen elektrolyysin avulla.

Valkoinen vety

Valkoisella vedyllä tarkoitetaan luonnon maankuoressa esiintyvää vetyä, jonka esiintymiä on esimerkiksi tulivuorissa, kuumissa lähteissä, maaperän esiintymät sekä hydrotermisinä esiintyminä. On arvioitu, että valkoisen vedyn vuotuinen kokonaisvirtaus (23 Tg/vuosi) on saatavilla maailmanlaajuisesti ja sitä ei hyödynnetä. Syynä hyödyntämättömään valkoiseen vetyyn ovat suuret metaanimäärät, jotka vapautuisivat kasvihuonekaasuina vedyn ohella särötysprosessin (fracking) aikana. Jotta tätä tekniikkaa voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa, vakiintuneet metaanin talteenottotekniikat on integroitava prosessiin. Myöskin valkoisen vedyn hyödyntäminen ja talteenotto ovat vielä kokeilu ja teoria-asteella. [2.]

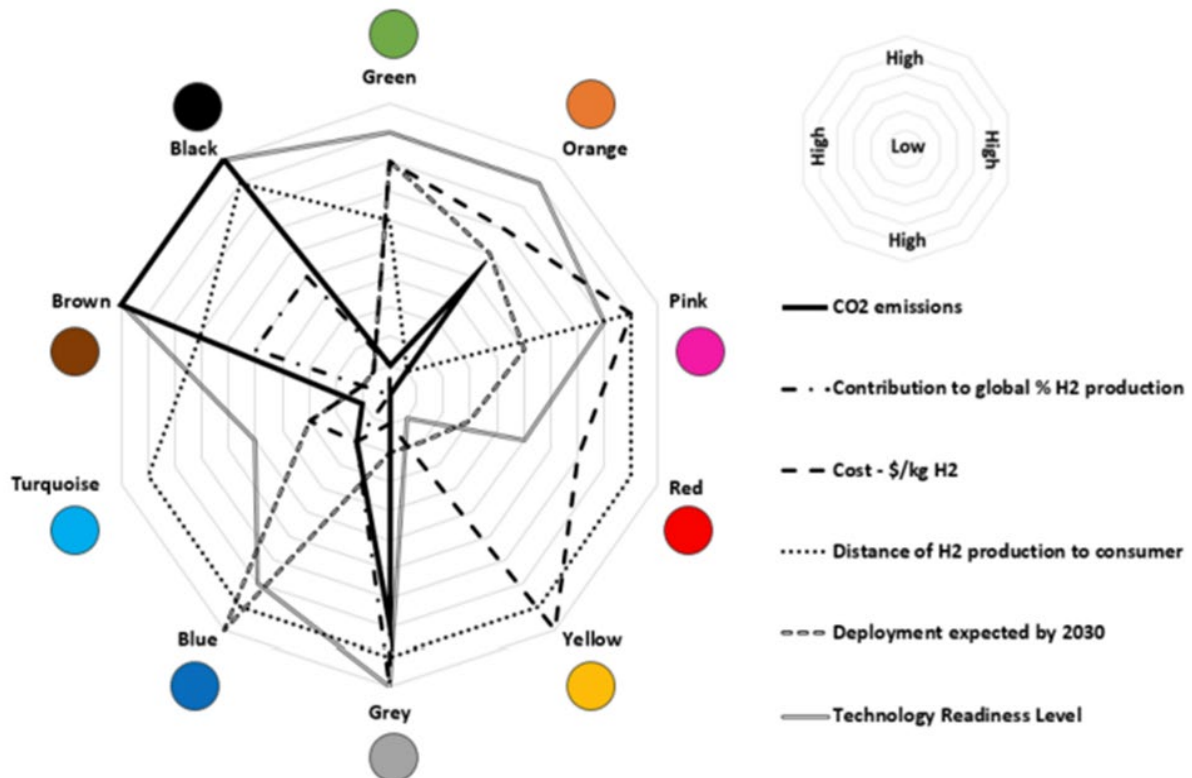


Kuva 12. Vedyn värien luokitus valkoinen vety [4.]

Fermentaatio

Vedyn valmistus fermentaatiolla tarkoittaa vetyä tuottavia käymisreaktioita hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa mikrobin avulla. Reaktiossa mikrobit hajottavat orgaanista raaka-ainetta energiakseen ja aineenvaihdunnan lopputuotteena syntyy vetyä ja muita yhdisteitä, kuten alkoholeja. Reaktorit toimivat jatkuvalla syötöllä tai erissä. Syntynyt vety johdetaan pois reaktorista

ja suodatetaan. Syötetty raaka-aine poistetaan reaktorista käymisajan tullessa päätökseen, minkä jälkeen raaka-aine korvataan uudella aineella. Fermentaatio jakautuu pimeäkäymisreaktioon ja valokäymisreaktioon. Pimeäfermentaatioissa mikrobit ovat pimeässä ja pääosin hapettomissa olosuhteissa. Valofermentaatioissa mikrobit tarvitsevat auringonvaloa aineenvaihduntaa ja kasvua varten. Joissakin materiaaleissa tämä prosessi on esitetty **kultaisena vetynä**.



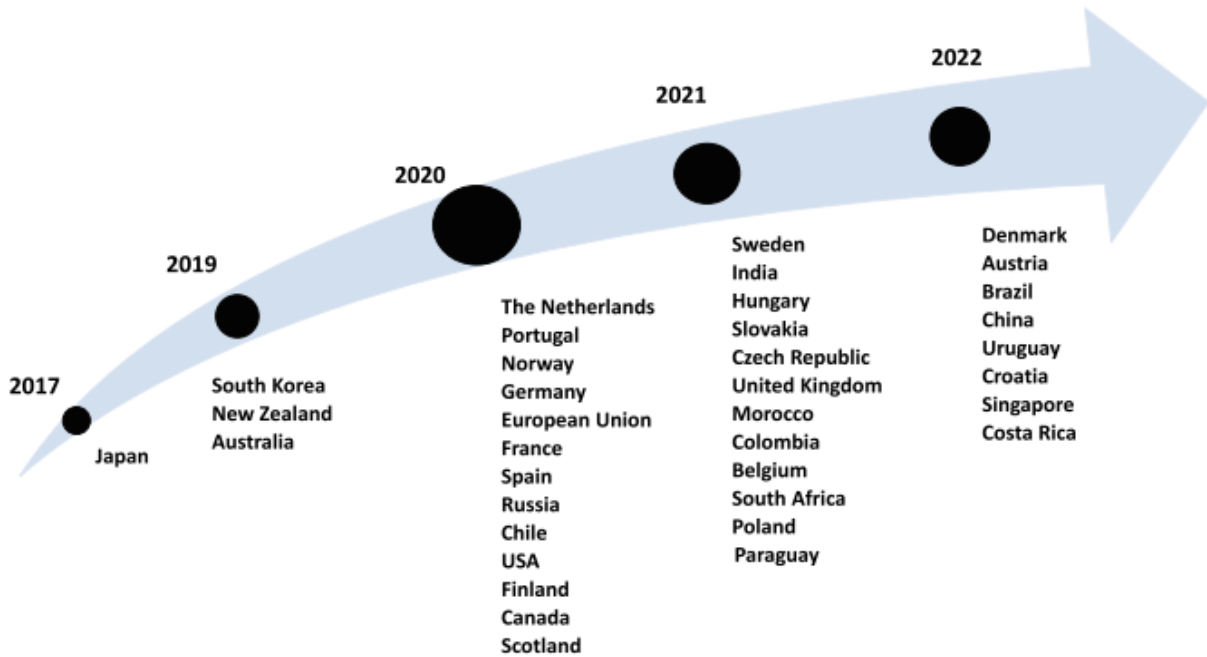
Kuva 13. Tärkeimmät kriteerit vedyn tuotantotapojen arvioinnissa. [2.]

Ylläoleva tähtikuvio vertaa vedyn erilaisten tuotantomuotojen tilannetta ja kehitystä monesta eri näkökulmasta. [2.]

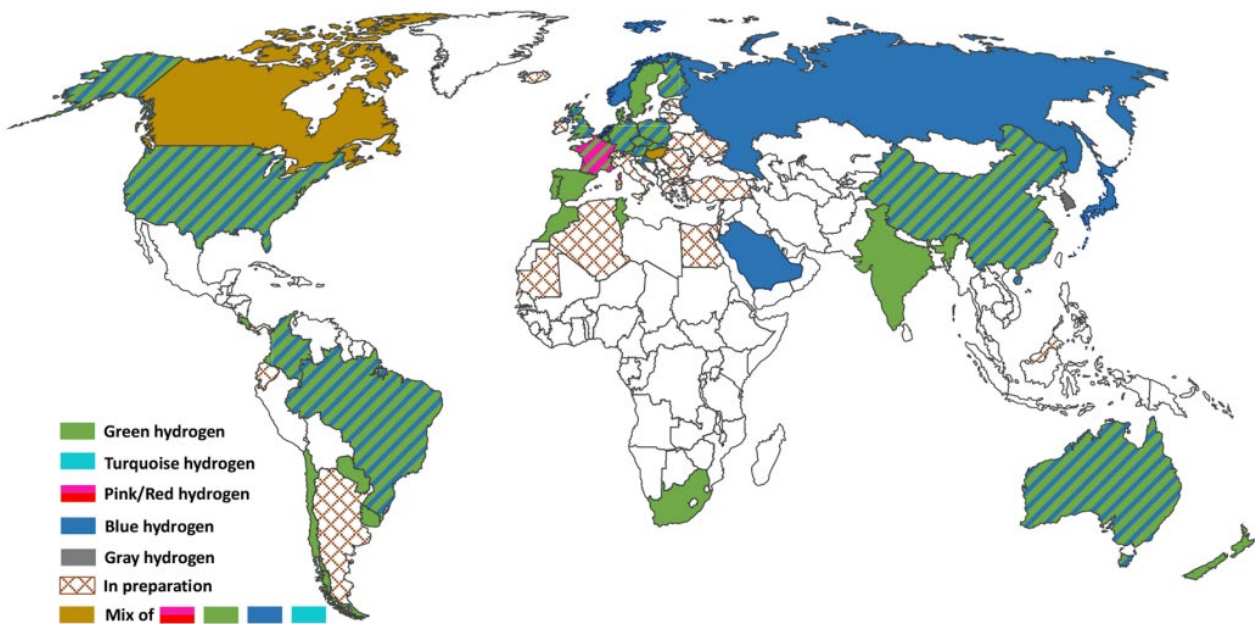
- CO2 päästöt
- Maailmanlaajuisen tuotantomäärän
- Valmistuskustannuksia
- Vedyn tuotannon etäisyyden kuluttajaan
- Käyttöönotto vuoteen 2030 mennessä
- Teknologian valmiustaso

Vetyä koskevat kansalliset suunnitelmat

Yli kolmekymmentä valtiota on käynnistänyt kansalliset vetyä koskevat suunnitelmansa, suunnitelman, strategian tai etenemissuunnitelman, kuten kuvassa 14. esitetään. Vuosi, jolloin on tehty enemmän Suunnitelmista ilmoitettiin vuonna 2020, ja seuraavaksi eniten vuonna 2021. Vety värit eri maiden strategioissa ja suunnitelmissa on tiivistetty alla olevassa kuvassa 15.



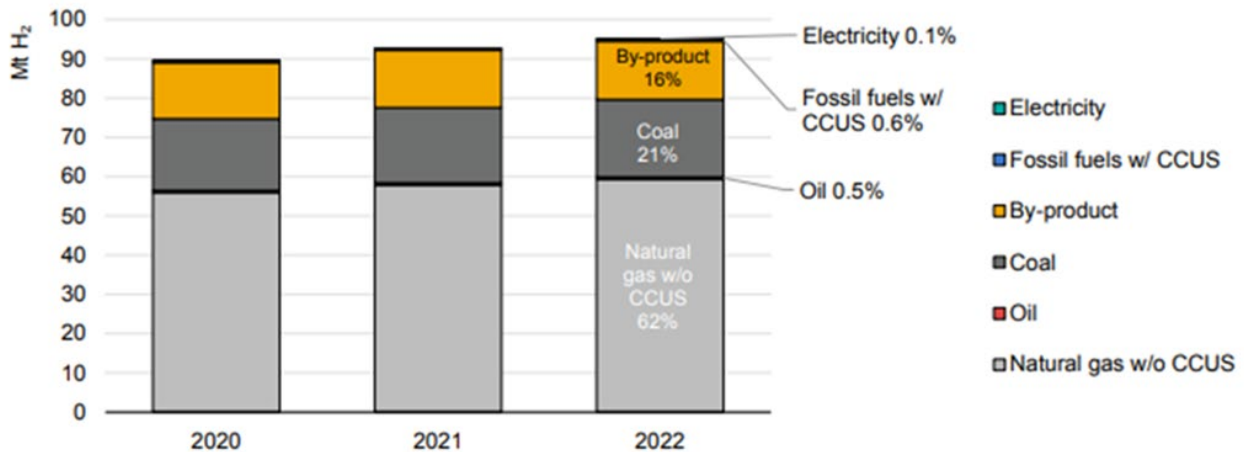
Kuva 14. Vedyn kansalliset suunnitelmat, strategiat ja tiekartat [2.]



Kuva 15. Tärkeimmät värit, jotka on otettu huomioon kunkin maan kansallisessa vetysuunnitelmassa, strategiassa tai etenemissuunnitelmassa. [2.]

Vedyn tuotantomäärä maailmalla

Vedyn maailmanlaajuinen tuotanto oli lähes 95 miljoonaa tonnia vuonna 2022, joka on 3 prosenttia enemmän kuin vuonna 2021 (Kuva). Valtaosa vedystä tuotettiin fossiilisten polttoaineiden avulla. Maakaasun osuus ilman hiilidioksidin talteenottoa, hyödyntämistä ja varastointia (CCUS) oli 62 prosenttia maailmanlaajuisesta tuotannosta, kun taas hiilen, pääasiassa Kiinassa sijaitsevan hiilen, osuus maailmanlaajuisesta tuotannosta oli 21 prosenttia. Sivutuote vety, jota tuotetaan jalostamoissa ja petrokemianteollisuudessa teollisuusbensiinin reformoinnissa ja jota käytetään usein muissa jalostamo- ja muuntoprosesseissa (esim. vetykrakkaus, rikinpoisto), muodosti 16 prosenttia maailmanlaajuisesta tuotannosta. [6.]



IEA. CC BY 4.0.

Note: CCUS= carbon capture, utilisation and storage.

Kuva 16. Vedyn tuotanto tuotantomuodoittain. [6.]

Vähäpäästöisen vedyn tuotantomäärä voi nousta yli 20 Mt vuonna 2030, jos kaikki tällä hetkellä suunnitteilla olevat hankkeet toteutuvat. [6.]

Vedyn tuotannon rajoitteet ja haasteet

Vaikka vedyn tuotanto on kehittynyt merkittävästi, sillä on edelleen useita rajoitteita ja haasteita. Tässä on joitakin keskeisiä rajoitteita vedyn tuotannossa:

Energian tarve: Useimmat vedyn tuotantomuodot vaativat merkittävän määrän energiaa. Esimerkiksi vesielektrolyysi, joka on yksi puhtaimmista menetelmistä, voi olla tehokas vain, jos käytetään suuria määriä uusiutuvaa energiaa. Jos energia tuotetaan fossiilisista polttoaineista, vedyn tuotanto ei ole ympäristöystävällinen eikä kestävä ratkaisu.

Kustannukset: Vedyn tuotantoon liittyvät kustannukset voivat olla korkeita, erityisesti silloin, kun käytetään kalliita katalyyttejä tai kun tuotanto tapahtuu vähäisellä tehokkuudella. Kustannukset voivat sisältää laitteistojen rakentamisen, energiankulutuksen ja huoltoon liittyvät kulut.

Hiilidioksidipäästöt: Joissain vedyn tuotantomenetelmissä, kuten kaasumaisen maakaasun reformoinnissa, syntyy hiilidioksidipäästöjä. Tämä rajoittaa vedyn puhtautta ja ympäristöystävällisyyttä. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) voivat olla ratkaisu, mutta nämä prosessit lisäävät kustannuksia.

Infrastruktuurin puute: Vedyn tuotantoon ja jakeluun tarvitaan infrastruktuuria, kuten vetytankkausasemia. Nykyinen infrastruktuuri on kuitenkin usein rajallinen, mikä voi hidastaa vedyn käytön yleistymistä liikenteessä ja teollisuudessa.

Tuotantomäärien skaalautuvuus: Nykyiset vedyn tuotantomäärät ovat vielä suhteellisen pieniä verrattuna fossiilisten polttoaineiden käyttöön. Tarvitaan investointeja ja teknologista kehitystä, jotta vedyn tuotanto saavuttaa suuremmat skaalat ja pystyy vastaamaan kasvavaan kysyntään.

Vaikka vedyn tuotannossa on vielä haasteita, jatkuvat tutkimus- ja kehityspanostukset voivat auttaa voittamaan näitä rajoitteita ja edistämään vedyn kestävästä ja tehokasta käyttöä tulevaisuudessa.

Lähteet:

1. Vedyn käsittelyn ja varastoinnin turvallisuus. Verkkoaineisto. <<https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus#vedyn-tuotanto>>. Luettu 12.2.2024
2. "Colors" of hydrogen: Definitions and carbon intensity. Verkkoaineisto. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423006404?via%3Dihub>>. Luettu 10.1.2024
3. Vetytalous - mahdollisuudet ja rajoitteet Valtioneuvoston selvitys 21/2022. Verkkoaineisto. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163901>>. Luettu 16.2.2024
4. Beyond the Colours of Hydrogen: Opportunities for Process Systems Engineering in Hydrogen Economy. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s41660-023-00324-z>>. Julkaistu 15.3.2023
5. The Colors of Hydrogen. Verkkoaineisto. <<https://hydrogeneurope.eu/in-a-nutshell/>>. Luettu 5.2.2024
6. IEA - Global Hydrogen Review 2023. Verkkoaineisto. <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>>. Luettu 16.2.2024

VIHREÄN
SIIRTYMÄN
TUOTEKEHITYS

