

Opinnäytetyö (AMK)

Tuotantotalous, Myynti-insinööri

2023

Jasmin Malmi

**Uusiutuvan kaasun  
kestävyyskriteerien riittävyys  
ympäristömerkinnöissä**  
– EKOenergia ympäristömerkki

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tuotantotalous, Myynti-insinööri

2023 | 63 sivua

Jasmin Malmi

## Uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerien riittävyys ympäristömerkinnöissä

- EKOenergia ympäristömerkki

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Suomen luonnonsuojeluliiton koordinoimalle kansainväliselle ja voittoa tavoittelemattomalle EKOenergia ympäristömerkille. Opinnäytetyön pääasiallisena tavoitteena on selvittää EKOenergia ympäristömerkin uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerien riittävyys, sekä toimia esiselvityksenä, minkä avulla EKOenergia ympäristömerkin kestävyyskriteerit uusiutuvalla kaasulle voidaan päivittää. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä on laadullinen tapaustutkimus, joka perustuu kattavaan dokumenttianalyysiin. Opinnäytetyössä vastataan tutkimuskysymykseen, mitä tulee huomioida kestävyyskriteeristön ylläpitämisessä ja päivittämisessä.

Opinnäytetyön tuloksena muodostui lista kehityskohtia sekä -ehdotuksia, joita suositellaan käsiteltävän uusiutuvan kaasun kestävyyskriteeristön päivittämisessä ja ylläpitämisessä kriteeristön riittävyyden varmistamiseksi myös jatkossa. Kehityskohdat ja -ehdotukset ovat suuntaa antavia vaihtoehtoja ja niiden perusteella voidaan soveltaa toimeksiantajalle tarkemmin sopivia kehitysratkaisuja.

Asiasanat:

Uusiutuva kaasu, uusiutuva energia, kestävyys, vihreä vety, biokaasu, ympäristömerkki

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

BE Industrial Management and Sales Engineering

2023 | 63 pages

Jasmin Malmi

## The adequacy of sustainability criteria for renewable gas in environmental labeling

- the EKOenergy ecolabel

The thesis has been commissioned for the international and non-profit EKOenergy environmental label coordinated by the Finnish Association for Nature Conservation. The thesis has been conducted as a study to research the adequacy of current sustainability criteria of EKOenergy for renewable gas, and the objective of the results is to update the sustainability criteria of EKOenergy for renewable gas. The research method of the thesis is a qualitative case study based on a comprehensive document analysis. The thesis acts as a preliminary study for the updating of sustainability criteria, and it answers to the research question: what needs to be considered in maintaining and updating said criteria.

As a result of the thesis, a list of development targets and proposals has been formed, which are recommended for updating and maintaining the sustainability criteria for renewable gas to ensure the adequacy of the said criteria also in the future. The suggestions for development targets and proposals are indicative and based on them better tailored solutions can be applied for the development process.

Keywords:

Renewable gas, renewable energy, sustainability, green hydrogen, biogas, environmental labeling, ecolabel

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Teoreettinen viitekehys</b>	<b>8</b>
2.1 Uusiutuva kaasu	9
2.1.1 Biokaasu	10
2.1.2 Vihreä vety	16
2.1.3 Alkuperätakuut	20
2.2 Elinkaari- ja ympäristövaikutusten arviointi	21
2.2.1 Elinkaariarviointien vaikutuskategoriat	24
2.2.2 Elinkaariarviointien työkaluja	25
<b>3 Kestävyysskriteerit</b>	<b>28</b>
3.1 Ympäristömerkinnät	30
3.2 Elinkaariarviointien olennaisuus kestävyyskriteereissä	32
3.3 Uusiutuvien kaasujen kestävyysnäkökulmat	33
3.4 Kestävyysskriteerien riittävyyden mittaaminen	36
<b>4 EKOenergia ympäristömerkin kestävyyskriteerien riittävyys</b>	<b>39</b>
4.1 EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerit	40
4.2 Uusiutuvan kaasun kriteerien riittävyys	43
4.3 Viestintä	46
<b>5 Johtopäätökset ja yhteenveto</b>	<b>48</b>
5.1 Kehityskohdat ja -ehdotukset	48
5.2 Käyttöönotto ja seuranta	53
5.3 Yhteenveto	54
<b>Lähteet</b>	<b>56</b>

## **Kuvat**

Kuva 1 Biokaasun arvoketju	11
Kuva 2 Biokaasun tuotantoprosessi, mukaillen Kymäläistä & Pakarista (2015), Mutikaista, ym. (2016) sekä Luostarista ym. (2023)	13
Kuva 3 Vedyn tuotantoprosessi elektrolyysillä	18
Kuva 4 Elinkaaren perusmalli, mukaillen lähdettä Horn ym. (2020)	23
Kuva 5 Logo © EKOenergia	39

## **Taulukot**

Taulukko 1 GHG Protocol laajuusluokat	25
Taulukko 2 ISO:n määrittämät ympäristömerkintöjen tyypit	31

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö on toteutettu toimeksiantona Suomen luonnonsuojeluliiton koordinoimalle kansainväliselle ja voittoa tavoittelemattomalle EKOenergia ympäristömerkille. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää EKOenergia ympäristömerkin uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerien riittävyys, ja toimia teoreettisena esiselvityksenä, minkä avulla EKOenergia ympäristömerkin kestävyyskriteerit uusiutuvalla kaasulle voidaan päivittää. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä on laadullinen tapaustutkimus, joka perustuu dokumenttianalyysiin. Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys perustuu pääosin valmiiseen aineistoon ja vertaisarvioituun julkaistuun tutkimustietoon, sekä tapaustutkimus osio perustuu EKOenergian omaan viestintään soveltaen teoreettisen viitekehysten aineistoa. Opinnäytetyössä vastataan tutkimuskysymykseen: mitä tulee huomioida kestävyyskriteeristön ylläpitämisessä ja päivittämisessä.

EKOenergia on kansainvälisten ympäristöjärjestöjen verkosto, joka pyrkii edistämään ympäristöystävällisempiä kulutusvalintoja. EKOenergia-merkitty energia on 100 % uusiutuvaa ja kansainvälisten kriteerien täyttämisen lisäksi, se rahoittaa energiaköyhyyttä lieventäviä projekteja kansainvälisesti (EKOenergia n.d.). EKOenergia merkki myönnetään kulutetulle tai myydylle energialle. Rahoitettujen energiaprojektien ilmasto- ja ympäristövaikutus rajataan opinnäytetyössä uusiutuvan kaasun kestävyyskriteeristön tarkastelun ulkopuolelle, koska se ei ole suoraan osa uusiutuvan kaasun elinkaarta. Koska EKOenergia on kansainvälinen ympäristömerkki, uusiutuvan kaasun kestävyyskriteeristö tulee olla sovellettavissa kansainvälisesti. EKOenergian kriteeristöä uusiutuvalla kaasulle tarkastellaan erityisesti ISO 14 024 ympäristömerkintöjen standardiin perustuen.

Energiamurroksen vallitsevalla aikakaudella on tärkeää pitää ympäristömerkintöjen kriteeristöt ajan tasalla, jotta ympäristömerkityn energian alkuperästä, sekä sen tuotannosta ja käytöstä johtuvista ympäristövaikutuksista voidaan olla varmoja. Tavoitellessa hiilineutraaliutta ja -negatiivisuutta sekä

energiaomavaraisuutta, uusiutuva energia on avainasemassa. EU:n tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 55 %:lla (Eurooppa-neuvosto 2023) sekä tuottaa kuluttamasta energiastaan vähintään 42,5 % uusiutuvilla energialähteillä (EU 2023/2413) vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 1990, mikä alleviivaa ympäristövaikutusten viestinnän tarpeellisuutta sekä laskennan yksiselitteisyyden välttämättömyyttä. Syksyllä 2023 Euroopan komissio esitti ehdotuksen viherväitteiden oikeellisuuden edistämiseksi (European Parliament 2023), minkä vuoksi tulee kiinnittää erityistä huomiota myös ympäristömerkintöjen läpinäkyvyyteen.

Vetytaloudesta odotetaan energiatalouden seuraavaa mullistavaa käännekohtaa (IRENA 2023), ja arvion mukaan biokaasun tuotanto tulee jopa lähes kaksinkertaistumaan Suomessa (Luostarinen, Tampio, Lehtoranta, Valve, Laakso, Rasi, Pyykkönen, Markkanen, Heikkinen, Haapala, Winqvist, Lång, Timonen & Silfver 2023, 11), minkä vuoksi on tarpeellista ennakoida ja kiinnittää huomiota uusiutuvalle kaasulle asetettujen kriteerien ylläpitämiseen sekä päivittämiseen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään uusiutuvan kaasun, erityisesti biokaasun sekä vihreän vedyn kestävyyskriteerien riittävyttä, huomioiden erityisesti ISO 14 024 standardin vaatimukset sekä globaalit ilmastotavoitteet.

## 2 Teoreettinen viitekehys

Tämä kappale sisältää teoriaa uusiutuvista kaasuista, erityisesti biokaasusta ja vihreästä vedystä, alkuperätakuista sekä elinkaariarvioinneista.

Tavoitellessa hiilineutraaliutta ja -negatiivisuutta sekä energiaomavaraisuutta, uusiutuva energia on avain asemassa. Valtaosa kasvihuonekaasupäästöistä tulee energiasektorilta (Ilmasto-opas 2022), ja siksi onkin tärkeää kiinnittää huomiota uusiutuvan energian ilmasto- ja ympäristövaikutusten todistettavuuteen sekä negatiivisten vaikutusten lieventämiseen.

Väistämättömän globaalien väestönkasvun sekä digitalisaation seurauksena energian tarve tulee kasvamaan eksponentiaalisesti tulevaisuudessa (Dufva & Rekola 2023, 28, 49). Globaalien väestönkasvun myötä syntyy runsaasti lisää jätettä, josta epäorgaaninen jäte voitaisiin kierrättää uudelleen käytettäväksi materiaaleiksi sekä orgaaniset jätteet käyttää mm. biokaasun tuotannossa. Yhteiskuntien ajatusmallia tulisi muuttaa pysyvästi kiertotalouden kannalle, ja siksi energiaturvallisuutta ei voi asettaa vain esimerkiksi uusiutuvan sähkön varaan vaan myös uusiutuvan kaasun mahdollisuuksia tulee tarkastella energiaturvallisuuden tavoittelussa. Joulukuussa 2023 YK:n COP 28 kokouksessa kirjattiin historiallinen sopimus fossiilisista polttoaineista luopumiselle (United Nations 2023a). Siirtymällä fossiilisista uusiutuvien energialähteiden käyttöön edistetään talousmallin muuttumista lineaarisesta kestävämpään kiertotalouden malliin (Tikkanen, Antikainen, Kautto & Salmenperä 2018, 12, 14).

Vertailukohtana maakaasua energialähteenä kulutettiin vuonna 2022 globaalisti jopa 3,94 biljoonaa kuutiometriä, joka vastaa n. 3,67 tuhatta terawattituntia (TWh) energiaa (Statista 2023). EU:n komission tiedonannon mukaan mm. kaasun kysyntään ja varastointiin pyritään kehittämään ratkaisuja tulevaisuudessa, jotta energiaturvallisuutta voidaan parantaa ja riippuvuutta tuontikaasusta voidaan vähentää. REpowerEU suunnitelmalla edistetään maakaasun vaihtoehtojen, kuten kestävä biokaasun sekä uusiutuvan vedyn käyttöönottoa. (Eurooppa-neuvosto 2022, C495/24–27.)

Maakaasumarkkinalakia 587/2017 voidaan soveltaa maakaasun ja LNG:n lisäksi myös uusiutuvista energialähteistä peräisin oleville kaasuille, kun teknisesti ja turvallisesti sitä voidaan syöttää maakaasuverkkoon ja siirtää maakaasuverkossa. Maakaasumarkkinalakia 587/2017 sovelletaan kaasumarkkinoilla maahantuontiin, vientiin, siirtoon, jakeluun, toimitukseen sekä varastointiin. (Maakaasumarkkinalaki 587/2017.)

## 2.1 Uusiutuva kaasu

Maakaasun käyttö ei ole ilmastotavoitteiden toteutumisen kannalta edullista, sillä maakaasu on fossiilinen energialähde. Maakaasumarkkinalain sovellettavuus uusiutuviin kaasuihin mahdollistaa omalta osaltaan kuitenkin myös uusiutuvan kaasun kehityksen ja yhdistettävyyden maakaasun infrastruktuuriin (Maakaasumarkkinalaki 587/2017).

Pääasiallisesti tukkuasiakkaat, eli suuret ja keskisuuret teollisuusyritykset, kaukolämpöä ja sähköä tuottavat energiayhtiöt, kaukolämpöyhtiöt sekä paikalliset jakelu- ja voimayhtiöt, muodostavat suurimman osan kaasun ostajista Suomessa. Paikallisen jakeluverkon kautta maakaasua markkinoidaan myös pienempiin käyttökohteisiin. Alueellinen energiayhtiö tai erillinen paikallinen maakaasun jakeluyhtiö hoitaa tyypillisesti maakaasun vähittäiskaupan ja paikallisen jakelun. (Energiavirasto 2023.) Nämä toimijat muodostavat myös osan uusiutuvan kaasun sidosryhmäverkostosta, joka tulee osallistaa kestävyyskriteeristön päivittämiseen.

Uusiutuvilla kaasuilla voidaan teoriassa korvata maakaasun käyttö, koska esimerkiksi biokaasu sekä vihreä vety voidaan syöttää puhdistettuna tai metaaniksi jalostettuna kaasuverkkoon (Motiva 2020; Maakaasumarkkinalaki 587/2017; Keogh, Corr & Monaghan 2022, 2). Kaasut ovat monipuolisia käyttökohteiltaan ja niitä voidaan jalostaa liikennekäyttöön, lämmityksen, vedyn ja sähkön tuotantoon, sekä teollisuuteen (Keogh ym. 2022, 2; Suomen kaasuyhdistys ry 2023). Kaasuja voidaan hyödyntää myös säätövoimana, sekä

tulevaisuudessa myös raudanvalmistuksessa korvaamassa kivihiihtä (Suomen kaasuyhdistys ry 2023).

Uusiutuvat kaasut määritellään kaasuiksi, jotka on tuotettu uusiutuvilla raaka-aineilla, eli biopohjaisilla raaka-aineilla sekä uusiutuvalla energialla. Uusiutuvat kaasut tuotetaan usein joko anaerobisessa reaktorissa, termokemiallisesti pyrolyyserillä tai kaasutuksella, tai elektrolyyserillä (Keogh ym. 2022, 2). Tässä toimeksiannossa käsitellään kahta taloudellisesti pääasiallista uusiutuvaa kaasua: biokaasua sekä vihreää vetyä.

### 2.1.1 Biokaasu

Biokaasun koostumus on pääosin metaania ja hiilidioksidia, sekä pienempiä pitoisuuksia muita kaasuja, kuten hiilimonoksidia, typpeä, vetyä sekä rikkivetyä (Mutikainen, Sormunen, Paavola, Haikonen & Räisänen 2016, 10; Keogh ym. 2022, 2). Metaanimolekyylillä  $\text{CH}_4$  sisältää hiiltä sekä vetyä.

Biokaasu tuotetaan biopohjaisista raaka-aineista, kuten biomassasta. Biomassa sitoo hiilidioksidia ja hiili pysyy sitoutuneena biokaasussa. Kun biokaasua poltetaan esimerkiksi sähköntuotannossa tai liikennekäytössä, hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmakehään pitäen kuitenkin ilmakehän hiilidioksidin nettomäärän samana, toteuttaen näin ollen hiilen normaalia kiertoa (Twidell & Weir 2006, 352). Tästä syystä biokaasua pidetään yleisesti ympäristöystävällisenä energiamuotona (Motiva 2020).

Kun puhutaan biokaasusta, ei voida sivuuttaa kiertotalouden osuutta sen tuotannossa. Koska biokaasun syötteenä toimii teollisuuden, kotitalouksien sekä ympäristön orgaaniset jätteet (Mutikainen ym. 2016, 4), ja biokaasun tuotantoprosessi on mahdollinen myös ihmisen poissa ollessa (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 190), edistää biokaasun talteenotto ja jätteen käyttö tuotannossa kiertotaloutta ja ravinnekiertoa. Onnistunut biojätteen kerääminen ja sen käyttö biokaasun tuotannossa vähentää orgaanisen jätteen päätymistä polttolaitoksille, jolloin jätteeseen sitoutunut energia saadaan tehokkaammin edelleen kiertoon ja sivuvirtoina

tuotetun mädätteen takaisin käyttöön mm. lannoitteiden muodossa (Lounais-Suomen Jätehuolto Oy 2023). Biojäte polttolaitoksilla heikentää polttoprosessin tehokkuutta mm. biojätteen sisältämän kosteuden ja sen myötä matalan lämpöarvon vuoksi (Alakangas ym. 2016, 198, 200; Kemppi, Liikanen & Niskanen 2020, 30; Lounais-Suomen Jätehuolto Oy 2023) sekä aiheuttaa laitteiston ennenaikaista kulumista kemiallisten reaktioiden ja kuona-aineiden vuoksi (Alakangas ym. 2016, 199). Näin ollen biojätteen erilliskeräyksen onnistuessa myös jätteenpolttolaitosten kapasiteetti ei ylikuormitu ja sähköä ja lämpöä voidaan tuottaa niissä paremmalla hyötysuhteella. Polttolaitokset eivät kuitenkaan edistä EU:n ympäristö- ja ilmastotavoitteiden toteutumista.

Vuonna 2022 biokaasua tuotettiin Suomessa 3 287 TJ (Tilastokeskus 2023), mikä vastaa 0,913 TWh. Valtioneuvoston kanslian selvityksen mukaan (Luostarinen ym. 2023, 11) biokaasun tuotanto tulee jopa lähes kaksinkertaistumaan Suomessa lähivuosina, johtuen positiivisesta julkisesta investointien ja markkinakehityksen muodostamasta paineesta hyödyntää orgaaninen jäte. EU:n direktiivien mukaan maakaasun merkitystä energiamarkkinoilla pyritään laskemaan ja mahdollisuuksien mukaan pyritään ohjaamaan biokaasun korvaavaan käyttöön (EU 2018/2001; EU 2023/2413).



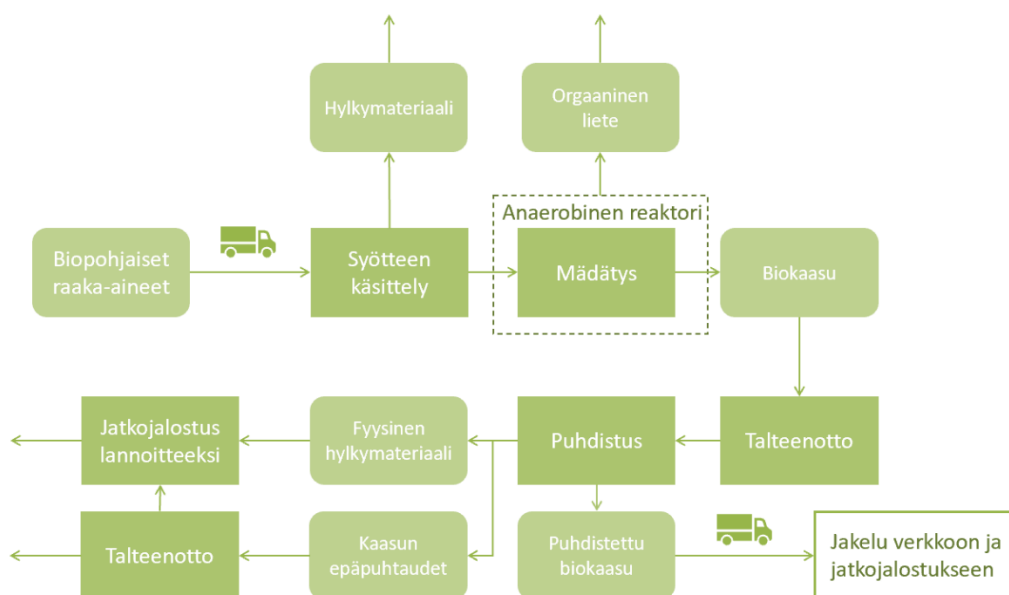
Kuva 1 Biokaasun arvoketju mukaillen Mutikaista ym. (2016)

Biokaasun tuotannon arvoketjuun (Kuva 1) kuuluu orgaanisen raaka-aineen hankinta, kuljetus ja käsittely, tuotanto, jalostus, jakelu ja siirto, sekä käyttö (Mutikainen ym. 2016, 4). Vaikka biokaasun käytön aikana hiilidioksidiekvivalentti (CO<sub>2</sub>eq.) päästöt eivät vaikuttaisikaan ilmakehän hiilen

nettomäärään, koko biokaasun muun elinkaaren ja arvoketjun aikana päästöjä kuitenkin syntyy (Luostarinen ym. 2023, 141). Biokaasun elinkaaren aikaiset päästöt ovat pienemmät mm. ilmastonlämpenemispotentiaalissa ja resurssien kulutuksessa verrattuna fossiilisiin energialähteisiin (Hijazi, Munro, Zerhusen & Effenberger 2016, 1299). Biokaasun tuotantoon ja elinkaareen liittyviä kestävyyskysymyksiä käsitellään tarkemmin osiossa 3.3 Uusiutuvien kaasujen kestävyysnäkökulmat.

## Tuotantoprosessi

Biokaasun tuotantoprosessi on osa biokaasun elinkaarta ja arvoketjua. Biokaasun tuotantoprosessin (Kuva 2) vaiheita ovat biopohjaisten raaka-aineiden hankinta, syötteen käsittely, joka sisältää biopohjaisen raaka-aineen mekaanisen käsittelyn toivottuun muotoon sekä hygienisoinnin, mädätyksen eli anaerobisen reaktion, biokaasun talteenoton ja puhdistuksen, sekä lopulta



jakelun ja käytön (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 82; Mutikainen ym. 2016, 4, 10; Luostarinen ym. 2023, 14).

Kuva 2 Biokaasun tuotantoprosessi, mukailen Kymäläistä & Pakarista (2015), Mutikaista, ym. (2016) sekä Luostarista ym. (2023)

Biokaasun tuotanto tapahtuu anaerobisessa käsittelyssä, jossa käsiteltävä syöte suljetaan hapettomaan tilaan eli reaktoriin (Latvala 2009, 29). Biokaasun tuotantoprosessit jaetaan reaktorin sisältämän syötteen kuiva-ainepitoisuuden mukaan kuiva- ja märkäprosesseihin sekä prosessilämpötilan perusteella mesofiilisiin (37 °C) ja termofiilisiin (55 °C) prosesseihin (Luostarinen ym. 2023, 16). Tätä anaerobista tuotantoprosessia kutsutaan yleisemmin mädätykseksi (Alakangas ym. 2016, 199). Biokaasureaktorin lämpötila vaikuttaa siihen, mitkä mikrobikannat ovat aktiivisia ja hyödyntävät orgaanista ainetta ja sen hajoamistuotteita (Latvala 2009, 29). Tuotetun biokaasun pitoisuus ja puhtaus vaihtelevat tuotannon muuttujien mukaan, joita ovat mm. syötteen materiaali ja kuiva-ainepitoisuus, reaktorin lämpötila, viipymäaika sekä reaktiojärjestelmä (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 82; Luostarinen ym. 2023, 141).

Biokaasun tuotannon mädätysprosessin syötteenä toimii biopohjaiset raaka-aineet, kuten lanta, kotitalouksien biojäte, pelto- ja energiakasvit, metsätähteet, jätevesilietteet, metsäteollisuuden sivutuotteet, sekä teollisuuden orgaaniset jätteet ja sivutuotteet (Mutikainen ym. 2016, 4). Puuta ja muuta ligniinipitoista ainesta voidaan myös käyttää biokaasun tuotannossa, mutta kyseessä on tällöin termokemiallinen tuotantoprosessi. Termokemiallisesti, eli pyrolyysillä tai kaasutuksella tuotettuna, puusta tai muusta ligniinipitoisesta aineksestä valmistettua biometaania kutsutaan synteettiseksi biokaasuksi (Mutikainen ym. 2016, 10–11). Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin mädätysprosessilla tuotettuun biokaasuun.

Biokaasun tuotantoon liittyy erilaisia osaprosesseja. Osaprosesseissa käytettävät tekniikat määräytyvät mm. raaka-aineiden syöttötavan, syötteen kuiva-ainepitoisuuden sekä prosessin vaiheisuuden mukaisesti. Valitut tekniikat vaikuttavat elinkaaren aikaisten päästöjen lisäksi myös tavoiteltuun

energiatuotantotehokkuuteen sekä sivuvirtojen laatuun. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 82.)

Märkäprosessin syötteenä toimivan raaka-aineen kuiva-ainepitoisuus on yleensä alle 15 % ja se mahdollistaa mm. syötteen esikäsittelyssä mekaanisen sekoittamisen, sekä materiaalin siirtämisen reaktoriin ja sieltä eteenpäin pumppaamalla. Märkäprosessissa yleisimmin käytetään jatkuvatoimista täyssekoitteista reaktoria. Märkäprosessia voidaan käyttää kaikissa tuotantomittakaavoissa ja kyseistä teknologiaa pidetään yleisesti ottaen kypsänä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 82–83.)

Kuivaproessin syötteen kuiva-ainepitoisuus on yleisesti 20–40 % välillä ja sen etuna on tuotannossa pienempi reaktorilavuus syötteen tuoretonnin kohden. Kuivaproessi ei ole käytössä samassa mittakaavassa kuin märkäprosessi, koska sen tekninen hallinta on todettu haastavaksi. Haastavana kuivaprosessissa on erityisesti pidetty kuivan syötteen sekoitusta, sen siirtoa sekä energiatehokkuutta. Syötteen sekoituksen ja siirron haastavuus aiheuttaa mm. biokaasun laadun ja tuotannon epätasaisuuksia, mikä vaikuttaa myös suoraan biokaasun energiantuotantotehokkuuteen. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 83.)

Biokaasulaitokset jaetaan päätyypeittäin käyttämänsä biopohjaisen syötteen perusteella jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksiin, maatilojen yhteydessä toimiviin pieniin laitoksiin, yhteiskäsittelylaitoksiin sekä teollisuuden biokaasulaitoksiin (Latvala 2009, 10; Tilastokeskus 2023). Myös kaatopaikkalaitoksilla otetaan talteen biokaasua, mutta vuoden 2016 jälkeen orgaanisen aineen sijoittaminen kaatopaikoille Suomessa on ollut kiellettyä. Suomessa biokaasusta hieman yli puolet tuotettiin vuonna 2022 yhteiskäsittelylaitoksilla. (Tilastokeskus 2023.) Globaalisti orgaanista jätettä sijoitetaan edelleen kaatopaikoille, jolloin orgaanisen jätteen hajoaminen tuottaa ympäristölle haitallista kasvihuonekaasua metaania, joka pääsee vapaasti ilmakehään (Borole & Greig 2019, 493).

Tuotantoprosessissa vapautuvia kasvihuonekaasupäästöjä ovat pääosin hiilidioksidi, metaani, sekä typpidioksidit. Metaanipäästöt tapahtuvat usein päästöpiikkeinä, mitkä johtuvat tuotantolaitoksessa tapahtuvista vuodoista ja paineen tasauksista. Talteenotettuna näitä voidaan hyödyntää mm. energian tuotannossa ja lannoitteissa. (Luostarinen ym. 2023, 141.) Metaanipäästöjen varalta useissa biokaasulaitoksissa käytetään soihdutusta, jolloin paineen tasauksessa ylijäämää metaania poltetaan hiilidioksidiksi, jonka ilmastoa lämmittävä potentiaali on huomattavasti pienempi kuin metaanilla (Latvala 2009, 48). Kuten yleensäkin, päästötiedot ovat myös biokaasuntuotannossa laitoskohtaisia, minkä vuoksi yleisluontoisia päästöarvoja on haastavaa toteuttaa tai verrata (Luostarinen ym. 2023, 14).

### **Käyttökohteet**

Biokaasua, tarkemmin biometaania, voidaan käyttää mm. raaka-aineena kemian prosesseissa, lämmön ja sähkön yhteistuotannossa (Combined Heat and Power), erillisesti lämmön tuotannossa sekä sähkön tuotannossa, sekä liikennekaasuksi jalostettuna (Mutikainen ym. 2016, 10). Toista biokaasutuotannon lopputuotetta, mädätettä, voidaan käyttää peltomaan rikasteena maataloudessa, jolloin ravinteiden sisältämää energiaa voidaan pitää kierrossa (Luostarinen ym. 2023, 11). Biokaasua, jota ei ole puhdistettu, kutsutaan raakabiokaasuksi, ja sitä ei voida käyttää mihinkään nykyiseen käyttötarkoitukseen sellaisenaan (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 146). Biokaasun, joka voidaan puhdistaa maakaasua vastaavan laatuiseksi, energiasisältö on 50 MJ/kg (alempilämpöarvo) (EU 2023/2413).

Puhdistettua biokaasua voidaan jakaa kaasuverkkoon, kuten maakaasua ja vetyäkin (Maakaasumarkkinalaki 587/2017; Keogh ym. 2022, 2; Energiavirasto 2023). Vaikka biokaasua voidaan jakaa kaasuverkkoon, sen laatu voi vaihdella riippuen mm. siitä, onko biokaasu syötetty siirto- vai jakeluverkkoon (Klimscheffskij, Bröckl, Vanhanen & Värre 2019, 7). Biokaasun laadun määrittää käyttökohde sekä verkon vaatimukset (Kimscheffskij ym. 2019, 8).

Kuten jo biokaasun tuotantoprosessin osiossa mainittiin, pitoisuus ja puhtaus määräytyvät erinäisten tuotannon muuttujien mukaan. Kyseiset muuttujat vaikuttavat näin ollen myös tuotantoprosessin aikaisiin päästöihin (Luostarinen ym. 2023, 141). Biokaasuun liittyvä päästöriski kohdistuu erityisesti kasvihuonekaasupäästöihin, jotka voivat nopeuttaa ilmastonmuutosta, ammoniakkipäästöihin, jotka voivat huonontaa ilman laatua, sekä vesistöihin kohdistuviin ravinnepäästöihin mädätteen tai siitä johdettujen lannoitevalmisteiden käytön yhteydessä (Luostarinen ym. 2023, 11). Kasvihuonekaasuista metaanin päästöriski muodostuu biokaasun tuotannon aikaisesta vuodosta, mädätteen varastoinnista, sekä käytön aikaisista päästöistä. Hiilidioksidipäästöjä muodostuu kaikissa biokaasun elinkaaren vaiheissa. Ammoniakkipäästöt muodostuvat ensisijaisesti mädätteen varastoinnista sekä käytöstä lannoitteena, sekä dityppioksidipäästöt muodostuvat lannoitteen ja maaperän muodostamasta reaktiosta. (Luostarinen ym. 2023, 13.)

### 2.1.2 Vihreä vety

Vihreä vety on nouseva energiantuotantomuoto, joka on herättänyt laajaa kiinnostusta sen potentiaalin vuoksi vähentää hiilidioksidipäästöjä ja edistää kestäväää energiakehitystä. Vihreällä vedyllä viitataan vedellä ja uusiutuvalla sähköllä tuotettuun vetyyn. Yhä enenevässä määrin uutisoidaan uusista vedyn tuotantoinvestoinneista Suomessa ja maailmalla. Vetytalouden kerrotaan edistävän energian varastoinnin teknologioita sekä vastaavan energiaintensiivisen teollisuuden kysymyksiin. (IRENA 2023.)

Vetytalous tulee nousemaan suureksi osaksi energiataloutta tulevaisuudessa. Vetyä voidaan tuottaa sekä fossiilisista energialähteistä että uusiutuvilla energiamuodoilla (Sivill, Bröckl, Semkin, Ruismäki, Pilpola, Laukkanen, Lehtinen, Takamäki, Vasara & Patronen 2022, 132). Tällä hetkellä vetyä yleisimmin tuotetaan maakaasusta, raskaasta öljystä sekä hiilestä, aiheuttaen arviolta n. 19 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt vuosittain (Gerloff 2021, 1; Sivill ym. 2022, 132). Fossiilisista polttoaineista tuotetun vedyn tuotannon

päästöjen mittaamisessa on selkeitä eroja, sillä Euroopan parlamentin (2021) arvion mukaan fossiilisista polttoaineista tuotetun vedyn päästöt ovat arviolta jopa 70–100 miljoonaa tonnia vuosittain. Vedyn tuotanto on energiantensiivinen prosessi ja kestävä vetytalous vaatiikin huomattavat infrastruktuuri-investoinnit sekä luotettavat uusiutuvan energian lähteet (Sivill ym. 2022, 129).

Jotta voidaan puhua vihreästä vedystä, se tulee tuottaa päästöttömällä tuotantoprosessilla sekä uusiutuvalla energialla, kuten tuuli- tai aurinkovoimalla. Uusiutuvasti vetyä voidaan tuottaa kuitenkin erilaisin menetelmin, kuten biomassasta biologisesti tai termokemiallisesti, tai veden pilkkomisteknologioin, kuten elektrolyysillä, fotolyysillä tai termolyysillä (Sivill ym. 2022, 132).

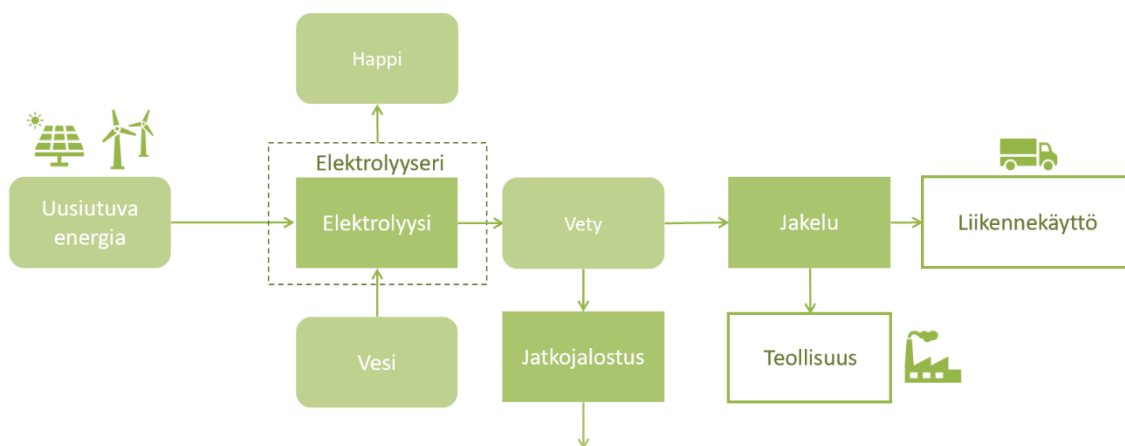
Vedyn tuotanto uusiutuvasta sähköstä elektrolyysin avulla oletetaan johtavan nollapäästöihin, mutta kyseinen skenaario vaatisi paikallista sähkön tuotantoa. Jos paikallinen sähköntuotanto ei ole mahdollista, päästöihin tulee huomioida sähköverkosta ostettu uusiutuva sähkö, joka on todistettu alkuperätakuilla. IEAn julkaisun (2023a) arvion mukaan verkosta ostetulla uusiutuvalla sähköllä ja vesielektrolyysillä tuotetun vedyn päästöintensiteetti on 2 kg CO<sub>2</sub>eq./kg H<sub>2</sub>. Fossiilisesti tuotetun vedyn päästöintensiteetti on välillä 0,8–13 kg CO<sub>2</sub>eq./kg H<sub>2</sub>, ja alimmissa arvoissa on huomioitu hiilidioksidin talteenottojärjestelmät. (IEA 2023a, 33.) Vedyn tuotantoon ja elinkaareen liittyviä kestävyyskysymyksiä esitetään osiossa 3.3 Uusiutuvien kaasujen kestävyysnäkökulmat.

## **Tuotantoprosessi**

Vesielektrolyysi on tunnetuin ja tehokkain vedyn tuotantomenetelmä veden pilkkomisteknologioista (Nikolaidis & Poullikkas 2017, 605). Elektrolyysillä tuotetun vihreän vedyn tuotantoprosessin (Kuva 3) vaiheisiin kuuluu raaka-aineiden eli uusiutuvan energian ja veden hankinta, elektrolyysiprosessi, vedyn jakelu sekä jatkojalostus. Elektrolyysillä tuotetun vedyn tuotantoprosessin syötteenä toimii yleisesti makea puhdistettu vesi sekä sähkö, ja tuotoksena syntyy happea ja vetyä (IRENA 2023). Vetyä voidaan tuottaa myös merivedellä,

mikä tekee vesielektrolyysistä hyvin monipuolisen energiantuotantomenetelmän (Yu, Zhu, Song, McElhenny, Wang, Wu, Qin, Bao, Yu, Chen & Ren, 2019, 1).

Yksinkertaistetusti elektrolyysissä erotetaan vesimolekyylin atomit toisistaan, jolloin saadaan vetyä ( $2\text{H}_2$ ) ja happea ( $\text{O}_2$ ).



Kuva 3 Vedyn tuotantoprosessi elektrolyysillä

Vihreän vedyn kolme tärkeintä vesielektrolyysiteknologiaa ovat alkalinen vesielektrolyysi (alkaline water electrolysis, AEC), polymeeri-elektrolyyttimembraani (polymer electrolyte membrane, PEMEC), sekä kiinteäoksidielektrolyysikemno (solid oxide electrolysis cell, SOEC) (Gerloff 2021, 1). Ne poikkeavat toisistaan mm. elektrolyytin, paineistuksen ja toimintalämpötilan sekä laitteiston materiaalien suhteen (Sivill ym. 2022, 133). Vesielektrolyysiteknologioiden elinkaaren aikaiset päästöt eroavat toisistaan katalyyttimateriaalien ja elektrolyytin, sekä energian kulutuksen vaikutuksesta (Gerloff 2021, 15). Edellä mainituista vesielektrolyysiteknologioista AEC on kehittynein sekä kaupallisesti eniten käytössä oleva vihreän vedyn tuotantoteknologia. PEMEC teknologia on vuosien saatossa kehittynyt, mutta sen käyttöönoton esteenä on yleisesti verrattain kalliimpi hinta, johtuen jalommista katalyyttimateriaaleista, kuten platinasta. SOEC teknologia on verrattain epäkypsää, minkä vuoksi se ei ole laajasti kaupallisessa käytössä. SOEC teknologian erityispiirteenä on myös korkeampi tuotantolämpötila, verrattuna muihin edellä mainituista. Jokaisessa edellä mainitussa

vesielektrolyysiteknologiassa tuotetun vedyn puhtaus on yli 99 %. (Gerloff 2021, 7.)

Gerloffin (2021, 1) elinkaariarvioinnin, jossa käsiteltiin eri vesielektrolyysiteknologioilla tuotetun vedyn elinkaarta, mukaan uusiutuvilla energialähteillä tuotetun vedyn elinkaaren aikaiset CO<sub>2</sub>eq. päästöt olivat huomattavasti pienemmät verrattuna muilla energialähteillä tuotettuun vetyyn. Gerloffin (2021, 15) elinkaariarviointivertailussa selvitettiin, että AEC, PEMEC ja SOEC teknologioista PEMEC tuotti eniten CO<sub>2</sub>eq. päästöjä tuotantolaitoksen elinkaaren aikana ja SOEC vähiten.

SOEC teknologia kehittymättömyydestään huolimatta tarjoaa korkeimman hyötysuhteen. Toistaiseksi SOEC teknologiaan ei ole ollut kannattavaa investoida, koska sen investointikustannukset ovat olleet noin viisinkertaiset verrattuna käytetyimpään AEC teknologiaan. Tilanne saattaa kuitenkin muuttua tulevaisuudessa nopeastikin, sillä kaikkien edellä mainittujen vetyteknologioiden odotetaan kehittyvän lähitulevaisuudessa. (Sivill ym. 2022, 135.)

Muissa vedyn ilmasto- ja ympäristövaikutusten arvioinneissa, erityisesti laskettaessa vesijalanjälkeä ja huomioitaessa vaikutuksia vesistöihin, tulee myös huomioida, että tuotannossa käytetyn veden suhde tuotettuun vetykilogrammaan kohden on stoikiometrisesti 9 kg: 1 kg, mutta todellisuudessa häviöiden vuoksi 18–24 kg: 1 kg (Sivill ym. 2022, 133–134).

## **Käyttökohteet**

Kuten biokaasua, myös vetyä voidaan syöttää kaasuverkkoon, mutta vedyn sekoittuessa verkoston muuhun kaasuun sen uudelleen erottelu vie taas energiaa. (Maakaasumarkkinalaki 587/2017; Sivill ym. 2022, 211)

Vetyä voidaan käyttää mm. liikennekaasuna, teollisuudessa ja sähköntuotannossa, rakettipolttoaineena sekä energiavarastona (Nikolaidis & Poullikkas 2017, 609–610; Sivill ym. 2022, 156, 211). Suomessa merkittävämpänä loppukäyttäjänä on teollisuussektori, jossa vetyä käytetään

niin raaka-aineena kuin energiankantajanakin (Sivill ym. 2022, 156). Kansainvälisesti vedyn kysyntä on lähes kokonaan keskittynyt teollisiin sovelluksiin, pääasiassa kemianteollisuuteen sekä raudan ja teräksen tuotantoon, ja jalostukseen, jossa sitä käytetään pääasiassa raaka-aineena (IEA 2023a, 14). Vedystä voidaan valmistaa myös hiilineutraalia sähköpolttoainetta, joka sisältää vedyn lisäksi myös hiilidioksidia tai typpeä, mutta vedystä ei ole kannattavaa jatkojalostaa muita polttoaineita, jos sitä voidaan loppukäytössä hyödyntää suoraan (Sivill ym. 2022, 211).

Elektrolyysillä tuotetun vedyn sivutuotteena syntyvälle hapelle on kysyntää esimerkiksi teollisuudessa sekä lääketieteessä. Teollisuudessa happea voidaan tarvita mm. palamistehokkuuden parantamisessa ja lääketieteessä esimerkiksi lisähapena. (Sivill ym. 2022, 133.)

Uusiutuvista lähteistä tuotetun vedyn energiasisältö on EU 2023/2413 päivittämän III liitteen mukaan jopa 120 MJ/kg (alempilämpöarvo), joka on jopa 2,4-kertainen verrattuna biokaasun energiasisältöön.

### 2.1.3 Alkuperätakuut

Alkuperätakuut ovat yleisesti käytössä olevia yleensä sähköisiä todisteita ja sertifikaatteja, jolla voidaan todistaa uusiutuvana myydyn energian alkuperä (Energiavirasto 2022). Alkuperätakuuta voidaan vaatia kulutettavalle tai myytävälle energialle ympäristömerkintää hakevalta taholta, jos se on määritelty ympäristömerkin myöntämisehdoksi.

Alkuperätakuiden tulee EU:n direktiivin 2018/2001 mukaan sisältää vähintään energiantuotannon lähde, eli syötteen alkuperä, sekä energiantuotannon ajankohta, määritelty energiamuoto, tuotantolaitoksen tunnistus, sijainti, tyyppi ja kapasiteetti, tuotantolaitoksen hyödyntämät investointituet ja muut kansalliset tukijärjestelmät ja niiden tyypit, laitoksen käyttöönottopäivämäärä, sekä alkuperätakuun myöntämispäivä ja -maa, sekä yksilöllinen tunnistenumero.

Suomessa uusiutuvaksi energiaksi markkinoitua energiaa ei voi myydä, jos sitä ei ole todistettu uusiutuvaksi mm. alkuperätakuiden avulla (Energiavirasto 2022). Uusiutuva energia todistetaan uusiutuvaksi myöntämällä alkuperätakuukelpoisilla lähteillä tuotetulle energialle alkuperätakuut, jotka vastaavat sen tuotantomäärää, ja vastaavasti peruuttamalla saman määrän alkuperätakuuta, kun kyseinen energia siirtyy loppukäyttöön. Näin estetään myös uusiutuvana myydyn energian kaksinkertainen laskenta. (Gasgrid Finland Oy n.d.; Energiavirasto 2022.)

Kaasun alkuperätakuut määritellään tietylle määrälle tai osuudelle kaasua, joka sijoitetaan jakeluun. Uusiutuvan energian alkuperätakuu myönnetään tuotetun energian määrää kohti standardiyksikössä MWh (Klimscheffskij ym. 2019, 1). Alkuperätakuussa voidaan kertoa myös tuotetun energian olevan kelpoista ympäristömerkityksi.

Suomessa kaasujen alkuperätakuujärjestelmää ylläpitää Gasgrid Finland Oy. Alkuperätakuista puhuttaessa tulee huomioida, että ne eivät kerro uusiutuvan energian kestävyydestä tai ympäristöystävällisyydestä vaan kertovat vain tuotetun energian alkuperästä.

## 2.2 Elinkaari- ja ympäristövaikutusten arviointi

Yhä enenevässä määrin yritysten tulee ottaa vastuu omista ympäristövaikutuksistaan, johtuen yrityksen sisäisestä paineesta mm. tuotannon kannattavuuteen, sekä markkinointiin liittyen, mutta myös ulkoisesta paineesta mm. rahoituksen saamiseksi tai asiakkaiden kysyntään vastatakseen (Niskala, Pajunen & Tarna-Mani 2009, 12–14). Ympäristövaikutusten käyttö markkinointikeinona vaatii tarkkuutta, jotta organisaatio ei syyllisty viherpesuun.

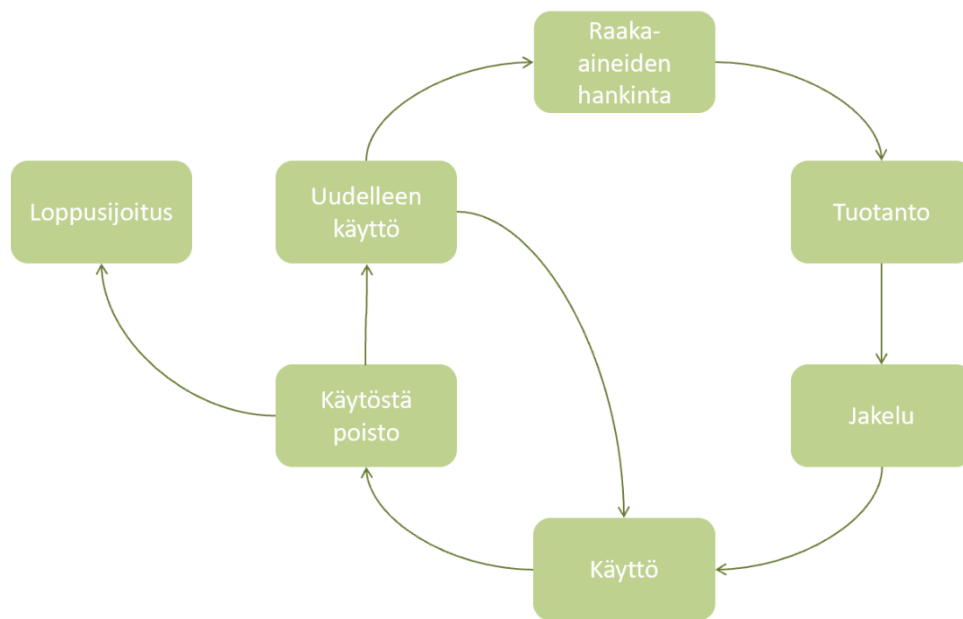
EU on ehdottanut viherväitteiden oikeellisuuteen konkreettisempia todistustaakkoja. Syyskuussa 2023 EU on ehdottanut, että jatkossa ei sallita ilmastovaikutusten raportoinnissa hiilineutraaliusväitteitä perustuen kompensatiotoimiin (European Parliament 2023). Hiilineutraaliudesta ja

päästökompensaatiotoimista tulee siis jatkossa viestiä erillään toisistaan (Finnwatch 2023, 5).

Kuten edellä mainittiin, energian uusiutuvuus yleisesti ottaen todistetaan alkuperätakuilla. Alkuperätakuut eivät kuitenkaan todista uusiutuvan energian kestävyyttä tai arvioi energian tuotannon tai koko elinkaaren aikaisia vaikutuksia ympäristöön. Tämän vuoksi elinkaari- ja ympäristövaikutusarviointit tulee huomioida määriteltäessä kestävyyskriteerejä osana ympäristöllisen kestävyuden näkökulmaa.

Elinkaariarviointi on standardisoitu järjestelmäanalyttinen menetelmä, jonka tavoitteena on tunnistaa tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset (Horn, Seppänen, Winqvist, Lehtoranta & Luostarinen 2020, 22). Elinkaariarviointit on standardisoitu mm. ISO 14 040 ja 14 044 standardeilla (Gerloff 2021, 3) ja päästölaskennan raamit on asetettu standardilla ISO 14 064-1, Greenhouse Gas protokollalla sekä EU:n OEF ohjeistuksella (Finnwatch 2023, 7).

Tuotteen tai palvelun elinkaari (Kuva 4) määritelmällisesti sisältää seuraavat vaiheet: resurssien hankinta, tuotanto, jakelu, käyttö, uudelleenkäyttö, käytöstä poisto ja jätteiden loppusijoitus (SFS-Opas 11 2009; Horn ym. 2020, 22). Laskentaan sisällytetään koko elinkaaren aikaisten vaiheiden syötteet, eli prosessien raaka-aineiden ja energian kulutus, sekä tuotokset, eli lopputuote, päästöt ja sivuvirrat (Horn ym. 2020, 22). Suorien ympäristövaikutusten lisäksi tulee huomioida myös epäsuorat ympäristövaikutukset.



Kuva 4 Elinkaaren perusmalli, mukaillen lähdettä Horn ym. (2020)

Standardien ISO 14 040 ja 14 044 mukaisesti elinkaariarviointi prosessina sisältää neljä vaihetta, jotka ovat rajaus, inventaario, vaikutusarviointi, sekä tulosten analysointi ja raportointi (Gerloff 2021, 3).

Elinkaariarvioinnin ensimmäisessä vaiheessa, rajauksessa, määritellään tavoitteet ja soveltamisala. Rajauksessa määritellään myös elinkaariarvioinnissa huomioitavan tuotteen tai palvelun toiminnallinen yksikkö (functional unit), esimerkiksi 1 TWh energiaa tai 1 kg vetyä. Toisessa vaiheessa, eli inventaariossa, käsitellään arvioitavan tuotteen tai palvelun elinkaaren aikainen data. Tähän dataan kuuluu tuotteen tai palvelun elinkaaren eri vaiheiden syötteet sekä tuotokset. Elinkaariarvioinnin kolmas vaihe sisältää vaikutusten arvioinnin antaen paremman kuvan ympäristöön aiheutuvasta vaikutuksesta. Tulosten analysointi ja raportointi, eli elinkaariarviointien neljäs vaihe, antaa tulokset elinkaariarvioinnista sekä antaa edellytykset kehittää arvioitavan tuotteen tai palvelun vaikutusta ympäristöön ja ilmastoon. (Gerloff 2021, 3.)

Organisaatioiden elinkaari- ja ympäristövaikutusarviointien raportointiin on esitetty raamit mm. Greenhouse Gas (GHG) Protocol laajuusluokissa.

Elinkaariarvioinnin tavoitteena on ympäristövaikutusten laskemisen lisäksi selvittää, millä vaiheilla tai prosesseilla on suurin vaikutus tarkasteltavana olevaan tuotteeseen tai palveluun, jotta voidaan vertailla eri tuotteiden tai palveluiden tuloksia objektiivisesti rinnakkain ja estää järjestelmän tai elinkaaren sisäinen osaoptimointi ja elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten kaksinkertainen laskenta (Horn ym. 2020, 22). Tulosten tarkastelu objektiivisesti rinnakkain on kuitenkin usein haastavaa, jos tarkasteltavien kohteiden muuttujat eroavat toisistaan huomattavasti esimerkiksi tuotantomenetelmien tai syötteiden ominaisuuksien osalta. Elinkaariarvioinneilla voidaan myös selvittää, kuinka tuotteen tai palvelun tuotannon tehokkuutta voitaisiin optimoida mm. vähentämällä hukkamateriaalin määrää.

Elinkaariarviointien yhdenmukaisuutta ylläpidetään standardein, mutta myös ympäristövaikutusten arviointimenettelyistä on säädetty Suomessa laki 5.5.2017/252. Tätä lakia sovelletaan muun muassa hankkeisiin ja niiden muutoksiin, joista oletetaan todennäköisesti aiheutuvan merkittäviä vaikutuksia ympäristölle. (5.5.2017/252.)

### 2.2.1 Elinkaariarviointien vaikutuskategoriat

Tulosten arvioimiseksi tulee määrittää ympäristövaikutusten vaikutuskategoria. Tämä on osa elinkaariarviointien ensimmäistä vaihetta. Esimerkkejä yleisimmistä ympäristövaikutusten vaikutuskategorioista, joita elinkaariarvioinneissa selvitetään, ovat:

- toksisuus (HTa, HTw tai HTs, human toxicity via air, water or soil),
- rehevöityminen (EP, eutrophication),
- ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP, global warming potential),
- luonnonvarojen kulutus (RC, resource consumption),
- veden kulutus (WC, water consumption)
- maankäyttö (LU, land use),

- happamoituminen (AC, acidification),
- pienhiukkaset sekä otsonikato (OD, ozone depletion) (Hijazi ym. 2016, 1294; Suomen ympäristökeskus 2022).

Vaikutuskategorioista elinkaariarvioinneissa yleisesti käytetään edellä mainittuja lyhenteitä, sekä eri vaikutuskategorioita mitataan erinäisin yksiköin. Esimerkiksi CO<sub>2</sub>eq. pidetään usein ilmaston lämpenemispotentiaalin yksikkönä (Gerloff 2021, 2). Vesi-, hiili- ja ekonomisen jalanjälki, sekä hiilikädenjälki ovat myös ympäristö- ja ilmastovaikutuskategorioita ja ne ovat kansankielessä yleistyneet kansainvälisesti. Jalanjäljellä tarkoitetaan toiminnalla aiheutettuja negatiivisia vaikutuksia ja kädenjäljellä positiivisia vaikutuksia (Dufva & Rekola 2023, 59).

Myös muita vaikutuskategorioita voi esiintyä elinkaariarvioinneissa, mutta mitä harvemmin tiettyä vaikutuskategoriaa käytetään, sitä hankalampaa yksittäisten tulosten vertailu on keskenään. Elinkaariarvioinneissa yleisenä ongelmana onkin moninaisten tuotteiden ja palveluiden elinkaarien ja niiden vaikutuskategorioiden arviointi, mikä tekee vertailtavuudesta ja toistettavuudesta haastavaa.

### 2.2.2 Elinkaariarviointien työkaluja

Yksi yleisimmin käytössä olevista päästölaskennan järjestelmistä on GHG Protocol. GHG Protocol tarjoaa standardeja, ohjeita ja työkaluja yrityksille ja viranomaisille ilmastoalasta lämmittävien päästöjen, erityisesti CO<sub>2</sub>eq. päästöjen, mittaamiseksi ja raportoimiseksi (Greenhouse Gas Protocol 2023). GHG Protocol sisältämät standardit ja ohjeet on jaettu kolmeen laajuusluokkaan (Taulukko 1), joita ovat Scope 1, Scope 2 sekä Scope 3.

Taulukko 1 GHG Protocol laajuusluokat

<b>Scope 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kattaa suorat kasvihuonepäästöt, jotka johtuvat organisaation toiminnasta</li> </ul>
----------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esimerkiksi omistettujen kiinteistöjen, tuotannon/tehtaiden prosessien, oman energiantuotannon, tai omistettujen tai hallinnoitujen ajoneuvojen aiheuttamat päästöt</li> </ul>
<b>Scope 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kattaa epäsuorat päästöt, jotka johtuvat ostetusta energiasta</li> <li>• Tarkoitettu erityisesti ostetun sähkön, höyryn, lämmön ja jäähdytyksen tuotannosta aiheutuneille päästöille</li> <li>• Tarkastellaan usein erityisesti CO<sub>2</sub>eq. päästöjä</li> </ul>
<b>Scope 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kattaa epäsuorat päästöt, jotka johtuvat oman organisaation arvoketjun toiminnasta johtuvista muista päästölähteistä</li> <li>• Kattavin laajuusluokka, joka jaetaan organisaation toimintaa edeltäviin (upstream) ja seuraaviin (downstream) päästölähteisiin</li> </ul>

Tapauksessa olennainen ja usein mainittu laajuus Scope 2, joka tapauksessa yleisesti ottaen huomioidaan uusiutuvaan sähköön liittyen, kattaa välilliset päästöt, jotka syntyvät sähkön, höyryn, lämmön tai jäähdytyksen hankinnasta ja ostetun energian käytöstä organisaation toiminnassa. Kyseisen laajuuden päästöt kannustetaan raportoimaan kahdessa kategoriassa: markkina- sekä sijaintiperusteisella lähestymistavalla. (Greenhouse Gas Protocol 2015 & 2023; Finnwatch 2023, 12.)

Uusiutuvasta kaasusta, tai kaasusta yleisestikään, ei puhuta GHG Protocol laajuusluokissa suoraan. Kuitenkin ostetun uusiutuvan kaasun päästöt ympäristömerkittyä energiaa ostavan organisaation toiminnassa raportoidaan usein Scope 2 laajuusluokan mukaisesti (Finnwatch 2023, 12).

Elinkaariarviointien tuottamiseen käytetään usein erilaisia laskentajärjestelmiä ja -ohjelmistoja. Käytetty ohjelmisto tulisi kirjata elinkaariarvioinnin raporttiin, jotta saadaan selvyys tavoitelluista vaikutuskategorioista sekä vertailtavuudesta. Elinkaariarviointiohjelmistojen valinta riippuu käyttäjän tarpeista, käytettävissä olevasta datasta, tarkkuusvaatimuksista ja muista tekijöistä. Monet näistä ohjelmistoista voivat tukea erilaisia standardeja ja menetelmiä, kuten ISO 14 040 sekä 14 044 standardeja, mikä edistää yhdenmukaisuutta ja vertailtavuutta arvioinneissa. (Pekuri 2018, 15–19.)

Joitakin yleisesti käytössä olevia elinkaariarviointiohjelmistoja ovat mm. SimaPro ja sen eri versiot, GaBi, avoimen lähdekoodin OpenLCA, sekä Umberto XLT LCA (Pekuri 2018, 15–19). Useat ohjelmistot tarjoavat kattavasti valmiiksi kerättyä dataa, eli LCI-dataa, tietyille elinkaaren aikaisille toiminnoille, kuten logistiikassa tonnikilometrille tai tuotannossa käytetyille materiaaleille (Pekuri 2018, 12), mutta datassa voi olla eri ohjelmistojen välillä poikkeamia, mikä taas vaikuttaa elinkaariarviointien vertailtavuuteen.

### 3 Kestävyysskriteerit

Tässä kappaleessa määritellään mihin kestävyyskriteerit perustuvat ja vastataan tutkimuskysymykseen, mitä tulee huomioida uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerien päivittämisessä ja ylläpitämisessä.

#### **Kestävyys**

Kestävyiden perusmääritelmä on nykyisten tarpeiden täyttäminen vaarantamatta tulevien sukupolvien kykyä täyttää omia tarpeitaan (ISEAL 2021, 4). Tämän määritelmän lisäksi kestävyttä tulee tarkastella sen kolmen pääperiaatteen mukaisesti, eli sosiaalisesta, ympäristöllisestä sekä taloudellisesta näkökulmasta (ISEAL 2021, 4; Ympäristöministeriö 2023).

Sosiaalinen kestävyys pitää sisällään vastuun mm. ihmisoikeuksien kunnioittamisesta, yhdenvertaisuudesta ja oikeudenmukaisuudesta, sekä paikallisten yhteisöjen ja sidosryhmien osallistamisesta. Kestävä toiminta edellyttää ihmisoikeuksien ja työntekijöiden oikeuksien kunnioittamista kaikissa olosuhteissa antaen kaikille toimialueella mahdollisuuden hyötyä kehityksestä osallistamalla ja kehittämällä paikallisia sosiaalisia järjestelmiä ja muita sidosryhmiä. (Niskala ym. 2009, 19–20; United Nations 2015; Ympäristöministeriö 2023.)

Ympäristöllinen kestävyys käsittää luonnon monimuotoisuuden ja luonnonvarojen vaalimisen, säilyttäen ekosysteemien terveyden, sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamien vaikutusten lieventämisen ja niihin sopeutumisen. Kestävässä toiminnassa vaikutukset toimijaa ympäröivään luontoon tulee huomioida kattavasti ja erityisesti luonnon saastuminen ja ympäristövahingot tulee estää. (Niskala ym. 2009, 19–20; United Nations 2015; Ympäristöministeriö 2023.)

Taloudellinen kestävyys määritellään mm. toiminnan tehokkuuden, kannattavuuden sekä vastuullisuuden kautta. Toiminnan tulee edistää resurssien tehokasta käyttöä, olla pitkäjänteisesti kannattavaa vaarantamatta ympäristöllistä tai sosiaalista kestävyttä sekä tukea kestävämpää kulutusta ja

liiketoimintamalleja. (Niskala ym. 2009, 19–20; United Nations 2015; Ympäristöministeriö 2023.)

### **Direktiivit ja vapaaehtoiset järjestelmät**

EU on asettanut uusiutuvan energian direktiivin 2018/2001, joka tunnetaan myös nimellä RED II, vuonna 2018. Kyseinen direktiivi asettaa sitovat kestävyyskriteerit biomassoille, joita käytetään energian tuotannossa. Tavoitteena on varmistaa, että bioenergian lisääntynyt käyttö EU:ssa johtaa huomattaviin kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisiin verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin, samalla kun turvataan luonnon monimuotoisuus. RED II mukaan kestävyyskriteereissä tulee huomioida kasvihuonekaasupäästöt, maankäytön ja metsätalouden kestävyys, muiden ympäristövaikutusten vähentäminen, sekä sosiaaliset näkökulmat. RED II asettaa kriteeriksi uusiutuvalla vedylle, että sen tulee olla tuotettu uusiutuvalla sähköllä, tai verkkosähköllä, jonka CO<sub>2</sub>eq. päästöt ovat < 65 g CO<sub>2</sub>eq./kWh, joka täyttää uusiutuvan tuotannon ajallista ja maantieteellistä korrelaatiota ja täydentävyyttä koskevat kriteerit (EU 2018/2001; IEA 2023b, 165). RED II:ssa on esitetty vapaaehtoisten järjestelmien olevan hyödyllisiä kestävyyskriteerien käyttöönoton edistämiseksi.

Direktiivin RED II revisio EU 2023/2413, eli RED III on julkaistu 2023. Se nostaa EU:n tavoitteita uusiutuvien energialähteiden käytölle 42,5 %:in aikaisemmasta 32 %:n tavoitteesta. RED III tarkentaa myös vetystategian tavoitteita REpowerEU suunnitelmassa. REpowerEU (Euroopan Parlamentti 2023) suunnitelma asettaa myös tavoitteeksi uusiutuvan vedyn osuudeksi sen kokonaiskulutuksesta 42 % ja tuotantokapasiteetiksi 10 miljoonaa tonnia vuoteen 2030 mennessä. Biometaanin tuotannon tavoite kasvatetaan 35 miljardiin kuutiometriin samassa ajassa.

EU on esittänyt listan vapaaehtoisia ja kansallisia järjestelmiä kestävyyskriteereille biokaasun tuotannossa käytetyille biopohjaisille raaka-aineille. Kyseisiä vapaaehtoisia järjestelmiä on tällä hetkellä 15. (European Commission 2023.) Sertifiointijärjestelmiä ja sääntelykehyskiä, joissa määritellään vedyn kestävyysominaisuuksia, on joitain ja uusia kehitetään

parhaillaan. On kuitenkin olemassa vaara, että yhdenmukaistamisen puute voi johtaa markkinoiden pirstoutumiseen. (IEA 2023a, 10.) Vedylle on tarkoitus julkaista oma teknisten ominaisuuksien standardiluonnos ISO:n toimesta vuoden 2024 loppuun mennessä (IEA 2023b, 163).

Yhtäläisiä piirteitä EU:n vapaaehtoisissa kestävyysjärjestelmissä on, että niiden kestävyden määritelmät huomioivat erityisesti RED direktiiveissä määritellyt kriteerit ja lainsäädännön raaka-aineille sekä epäorgaanisten uusiutuvien polttoaineiden tuotannolle, raaka-aineiden kestävyysominaisuuksien tiedon jäljitettävyydelle, sekä vapaaehtoisten järjestelmien auditoinnille (European Commission 2023). Vedyn kestävyys- ja sertifiointijärjestelmissä huomioidaan järjestelmän tarkoitus, rajaus ja laajuus, tuotantomenetelmät, säädökset ja kysyntä, kestävyysominaisuuksien tiedon jäljitettävyyden, päästöintensiteettitasot sekä kestävyden lisäisyyskriteerit (IEA 2023a, 38).

### 3.1 Ympäristömerkinnät

Ympäristömerkintöjen tarkoitus on todistetulla tiedolla ja harhaan johtamatta edesauttaa ympäristöystävällisempien tuotteiden ja palvelujen tarjontaa ja kysyntää, ja näin ollen kannustaa ympäristöystävällisempien kulutusvalintojen tekemiseen (SFS-Opas 11 2009; ISO 14024:2018(E)). Ympäristömerkinnät pyrkivät toimialueellaan vaikuttamaan positiivisesti sosiaaliseen, ympäristölliseen ja taloudelliseen kestävyteen.

Ympäristömerkinnät on jaettu kansainvälisen standardisoinnin järjestön ISO:n toimesta kolmeen tyyppiin (Taulukko 2) (Joutsenmerkki 2019) ja ISO:n standardit ympäristömerkinnöille antaa raamit kestävyyskriteeristön luomiselle ja kehittämiselle (ISO 14024:2018(E)). Ympäristömerkinnät ovat luonteeltaan vapaaehtoisia, mutta niiden on tarkoitus seurata tiukkoja kriteerejä, jotta ympäristömerkitty tuote tai palvelu viestii todistetusti ympäristöystävällisemmästä valinnasta. Kaikki kolme ISO:n määrittämää ympäristömerkkityyppiä perustuvat ympäristövaikutusten viestintään ja ne viittaavat määritelmässään ISO 14 020 standardiin.

Taulukko 2 ISO:n määrittämät ympäristömerkintöjen tyypit

<b>Tyyppi I – ISO 14 024</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmannen osapuolen tekemä arviointi, joka</li> <li>• perustuu useisiin kriteereihin, jotka liittyvät tuotteen tai materiaalin ympäristövaikutuksiin sen elinkaaren aikana</li> </ul>
<b>Tyyppi II – ISO 14 021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Itse ilmoitetut ympäristöväitteet, jotka</li> <li>• perustellaan standardin määrittämin arviointi- ja todentamismenetelmin</li> </ul>
<b>Tyyppi III – ISO 14 025</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yleisesti yritysten väliselle ympäristöselosteiden viestinnälle, mutta on sovellettavissa myös kuluttajaviestintään</li> <li>• Ympäristöväitteissä ja -selosteessa on käytettävä tuotteen elinkaaren kvantitatiivisia ympäristötietoja ennalta määrättyjen parametrien mukaisesti</li> </ul>

Jos ympäristömerkki ei kuulu kategorisesti mihinkään edellä mainituista kolmesta ympäristömerkkien tyypistä, se voidaan yleisesti luokitella, ainakin osittain, harhaanjohtavaksi ympäristövaikutusten markkinointiviestinnäksi, eli viherpesuksi (Joutsenmerkki 2019).

Toimiakseen, ympäristömerkityn tuotteen tai palvelun tulee vähintään toimia toimialueelleen määriteltujen direktiivien ja lakiasetusten mukaisesti, edistää tuotteen tai palvelun markkina-asemaa todistetusti ympäristöystävällisempänä vaihtoehtona sekä viestiä harhaanjohtamatta todellisesta ympäristövaikutuksesta (ISO 14024:2018(E)). Sen tuotteelle tai palvelulle asettamien kestävyyskriteerien tulee olla uskottavat.

Ympäristömerkintöjä uusiutuville kaasuille on rajoitetusti. Suomessa ja muissa pohjoismaissa on käytössä Joutsenmerkki biokaasulle liikennekäytössä, joka mm. viestii biokaasun elinkaaren aikaisten päästöjen olevan 70–90 % pienemmät kuin fossiilisilla polttoaineilla, orgaanisten raaka-aineiden olevan alkuperäselvitettyjä ja vastuullisista lähteistä, raaka-aineiden olevan ongelmattomia, sekä vaatii kasvihuonekaasupäästöraportoinnin ympäristömerkin hakijalta vuosittain (Joutsenmerkki 2022). Olemassa olevia ja suunniteltuja sääntelypuitteita ja sertifiointijärjestelmiä vedylle ja vetypohjaisille polttoaineille on toistaiseksi rajoitetusti (IEA 2023b, 165) ja niissä on huomioitu toistaiseksi lähinnä CO<sub>2</sub>eq. päästöt.

### 3.2 Elinkaariarviointien olennaisuus kestävyyskriteereissä

Elinkaariarviointien huomioiminen kestävyyskriteereissä edistää ISO 14 024 standardin asettamien vaatimusten noudattamista. Tuotteen tai palvelun ympäristöystävällisyyden todistaminen toteutetaan erityisesti tutkimalla sen koko elinkaaren aikaisia päästöjä ja vaikutusta ilmastoon ja ympäristöön sekä selvittämällä, millä elinkaaren vaiheella on suurin vaikutus tuotettuihin päästöihin. Standardit määrittelevät, että kaikki poikkeamat elinkaaren rajauksista tulee olla perusteltuja. (SFS-Opas 11 2009; ISO 14024:2018(E)).

ISO 14 024:2018(E) tyyppin I ympäristömerkintöjen standardin mukaan ympäristömerkintöjen kriteeristöjen kehityksessä huomioon on otettava paikallinen, alueellinen ja globaali ajankohtainen ympäristön tila, markkinatilanne, sekä käytettävissä oleva teknologia.

Kuten edellä on mainittu kappaleessa 2.2 Elinkaari- ja ympäristövaikutusarviointit, elinkaariarviointeja voi olla vaikeaakin verrata toisiinsa, koska ne sisältävät yleisesti useita muuttujia, jotka vaikuttavat arviointien tuloksiin. Uusiutuvien kaasujen tuotantjärjestelmiä ja niiden elinkaaren aikaisia vaikutuksia voidaan parantaa keskittämällä elinkaariarviointien tuottamisen selkeämmin paikkakohtaisesti laitoksiin ja yhdistämällä elinkaariarviointit kvalitatiivisiin sidosryhmien haastatteluihin.

Tämä ei ole resurssitehokkain keino, mutta se edesauttaa energian elinkaaren aikaisten vaikutusten läpinäkyvyyden lisäämistä ja mahdollistaa elinkaaren optimoinnin kestävämmäksi. (Huttunen, Manninen & Leskinen 2014, 12.)

### 3.3 Uusiutuvien kaasujen kestävyysnäkökulmat

Kestävyttä koskevat kriteerit vaihtelevat eri organisaatioiden ja maakohtaisten aloitteiden välillä. Tällä hetkellä ei ole olemassa yhtä yleispätevää standardia, mutta kansainväliset ja kansalliset toimijat ovat pyrkineet laatimaan suuntaviivoja ja kriteerejä, ja ne kehittyvät nopeasti.

Uusiutuvien kaasujen kestävyyskriteereissä huomioidaan yleisesti tuotannossa käytetyn energian ja raaka-aineiden lähde, hiilijalanjälki tai muut elinkaaren aikaiset arvioinnit, vaikutus ympäristöön sekä tuotantoprosessin tehokkuus. Myös sosiaaliset ja eettiset kestävyyskysymykset pyritään sisällyttämään kestävyyskriteereihin. (EU 2018/2001; European Commission 2023; IEA 2023a, 165.)

Tarkastellaan uusiutuvan kaasun kestävyysnäkökulmaa kolmea näkökulmaa. Kuten edellä on mainittu, kaikki kolme näkökulmaa ovat toisistaan riippuvaisia ja vahvasti sidoksissa toisiinsa. Sosiaalisesti kestävä uusiutuva kaasu edistää mm. tuotantoalueellaan työpaikkoja ja työntekijöiden hyvinvointia, jäteinfrastruktuurin kehitystä ja jätejärjestelmien toimivuutta, sekä mahdollistaa paikallisen energiatuotannon ja energiaturvallisuuden. Sosiaalisesti kestävä uusiutuva kaasu vastaa poliittisesti asetettuihin ympäristö- ja ilmastotavoitteisiin, huomioiden myös muut kestävyysnäkökulmien edellytykset.

Ympäristöllisesti kestävä uusiutuva kaasu on tuotettu kestävästi uusiutuvista energialähteistä ja raaka-aineista, edistäen ekologista monimuotoisuutta toimialueellaan. Ympäristöllisesti kestävä uusiutuvan kaasun päästöt ovat huomattavasti alhaisemmat fossiilisiin ja fossiilisista polttoaineista tuotettuihin kaasuihin verrattuna (Hijazi ym. 2016, 1298–1299; Gerloff 2021, 15). Elinkaaren aikaisten päästöjen lisäksi tulee kiinnittää huomiota myös mahdollisiin muihin ympäristövaikutuksiin. Ympäristöllisesti kestävä uusiutuva kaasu on

mahdollisuuksien mukaisesti tasapainossa taloudellisen kestävyuden kanssa mm. parhaan käytettävissä olevan tekniikan kautta (ISO 14024:2018(E)). Suomessa tuotantolaitosten negatiiviset ympäristövaikutukset pyritään minimoimaan vaatimalla toimijalta ympäristölupaa sekä ympäristösuojelulain noudattamista (Latvala 2009, 15).

Taloudellisesta näkökulmasta kestävä uusiutuva kaasu on tuotantomenetelmiltään kannattavaa ja tehokasta, sekä edistää sosiaalista ja ympäristöllistä kestävyyttä mahdollisuuksien mukaisesti.

### **Kestävyyskysymykset**

Uusiutuviin kaasuihin liittyy useita kestävyyskysymyksiä. Kestävyyskysymyksiä voidaan kohdistaa koko elinkaaren ajalle raaka-aineista loppusijoitukseen.

Biokaasun tuotantoa jätteistä voidaan pitää kestäväenä, jos jätteiden synty noudattaa jätehierarkiaa, kaasun tuotanto on taloudellisesti kannattavaa ja tehokasta, sekä tuotanto ei aiheuta ympäristöhaittoja. Esimerkiksi maankäytön seurauksena syntyneiden pelto- ja puubiomassojen käyttö biokaasun tuotannossa saattaa muodostaa kestävyyskysymyksen kyseisen orgaanisen biomassan synnyinpaikan ekosysteemien ylläpitämisestä, maankäytön näkökulmasta sekä maaperän rehevöitymisestä ja vesistöjen happamoitumisesta (Hijazi ym 2016, 1299; EU 2018/2001). Vaikka lannan käyttö biokaasun raaka-aineena edistääkin kiertotaloutta ja ravinnekiertoa, myös se muodostaa kestävyyskysymyksen, sillä maatalouden eläintuotannossa on useita eettisyysnäkökulmia, sillä eläintaloutta pidetään usein ympäristöllisesti kestävämmänä (YLE 2021). Kyseisessä tilanteessa punnitaan kestävyuden näkökulmien ristikkäisvaikutuksia: taloudellisesti kestävin toimintamalli ei välttämättä ole ympäristöllisesti kestävin.

Biokaasun tuotantolaitosten päästöihin voitaisiin vaikuttaa parantamalla ohjeistuksia kestävyyskriteereistä toiminnanharjoittajille, minimoimalla hiilidioksidi- ja metaanivuodot pidentämällä syötteen viipymäaika mädätysreaktorissa, mahdollistamalla ajankohtaiset laitoshuollot ja pitämällä

laitoksen rakenteen ehjänä ja kestävinä, sekä parantamalla mädätteen varastointimahdollisuuksia. (Luostarinen ym. 2023, 141.)

Vihreän vedyn merkittävimmät kestävyyskysymykset yleisesti kohdistuu vedyn tuotantoprosessien energiaintensiivisyyteen, veden käyttöön, tuotantoprosessin tehokkuuteen, päästöihin sekä poliittisiin ratkaisuihin. Sivill ym. (2022, 211) mukaan tällä hetkellä on kannattavampaa tuottaa vetyä fossiilisilla energialähteillä ja talteen ottaa tuotannossa syntyvä hiilidioksidi kuin tuottaa ympäristöystävällisesti täysin puhdasta vetyä.

International Renewable Energy Agency (IRENA, 2023) hiljattain julkaiseman artikkelin mukaan vedyn tuotannon yksi keskeisimmistä kysymyksistä vesielektrolyysiteknologioiden käytön lisääntyessä on merkittävästi kasvava veden tarve. IRENAn arvion mukaan makean veden tarve voi jopa kolminkertaistua vuoteen 2040 mennessä ja kuusinkertaistua 2050 mennessä vedyn kysynnän kasvaessa.

Sitran megatrendiselvityksen (Dufva & Rekola, 2023, 18) mukaan makeasta vedestä tulee pulaa monin paikoin ilmastonmuutoksen aiheuttamien sään ääri-ilmiöiden johdosta, minkä vuoksi vesielektrolyysiteknologioihin liittyy alueellisesti mm. sosiaalisen kestävyuden ristiriitoja. Ratkaisuna tähän meriveden käytön mahdollisuutta elektrolyyseissä tutkitaan ja tekniikkaa on myös kehitetty, mutta tekniikka ei ole toistaiseksi vielä testilaitoksia kattavammassa käytössä (Gao, Yu & Gao, 2022, 8). Meriveden käytöllä elektrolyysissä voidaan tuottaa myös makeaa vettä, mikä voisi vastata makean veden pulaan (Yu ym. 2019, 1), mutta meriveden käyttö lisää myös kestävyyskysymyksen vesiekosysteemien vaalimisesta.

Sitran megatrendiselvityksen (Dufva & Rekola 2023, 19) mukaan yksi uusiutuviin energialähteisiin liittyvä kestävyyskysymys on myös teknologian vaatimien materiaalien riittävyys, kuten esimerkiksi vesielektrolyysiteknologioissa ilmastoa ja ympäristöä, usein myös sosiaalista kestävyyttä, kuormittavien katalyyttimateriaalien saatavuus.

### 3.4 Kestävyysskriteerien riittävyyden mittaaminen

Kestävyysskriteeristön riittävyyden mittaaminen edistää kehitysprosessin aloittamista. Toimiakseen suunnitellusti kestäväyskriteerien tulee olla uskottavat. ISEAL on julkaissut kestävyysjärjestelmän 2. version uskottavuuden periaatteet 2021 kesäkuussa, jolla ISEAL tarkentaa vuoden 2013 julkaistua ensimmäistä versiota. Julkaisun periaatteet ovat olennainen osa kestäväyskriteeristön ja muiden kestävyysjärjestelmien riittävyyden selvittämistä. Julkaisussa (ISEAL 2021, 2–3) listatut kestävyysjärjestelmän uskottavuuden periaatteet ovat:

- kestävyiden vaikutukset,
- yhteistyö,
- arvon luonti,
- mitattava edistyminen,
- sidosryhmien osallistaminen,
- läpinäkyvyys,
- puolueettomuus,
- luotettavuus,
- totuudenmukaisuus sekä
- jatkuva kehitystyö.

Usein edellä mainitut kestävyysjärjestelmän uskottavuuden periaatteet kiteytyvät toimijan itse määrittämään visioon, missioon ja strategiaan, joissa määritellään toiminnan tavoitteet sekä toimintamenetelmät, joilla tulevaisuuden tavoitela eli visio pyritään saavuttamaan. Toimintamenetelmissä myös saatetaan määritellä menetelmät ja aikataulut kehitykselle. Kestävyiden tavoitteet toimijakohtaisesti yleensä johdetaan YK:n kestävä kehityksen tavoitteista (SDGs) (United Nations 2015).

ISEAL:n määrittämiä kestävyysjärjestelmän uskottavuusperiaatteita (2021, 2–3) sovelletaan kestäväyskriteeristön riittävyyden määrittämisessä.

Kestäväyskriteeristön riittävyyden määritelmään tulee avata lisäksi huomioitavat

elinkaaren vaiheet sekä vaikutukset ympäristöön ja ilmastoon, ja valitun toimialan, tuotteen tai palvelun kestävyysmääritelmät sekä tavoitteet (SFS-Opas 11 2009; ISO 14024:2018(E)).

Jotta kestävyyskriteeristön riittävyyttä voidaan mitata, tulee ensisijaisesti määritellä pohja, mitä mitataan. Ympäristömerkin kestävyyskriteeristön uudistaminen on monimutkainen prosessi, ja sen on perustuttava laajaan yhteistyöhön ja tieteelliseen tietoon (ISO 14024:2018(E); ISEAL 2021, 2–3). Uskottavuuden periaatteet (ISEAL 2021, 2–3) esittävät, että sidosryhmien yhteistyö luo uskottavuutta kestävyysjärjestelmälle.

Kun perusta ympäristömerkille on määritelty, voidaan edetä selvittämään strategian kautta, kuinka ympäristömerkillä pyritään vaikuttamaan ympäristöön. Ympäristömerkityn tuotteen tai palvelun elinkaaren tarkastelun lisäksi voidaan toteuttaa vaikuttavuusanalyysi, jonka avulla voidaan mahdollisiin ja todennäköisiin negatiivisiin vaikuttavuuksiin reagoida tai niitä voidaan ennakoita. Tällöin vastataan ISO 14 024 vaatimukseen ympäristövaikutusten ja elinkaariarviointien huomioimisesta kestävyyskriteeristössä sekä vastataan myös uskottavuuden periaatteiden kohtiin kestävyysvaikutukset, mitattava edistyminen, luotettavuus sekä jatkuva kehitystyö.

Tuotteen tai palvelun tulee koko sen tuotannon ja käytön osalta noudattaa toimialueellaan määriteltyjä lakeja ja säädöksiä. Tämä on yleisesti ottaen vähimmäisvaatimus minkään ympäristömerkinnän myöntämiselle.

Kansainvälisissä ympäristömerkeissä hankaluudeksi muodostuu kansallisten lakien ja asetusten kansainväliset poikkeavuudet. (ISO 14024:2018(E).)

Kestävyyskriteeristössä tulee huomioida siis kansalliset ja kansainväliset lait ja asetukset sekä toimialakohtaiset standardit.

Kestävyyskriteerit ovat riittävät, kun:

- i. niiden hyväksytyt kohdetuotteet tai -palvelut noudattavat kansallisia ja kansainvälisiä lakeja ja asetuksia, jotka liittyvät mm. koko arvoketjun aikaisiin toimintoihin, vastuullisuusraportointiin ja viestintään, laitteistojen vaatimuksiin sekä alakohtaisiin markkinoihin.

- ii. ne noudattavat sovittuja sitovia kansallisia ja kansainvälisiä ympäristö- ja ilmastotavoitteita.
- iii. ne noudattavat kansallisia ja kansainvälisiä standardeja, joita viestitään noudatettavan.
- iv. ne edistävät kestävyyskriteerit asettaneen organisaation esittämän vision, mission ja strategian mukaisesti organisaation tavoitteita ja toimintaa sekä viestivät toiminnasta asianmukaisesti, läpinäkyvästi ja totuudenmukaisesti.
- v. niille on asetettu asiakirjamuotoiset, tai muuten vähintään kestävyyskriteerit asettaneen organisaation sisäisesti saatavilla olevat kirjalliset, dokumentit myöntämis- ja kehitysprosesseista.
- vi. niissä huomioidaan paras käytettävissä oleva tekniikka, sen kaupallisuus sekä sovellettavuus, huomioiden myös käytetyn tekniikan vaikutukset sosiaaliseen, ympäristölliseen sekä taloudelliseen kestävyteen toimialueellaan.
- vii. ne asettavat tarkat ja perustellut sekä asianmukaisesti rajatut kriteerit käytettäville energiamuodoille, raaka-aineille, ympäristövaikutuksille ja/tai elinkaaren aikaisille päästöille.

Kestävyyskriteerit tulee lähtökohtaisesti suunnitella riittäviksi, jotta tavoitellut vaikutukset voidaan saavuttaa. Siksi kestävyyskriteerien riittävyyden periaatteet vastaavat myös tutkimuskysymykseen, mitä tulee huomioida kestävyyskriteerien päivittämisessä ja ylläpitämisessä.

## 4 EKOenergia ympäristömerkin kestävyyskriteerien riittävyys

EKOenergia on Suomen luonnonsuojeluliiton koordinoima kansainvälisten ympäristöjärjestöjen verkosto ja voittoa tavoittelematon ympäristömerkki, joka pyrkii edistämään ympäristöystävällisempiä kulutusvalintoja. EKOenergia ympäristömerkki (Kuva 5) on pääosin käytössä uusiutuvalle sähkölle, mutta ympäristömerkillä on omat kestävyyskriteerinsä myös uusiutuvilla raaka-aineilla ja energialla tuotetulle uusiutuvalle kaasulle, sekä lämmitykselle ja jäädytykselle (EKOenergia n.d.). EKOenergia-merkitystä energiasta maksetaan lisäksi 0,10 € megawattituntia kohden ympäristörahaan, sekä vesivoimalla tuotetussa sähkössä lisäksi 0,10 € virtavesirahaan, jolla rahoitetaan energiaköyhyyttä lieventäviä projekteja kansainvälisesti (EKOenergia n.d.). Rahastoja ei kuitenkaan oteta huomioon tarkastellessa uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerejä.



Kuva 5 Logo © EKOenergia

EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerit on edellisen kerran päivitetty 2021 joulukuussa, ja alkuperäiset otettiin käyttöön 2017 helmikuussa (EKOenergia 2017, 1). Uusiutuvan energian teknologia, säädökset ja direktiivit kehittyvät nyt energiamurroksen ja kansainvälisten ympäristötavoitteiden vuoksi hyvin nopeasti, ja siksi on erityisen tärkeää ylläpitää ja päivittää kriteeristöä proaktiivisesti.

EKOenergia on määritellyt periaatteet uusiutuvan kaasun kestävyyskriteereille (EKOenergia 2017, 3). Periaatteiden pääkohta on, että uusiutuvan kaasun tuotannon on oltava ympäristöystävällistä ja sen on tavoiteltava positiivisia vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen, ekosysteemeihin ja ympäristöön. Uusiutuvan kaasun käytön ja tuotannon pitäisi myös auttaa hidastamaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä elinkaarensa aikana verrattuna fossiilisista polttoaineista tuotettuun energiaan (EKOenergia 2017, 3). EKOenergia-merkitty energia voidaan huomioida merkkiä käyttävien organisaatioiden GHG Protocol Scope 2 mukaisessa päästöraportoinnissa. Ympäristömerkin myöntämisessä kerrotaan huomioitavan mm. energiatuotantolaitoksen sijainti, vaikutus ympäristöön ja arviot elinkaaresta, tuotetun energian alkuperätakuut, sekä syötteen laatu (EKOenergia 2017, 3–5).

Yksinkertaistetusti EKOenergia ympäristömerkin myöntämisprosessi on seuraava: uusiutuvan energian kuluttaja tai myyjä hakee ympäristömerkkiä, todistaa kuluttamansa tai myymänsä uusiutuvan energian alkuperän ja määrän sekä luovuttaa muut vaaditut dokumentit, EKOenergia tarkistaa dokumenttien hyväksyttävyyden ja myöntää ympäristömerkin alkuperätodistuksessa määritellylle energiamäärälle yksikössä MWh. Myöntämisprosessista ei ole kirjallista prosessikuvausta EKOenergian arkistoissa tai muissa tietolähteissä ja se prosessikuvaus on tuotettu EKOenergian sihteeristön hiljaisesta tiedosta.

EKOenergia ei viesti sivustollaan käytetyistä ympäristömerkintöjen standardeista. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kuitenkin kriteeristön riittävyttä ISO 14 024 tyyppin I ympäristömerkintöjen standardin vaatimuksiin perustuen.

#### 4.1 EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerit

EKOenergia ympäristömerkin kestävyyskriteeristön asettaa ympäristöjärjestöjen kansainvälinen verkosto (EKOenergia n.d.).

EKOenergia kertoo verkkosivustollaan (EKOenergia n.d.) uusiutuvan kaasun kriteeristön lyhyesti määriteltynä olevan seuraava:

- i. Uusiutuvan kaasun alkuperä tulee olla jäljitettävissä, ja ympäristöominaisuuksien kaksinkertainen laskenta tulee estää.
  - o Alkuperä voidaan todistaa hyväksytyillä alkuperätakuilla, jotka on tuotettu luotettavien alkuperätakuujärjestelmien mukaisesti.
- ii. Biokaasu tulee olla tuotettu uusiutuvista raaka-aineista, joihin lukeutuu biologinen jäte, biologiset sivuvirrat ja jätevesilietteet maataloudesta, kunnilta ja teollisuudesta, kaatopaikkakaasut sekä tietynlainen puubiomassa (lukuun ottamatta mm. juuria, kantoja ja suuria tukkeja). Nämä resurssit on käytettävä 100-prosenttisesti uusiutuvan energian laitoksissa.
  - o Biomassa luonnonhoidollisista toimenpiteistä ei saa tulla luonnonsuojelualueilta, jos kansainvälinen tai paikallinen luonnonsuojelutoimija ei ole hyväksynyt sitä (EKOenergia 2017, 5).
  - o Ympäristömerkityn kaasun tulee viestiä mm. alkuperätakuiden kautta uusiutuvan kaasun alkuperämaa, biokaasun tuotannon raaka-aineena toiminut bioenergian lähde, sekä jos mahdollista, myös käytetty tuotantolaitos (EKOenergia 2017, 4).
- iii. Uusiutuvasta energiasta tuotetut muut uusiutuvat kaasut, eli Power-to-Gas kaasut, tulee olla tuotettu EKOenergian kestävyyskriteerit täyttävällä uusiutuvalla sähköllä.
- iv. EKOenergia merkitystä energiasta maksetaan 0,10 € MWh kohden EKOenergian ilmastorahastoon, jolla pyritään luomaan positiivisia ympäristövaikutuksia sekä lisäämään uusiutuvan energian käyttöä.
- v. Auditointi ja seuranta tapahtuu vuosittain EKOenergian sihteeristön järjestämänä, perustuen julkaistuihin elinkaariarviointeihin, tutkimuksiin ja dataan.

Tarkemmat EKOenergian uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerit ovat julkaisussa ”EKOenergian kriteerit uusiutuvalla kaasulla” (EKOenergia 2017) ja kyseinen

kriteeristö käydään läpi yksityiskohtaisesti, jotta kriteeristön riittävyys voidaan selvittää. Vaikka uusiutuvan kaasun kriteeristön nimessä ei ole mainintaa kestävyydestä, tässä opinnäytetyössä kriteeristöä käsitellään kestävyyskriteeristönä, sillä ympäristömerkin viestinnässä molemmat sanat esiintyvät puhuttaessa kriteeristöistä.

EKOenergia-merkityn energian tulee täyttää kaikki voimassa olevat uusiutuvalle energialle asetetut lait ja asetukset, sekä tuotantolaitosten ja niiden laitteiden tulee toimia niille asetettujen vaatimusten, sääntöjen, sopimusten ja lupien mukaisesti (EKOenergia 2017, 5).

Kestävyyskriteeristö uusiutuvalle kaasulle on EKOenergian mukaan (EKOenergia 2017, 1) muodostettu ISEAL Standard Setting-Code-käytäntöjä noudattaen. Standard Setting -Code- käytännöt eivät kuitenkaan ole saatavilla kestävyyskriteeristössä tarjotusta linkistä.

## **Visio ja missio**

EKOenergia kertoo sivustollaan visionsa olevan maailma, jossa energian tuotanto ja kulutus olisi vastuullista ja jossa eletään luontoa ja sen monimuotoisuutta kunnioittaen. Visiossa YK:n kestävä kehityksen tavoitteet on saavutettu. Missiona on käyttää ympäristömerkkiä sekä ilmastorahastoon kerättyjä varoja kestävämpien energiamuotojen sekä ilmaston ja luonnon monimuotoisuuden suojelun edistämiseksi. (EKOenergia n.d.).

EKOenergian kestävä kehityksen tavoitteet ovat YK:n mukaan 7 Edullista ja puhdasta energiaa, 17 Yhteistyö ja kumppanuus, 12 Vastuullista kuluttamista sekä 13 Ilmastotekoja (United Nations 2023b). Ympäristömerkillä pyritään saavuttamaan edellä mainitut tavoitteet.

## **Elinkaariarvioinnit**

EKOenergia mainitsee uusiutuvan kaasun kestävyyskriteereissään, että ei itse tuota elinkaariarvioita, vaan käyttää uskottavia raportteja ja analyyseja tunnistaakseen parhaat käytännöt ja sulkeakseen pois ympäristölle haitalliset tuotanto- ja toimintatavat (EKOenergia 2017, 3).

EKOenergialla ei ole dokumentoitu EKOenergian uusiutuvan kaasun kestävyyskriteeristöön huomioituja elinkaariarviointeja.

Myöntämisprosessissaan EKOenergia vaatii ympäristömerkin hakijaa todistamaan ympäristömerkityksi haetun energian standardien ja kestävyyskriteerien mukaisuuden.

## **Alkuperätodistukset**

EKOenergia on sivustollaan (EKOenergia n.d.) määritellyt hyväksymänsä alkuperätodistukset, joita ovat eurooppalaiseen lainsäädäntöön perustuva alkuperätakuujärjestelmä Guarantee of Origin (GO), pohjoisamerikkalainen Renewable Energy Certificates -järjestelmä (REC), sekä muualla maailmassa muut luotettavat jäljitysmenetelmät, kuten kansallisten säädösten tai I-REC-järjestelmän mukaiset alkuperätodistukset. Hyväksyttävät todistukset tulee olla GHG Protocol Scope 2 -säännösten mukaisia. (EKOenergia n.d.)

### **4.2 Uusiutuvan kaasun kriteerien riittävyys**

Kuten kappaleessa 3.4 Kestävyyskriteerien riittävyyden mittaaminen kerrottiin, riittävyyden määrittely edesauttaa sen tutkimista. Tarkastellaan EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerien (2017) riittävyyttä kappaleessa 3.4 Kestävyyskriteerien riittävyyden mittaaminen asetetun listauksen mukaan.

- i. Kestävyyskriteerien hyväksytyt kohdetuotteet tai -palvelut noudattavat kansallisia ja kansainvälisiä lakeja ja asetuksia, jotka liittyvät mm.

koko arvoketjun aikaisiin toimintoihin, vastuullisuusraportointiin ja viestintään, laitteistojen vaatimuksiin sekä alakohtaisiin markkinoinhin.

- a. EKOenergian uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerit toimivat omalla toimialueellaan lakien ja asetusten mukaisesti. Kestävyyskriteerien vaatimukset eivät poikkea EU:n tai Suomen laeista, ja EKOenergia vaatii lakien ja asetusten noudattamista ympäristömerkkiä hakevilta ja käyttäviltä tahoilta. Käytännössä lakien ja asetusten noudattamatta jättämisen ilmetessä ympäristömerkintä evätään lakia ja asetuksia noudattamatta jättäneeltä taholta.
- b. Kyseinen osuus arvioidaan kestävyyskriteereissä riittäväksi.
- ii. Kestävyyskriteerit noudattavat sovittuja sitovia kansallisia ja kansainvälisiä ympäristö- ja ilmastotavoitteita.
  - a. EKOenergia merkitty energia toimii aktiivisesti sitovien kansallisten ja kansainvälisten ympäristö- ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi.
  - b. Kyseinen osuus arvioidaan kestävyyskriteereissä riittäväksi.
- iii. Kestävyyskriteerit noudattavat kansallisia ja kansainvälisiä standardeja, joita viestitään noudatettavan.
  - a. EKOenergia ei viesti verkkosivustollaan käytettävistä standardeista. Kyseisen osuuden riittävyys määritellään ISO 14 024 standardin vaatimusten mukaisesti. ISO 14 024 standardi edellyttää mm. elinkaariarviointien ja/tai ympäristövaikutusten huomioimisen kestävyyskriteereissä, myöntämisprosessin selkeyden, sekä kriteeristön kehittämisen suunnittelemisen. EKOenergia viestii uusiutuvan kaasun kriteeristön huomioivan energiantuotannon vaikutukset luontoon (EKOenergia 2017, 3), mutta kriteeristöissä ei kirjallisesti vaadita dokumentteja energiantuotannon vaikutuksista luontoon tai kestävyYTEEN.
  - b. Koska standardin edellyttämiä kestävyyskriteereihin huomioituja elinkaariarviointeja, asetettuja myöntämis- ja kehitysprosesseja ja muita dokumentteja ei ole saatavilla EKOenergian arkistoista tai

- muista EKOenergian tietolähteistä, eikä uusiutuvan kaasun kriteeristö vastaa EKOenergian oman verkkosivuston ja kriteeristön viestinnässä kerrottua kaikilta osin, arvioidaan kyseinen osuus kestävyyskriteereissä ja niiden toiminnallisissa tekijöissä riittämättömäksi.
- iv. Kestävyyskriteerit edistävät ne asettaneen organisaation vision, mission ja strategian mukaisesti organisaation tavoitteita ja toimintaa sekä viestivät toiminnasta asianmukaisesti, läpinäkyvästi ja totuudenmukaisesti.
    - a. EKOenergia toimii asettamansa mission ja strategian mukaisesti saavuttaakseen visionsa. Viestintä on asianmukaista, mutta kohdan iii. puutteiden vuoksi läpinäkyvyys ja totuudenmukaisuus eivät ole tavoitteellisella tasolla.
    - b. Kyseinen osuus arvioidaan kestävyyskriteeristön toiminnallisissa tekijöissä osittain riittämättömäksi.
  - v. Kestävyyskriteereille on asetettu asiakirjamuotoiset, tai muuten vähintään kestävyyskriteerit asettaneen organisaation sisäisesti saatavilla olevat kirjalliset, dokumentit myöntämis- ja kehitysprosesseista.
    - a. EKOenergian myöntämis- ja kehitysprosessit ovat hiljaista tietoa organisaatiossa. Kts. kohta iii.
    - b. Kyseinen osuus arvioidaan kestävyyskriteereiden toiminnallisissa tekijöissä riittämättömäksi.
  - vi. Kestävyyskriteereissä huomioidaan paras käytettävissä oleva tekniikka, sen kaupallisuus sekä sovellettavuus, huomioiden myös käytetyn tekniikan vaikutukset sosiaaliseen, ympäristölliseen sekä taloudelliseen kestävyteen toimialueellaan.
    - a. EKOenergian uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerit asettavat biokaasun tuotannon materiaaleille sekä vihreän vedyn tuotannossa käytettävälle uusiutuvalla sähkölle selkeät kriteerit. Käytettävästä tekniikasta ei ole mainintaa uusiutuvan kaasun kestävyyskriteereissä sen laillisuuden ja standardien vaatimusten

- lisäksi, mikä on vähimmäisvaatimus. Huomioitavan tekniikan vaikutusta sosiaaliseen, ympäristölliseen tai taloudelliseen kestävyyteen ei ole käsitelty kriteeristössä.
- b. Kyseinen osuus arvioidaan kestävyyskriteereissä osittain riittämättömäksi.
- vii. Kestävyyskriteerit asettavat tarkat ja perustellut sekä asianmukaisesti rajatut kriteerit käytettäville energiamuodoille, raaka-aineille, ympäristövaikutuksille ja/tai elinkaarenaikaisille päästöille.
- a. EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerit asettavat tarkat ja perustellut sekä asianmukaisesti rajatut kriteerit käytettäville energiamuodoille sekä raaka-aineille. Ympäristövaikutuksia tai elinkaariarviointeja ei ole kirjallisesti huomioitu kriteeristössä, vaikka niiden huomioimisesta viestitään.
  - b. Kyseinen osuus arvioidaan kestävyyskriteereissä osittain riittämättömäksi.

#### 4.3 Viestintä

Nykyiset EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerit antavat ymmärtää, että kaikki todistetusti uusiutuva kaasu olisi EKOenergia kelpoista, huomioiden kuitenkin mm. biokaasun tuotannossa syötteen ominaisuuksien kriteerit sekä P2G kaasujen, kuten vihreän vedyn, tuotannossa EKOenergia kriteeristön täyttävän uusiutuvan sähkön käytön (EKOenergia n.d.).

Verkkosivuston viestinnässä kerrotaan kriteeristön asettavan säännöt energiantuotannon vaikutukselle luontoon, ottavan huomioon seurannan, estävän kaksinkertaista laskentaa, sekä tarjoavan positiivisen lisävaikutuksen ympäristön hyväksi ja energiaköyhyyden vähentämiseksi. Kriteeristössä on käsitelty edellä mainituista kohdista kaikki pois lukien energiantuotannon vaikutuksen luontoon. (EKOenergia n.d.).

Kestävyyden eri näkökulmat on huomioitu visiossa, missiossa ja strategiassa, mutta niitä ei ole toistaiseksi huomioitu kattavasti kriteeristössä, sillä esimerkiksi

vaikutukset ympäröivään luontoon ovat jääneet huomioitta uusiutuvan kaasun kirjallisissa kriteereissä.

## 5 Johtopäätökset ja yhteenveto

EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerit on päivitetty vuoden 2021 joulukuussa. Kuten kappaleessa 2 Teoreettinen viitekehys esitetään, energiatalous on murroksessa, uusiutuvan kaasun teknologia kehittyy ja ympäristöpolitiikalla vaaditaan toimia, joten proaktiivinen kriteeristön päivitys on välttämätöntä. Vuoden 2021 päivitys teknisesti ottaen määrittää riittävän tarkasti biomassan sekä uusiutuvan sähkön kriteerit uusiutuvan kaasun tuotannossa. Kestävyysskriteeristönä se ei ole riittävä, sillä uusiutuvan kaasun kestävyyttä kriteeristöllä ei kattavasti voida todistaa.

### 5.1 Kehityskohdat ja -ehdotukset

Jotta EKOenergian kestävyyskriteerit uusiutuvalla kaasulle voidaan päivittää, kriteeristön kehityskohdat pitää tunnistaa ja dokumentoida. Kehityskohtien dokumentointi edesauttaa proaktiivista kriteeristön ylläpitämistä ja päivittämistä. Osa kehityskohdista voi myös olla kriteeristön ylläpitämistä ja päivittämistä edistäviä toimintoja. Tarvittaessa kehitysehdotuksia voidaan soveltaa myös muihin EKOenergian kestävyyskriteereihin.

Toimeksiannon aikana havaitut kehityskohdat EKOenergian uusiutuvan kaasun kestävyyskriteereissä ja niihin kohdistuvat kehitysehdotukset ovat:

- i. Kattava elinkaariarviointien sisällyttäminen kestävyyskriteeristön proaktiiviseen ylläpitämiseen ja päivittämiseen
  - a. Elinkaariarvioinnit voidaan sisällyttää osaksi myöntämisprosessia – ympäristömerkin hakijalta voidaan pyytää dokumentteja/asiakirjoja uusiutuvan kaasun tuotantolaitoksen, joka on alkuperätodistuksessa mainittu, elinkaariarvioinneista, täten edistäen ISO 14 024 standardin vaatimuksen toteutumisesta elinkaariarviointien huomioimisesta, sekä mahdollistaen elinkaaren aikaisten päästöjen vähentämisen. Kyseinen ehdotus edistäisi elinkaariarviointien jatkuvaa seuraamista ja saattaisi

mahdollistaa ulkoisen positiivisen paineen tuotantolaitosten elinkaaren optimoimiselle. Elinkaariarviointien vaatimukset, kuten esimerkiksi standardien 14 040 ja 14 044 noudattamisesta, rajauksista, sekä vaikuttavuuskategorioista, esitettäisiin päivitetyssä kestävyyskriteeristössä. Vaihtoehtoina kyseisessä ehdotuksessa on 1) kirjata ympäristömerkintää hakeneiden toimijoiden elinkaariarvioinnit EKOenergian omaan arkistoon, joista voidaan seurata vuosittain elinkaarenaikaisten vaikutusten kehitystä, tai 2) soveltaa elinkaariarviointeja EKOenergian logolla viestintään, jolloin ehdotus edellyttäisi kattavamman ohjeistuksen luomista ympäristömerkintää käyttäville tahoille, jotta hyväksytyt suoritettavat elinkaariarvioinnit on huomioitu ja niistä on viestitty ympäristömerkintää käyttävien tahojen julkaisuissa läpinäkyvästi, toimijakohtaisesti ja edistään esitettyjä tavoitteita. EKOenergia merkityn kaasun myyjien ja kuluttajien viestinnän tulisi olla helposti saatavilla myös EKOenergialle, jotta voidaan seurata sen ja ISO 14 024 vaatimusten toteutumista. Tämän ehdotuksen ja sen vaihtoehtoisten ratkaisujen toteuttaminen vaatii resursseja EKOenergian sihteeristöltä, mutta osa resursseista kohdistuisi myös ympäristömerkintää hakeville tahoille. Ohjeistusta ja kriteeristöä vaaditaan toteutettavaksi ympäristömerkintää hakeville tahoille elinkaariarviointien huomioimiselle, jotta huomioidut elinkaariarvioinnit ovat ajankohtaisia sekä niistä viestitään asianmukaisesti ja läpinäkyvästi.

- b. Elinkaariarviointien huomioiminen suoraan kestävyyskriteeristössä – ympäristömerkinnän tulee määritellä, mihin toimintoihin liittyen elinkaariarviointeja tulee huomioida. Kriteeristöön voidaan asettaa edellytys tiettyjen tuotantomenetelmien suosimisesta perustuen elinkaariarviointeihin, mutta kyseinen menetelmä ei ole ideaali, sillä se esittää ristiriidan paikallisessa ja kansainvälisessä ympäristössä mm. erilaisten kehittyneiden tuotantomenetelmien ja -laitteistojen tekniikkaan liittyen. Kehittynein tuotantotekniikka on

usein taloudellisesti kestävin ratkaisu, mutta tällöin ympäristöllinen kestävyys tulee myös huomioida. Ympäristöystävällisin tuotantotekniikka taas usein ei ole kaupallisesti vielä skaalattavissa. Ympäristömerkintää ei myöskään myönnetä tuotantolaitoksille tai -menetelmille, minkä vuoksi elinkaariarviointien huomioiminen jatkuvana prosessina vaatii edellistä ehdotusta enemmän resursseja EKOenergian sihteeristöltä, jotta huomioidut elinkaariarvioinnit ovat ajankohtaisia tekniikan kehittyessä jatkuvasti.

- ii. Kattava ympäristövaikutusnäkökulmien lisääminen kriteeristöön
  - a. Ympäristövaikutusten huomiointi, biokaasun syötteen ja P2G kaasujen tuotannossa käytetyn sähkön kriteerien sisällön lisäksi, ei ole löydettävissä kattavasti nykyisestä kriteeristöstä. Kuten nykyisissä EKOenergian laajemmin käytössä olevissa sähkön kestävyyskriteereissä on kirjattu, sovelletaan uusiutuvan kaasun kestävyyskriteereihin kirjattavaksi uusiutuvan kaasun tuotantolaitoksen ympäristövaikutusten minimointi konkreettisemmin. Kriteeristöön tulee kirjata, että jatkossa, kuten muitakaan uusiutuvan energian tuotantolaitoksia, uusiutuvan kaasun tuotantolaitosta ei tule sijoittaa luonnonsuojelualueille. Tuotantolaitoksen elinkaaren aikaiset vaikutukset ympäristöön, vesistöihin (erityisesti merivettä käyttävillä vihreän vedyn tuotantolaitoksilla, sekä veden käytön kestävyysnäkökulmat vesipulasta kärsivillä alueilla) ja muihin paikallisiin ekosysteemeihin tulee huomioida, ja muut mahdolliset ympäristö- ja ilmastohaitat (kuten biokaasun tuotantolaitosten metaani- ja muut päästövuodot) estää.
  - b. Kriteeristöön voidaan asettaa raja-arvot energiantuotantolaitoksen aiheuttamille hyväksyttävillä ympäristövaikutuksille, kuten melu- ja hajuhaitoille tai päästövuodoille, jos ne on kattavasti ja tieteellisesti perusteltuja ja jos ne asettavat vain kohtuullisesti ympäristöä kuormittavan ja todistetusti kestävyyttä

vaarantamattoman vaikutuksen. Päästöjä ehkäiseviä varajärjestelmiä käytäviä tuotantolaitoksia tulee suosia, erityisesti alueilla, joilla niiden käyttöä ei ole edellytetty lailla. Ensisijaisesti mahdollisuuksien mukaan kaikki ympäristösaasteet ja -haitat tulee ehdottomasti estää.

iii. Myöntämisprosessin dokumentit osana kestävyyskriteeristön toiminnallisia tekijöitä

- a. Koska myöntämisprosessista ei ole kirjallista muotoa, eli se on hiljaista tietoa, myöntämisprosessi ei ole kaikilta osin riittävän läpinäkyvä ja näin ollen se ei edistä kansainvälistä yhdenmukaisuutta tai ISO 14 024 vaatimuksia tavoitteellisella tasolla. Tuotetaan asiakirjat myöntämisprosessista, joka pitää sisällään vähintään myöntämisprosessin vaiheet hakemisesta, dokumenttien ja todistusten läpikäymisestä, ympäristömerkin myöntämisestä ja lisäksi myös auditoinnista. Myöntämisprosessin vaiheiden vastuuhenkilöiden nimeäminen on suositeltavaa. Poikkeamien mahdollisuudet kansainvälisten kontekstien välillä, kuten tarkistettavien kulttuurillisten kestävyysnäkökulmien osalta, tulee kirjata mahdollisuuksien mukaan myöntämisprosessiin. Jos kyseinen myöntämisprosessi, yksinkertaisimmassa muodossaan eli ilman kansainvälisiä poikkeuksia, voidaan julkaista esimerkiksi EKOenergian verkkosivuilla, edistäisi se ympäristömerkinnän uskottavuutta erityisesti läpinäkyvyyden ja totuudenmukaisuuden kautta. Myöntämisprosessin dokumentointi edistää myös EKOenergian sihteeristön resurssien allokointia ja optimointia, sekä mahdollistaa jatkuvan kehityksen prosessin.

iv. Kehitysprosessin dokumentit osana kestävyyskriteerin toiminnallisia tekijöitä

- a. Tuotetaan asiakirja kehitysprosessista ja sen tavoitteista vähintään EKOenergian sihteeristön käyttöön. Jos kehitysprosessin asiakirjan tai osan siitä voi julkaista esimerkiksi verkkosivustolla, huolehtien kuitenkin tietoturvallisuudesta,

edistäisi se toiminnan läpinäkyvyyttä ja totuudenmukaisuutta. Kehitysprosessin tulee sisältää mm. identifioidut sidosryhmät ja niiden osallistamisen suunnitelmat ja tavoitteet, käytettävät jatkuvan kehityksen työkalut (kuten vaikuttavuusanalyysit, GAP-analyysit ym.), kehitykseen sidottavat resurssit, sekä kehitysprosessin aikataulu. Ehdotus edistäisi ISO 14 024 vaatimuksia kriteeristön kehittämisen suunnittelulle. ISO 14 024 standardin toteutumiseksi sidosryhmät tulee osallistaa muutosten hyväksyntään, mukaan luettuna kehitysprosessiin.

- v. Parhaan käytettävissä olevan tekniikan huomioiminen kestävyyskriteereissä
  - a. Paras käytettävissä oleva tekniikka voidaan huomioida kestävyyskriteereissä vaikuttavuusanalyysien ja kestävyyskysymysten kautta. Kestävyyskriteereissä voidaan ehdottaa kestävyysnäkökulmien perustelevaa parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa, mutta kyseinen tekniikka ei saa esittää ristiriitaa paikallisten kestävyiden periaatteiden tai kansainvälisten ympäristö- ja ilmastotavoitteiden kanssa. Erityisesti paikallisessa ja kansainvälisessä ympäristössä mm. erilaisten kehittyneiden tuotantomenetelmien ja -laitteistojen tekniikkaan liittyen saattaa esiintyä poikkeavuuksia, minkä vuoksi ehdotus vaatii tarkempaa tarkastelua ja paikallisten kestävyysnäkökulmien kattavampaa selvittämistä. Jo selvitetty paikalliset poikkeavuudet tulee dokumentoida, jotta yhteistyö muiden paikallisten toimijoiden kanssa olisi yhteneväistä ja tasavertaista.
- vi. Viestinnän yhtenäistäminen
  - a. EKOenergian oma viestintä – viestintää voidaan kehittää yhtenäisemmäksi tuottamalla myöntämisprosessille asiakirjat sekä päivittämällä ristiriitaisuuksia muodostavia väitteitä. Verkkosivuston viestinnässä kerrottujen väitteiden tulee olla totuudenmukaisia sähköisen kriteeristön lisäksi myös muissa

laadituissa kriteereissä, sillä esimerkiksi luonnon huomioimisen väite ei kattavasti toteudu uusiutuvan kaasun kriteereissä. Lisäksi kriteeristöjen sivunumerointien oikeellisuus sekä esitettyjen linkkien toimivuus on hyvä huomioida viestinnän tarkkuuden parantamiseksi.

vii. Sidosryhmien osallistaminen

- a. Identifioidaan vaikuttavimmat sidosryhmät sekä selvityskohdat sekä kehitetään asiantuntijoita osallistava haastattelu/kysely – Sidosryhmiltä, joista osa on mainittu osiossa 2.1 Uusiutuva kaasu, voidaan selvittää mm. ympäristömerkityn uusiutuvan kaasun markkinatilanne ja kysyntä, ympäristömerkin koetut vastuullisuus- ja luotettavuus käsitykset, sekä arvioida ympäristömerkityn uusiutuvan kaasun todellisia ympäristö- ja ilmastovaikutuksia. ISO 14 024 standardin toteutumiseksi sidosryhmät tulee osallistaa myös muutosten hyväksyntään.

## 5.2 Käyttöönotto ja seuranta

EKOenergia saa käyttää tätä opinnäytetyötä esiselvityksenä uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerien päivittämisessä, sekä vapaasti käyttöönottaa ja soveltaa esitettyjä kehitysehdotuksia.

Edellytys käyttöönoton ja seurannan onnistumiselle on uusiutuvan kaasun kestävyyskriteeristön proaktiivinen ylläpitäminen ja päivittäminen. Havaitut kehityskohdat ja -ehdotukset on esitetty listana. Kyseiset kehityskohdat ja -ehdotukset on dokumentoitu, jotta EKOenergia voi aloittaa kestävyyskriteeristön ylläpitämis- ja päivittämisprosessit, sekä kiinnittää huomiota myös alustavien toimintojen havaitsemiseen ja dokumentointiin.

Seurannan toteutumiselle on edellytys, että tiedetään mitä ja miten seurataan. Siksi on ensiarvoista tuottaa ja selventää dokumentit vähintään EKOenergian sihteeristön käyttöön toiminnallisista prosesseista, joita ovat esimerkiksi ympäristömerkin myöntämis- ja kehitysprosessi. Dokumentoinnin tarkoitus on

edistää sihteeristön resurssien allokointia sekä EKOenergian toiminnan läpinäkyvyyttä ja yhdenmukaisuutta.

Tulosten tarkoituksena on toimia esiselvityksenä ja antaa suuntaa antavia ehdotuksia uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerien riittävyyden mittaamiseksi, sekä kestävyyskriteeristön päivittämiseksi ja ylläpitämiseksi tulevaisuudessa. Tuloksissa perustellut ehdotukset ovat opinnäytetyöntekijän näkemyksen mukaisesti kannattavimpia vaihtoehtoja sosiaalisen, ympäristöllisen ja taloudellisen kestävyuden näkökulmasta, ja niitä voidaan soveltaa tarvittaessa myös muissa EKOenergian kestävyyskriteereissä.

### 5.3 Yhteenveto

Uusiutuvan kaasun kestävyyskriteerien riittävyys ympäristömerkinnöissä on moniulotteinen sekä -alainen kokonaisuus, joka vaatii kattavaa tarkastelua myös jatkossa. Jatkuva proaktiivinen kestävyyskriteeristön kehitystyö on edellytys ympäristömerkintöjen luotettavuudelle sekä todellisten positiivisten ympäristövaikutusten toteutumiselle.

Uusiutuvan kaasun kestävyyskriteeristön riittävyys määriteellään asetettujen tavoitteiden ja odotusten toteutumisen mukaan. Kestävyyskriteeristö on siis riittävä silloin, kun se noudattaa toiminta-alueellaan asetettuja lakeja ja määräyksiä, viestii asianmukaisesti, läpinäkyvästi ja totuudenmukaisesti, edistää ympäristö- ja ilmastotavoitteiden saavuttamista, sekä toiminnallaan parantaa ympäristöystävällisempien tiedostettujen kulutusvalintojen mahdollisuutta. Uusiutuvan kaasun kestävyyskriteeristössä tulee huomioida lisäksi myös vaikutukset sosiaaliseen, ympäristölliseen sekä taloudelliseen kestävyteen. Vastauksena tutkimuskysymykseen, mitä kestävyyskriteeristön ylläpitämisessä ja päivittämisessä tulee huomioida, edellä mainitut kokonaisuudet ovat tärkeitä huomioita riittävyyden ja jatkuvan kehityksen edellytyksenä.

EKOenergian uusiutuvan kaasun kriteerit teknisesti ottaen määrittää riittävän tarkasti biomassan sekä uusiutuvan sähkön kriteerit uusiutuvan kaasun

tuotannossa. Kestävyysskriteeristönä se ei ole riittävä, sillä uusiutuvan kaasun kestävyyttä kriteeristöllä ei kattavasti voida todistaa. Jotta kestävyyskriteerien riittävyys, kestävyuden todistaminen ja kestävä kehityksen edistäminen toteutuisivat tavoitteellisella tasolla, kehitysehdotusten listauksessa esitetyt asiat tulisi huomioida kriteeristön ylläpitämisessä ja päivittämisessä. Kehitysehdotusten käyttöönoton pohjana on dokumentoinnin tärkeys, prosessikuvausten luominen ja noudattaminen, sekä viestinnän tarkkuus.

## Lähteet

**Alakangas, E.; Hurskainen, M.; Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J.** Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. VTT Technology 258. ISBN 978-951-38-8419-2 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>).

**Borole, A. P. & Greig, A. L. 2019.** Life-Cycle Assessment and Systems Analysis of Hydrogen Production. Biohydrogen - A volume in Biomass, Biofuels, Biochemicals. 2. painos. Elsevier, 20, 485-512.

**Dufva, M. & Rekola, S. 2023.** Megatrendit 2023. Helsinki: Sitra. SITRAN selvityksiä 224. ISBN 978-952-347-301-0 (PDF) [www.sitra.fi](http://www.sitra.fi).

**EKOenergia n.d.** Ympäristömerkki. Viitattu 4.10.2023. <https://www.ekoenergy.org/fi/ecolabel/>.

**EKOenergia 2017.** EKOenergian kriteerit uusiutuvalle kaasulle. Viitattu 1.12.2023. <https://www.ekoenergy.org/wp-content/uploads/EKOenergia-criteria-renewable-gas-Finnish.pdf>.

**Energiavirasto 2022.** Energian alkuperätakuut laajenevat - kuluttajille yhä kattavampaa tietoa tuotantotavoista. Viitattu 15.12.2023. <https://energiavirasto.fi/-/energian-alkuperatakuut-laajenevat-kuluttajille-ya-kattavampaa-tietoa-tuotantotavoista>.

**Energiavirasto 2023.** Suomen maakaasumarkkinat. Viitattu 27.9.2023. <https://energiavirasto.fi/maakaasun-ostajalle>.

**EU 2018/2001** Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001 uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (uudelleenlaadittu).

**EU 2023/2413** Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/2413 direktiivin (EU) 2018/2001, asetuksen (EU) 2018/1999 ja direktiivin 98/70/EY

muuttamisesta uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisen osalta sekä neuvoston direktiivin (EU) 2015/652 kumoamisesta

**Euroopan parlamentti 2023.** Faktatietoja Euroopan unionista – Ympäristöpolitiikka – Ilmastomuutoksen torjuminen. Viitattu 12.12.2023. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/72/ilmastonmuutoksen-torjuminen>.

**Eurooppa-neuvosto 2022.** Komission tiedonanto: Ohjeet jäsenvaltioille vuosien 2021–2030 kansallisten energia- ja ilmastosuunnitelmien päivittämisestä. Viitattu 20.11.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52022XC1229%2802%29&from=EN>.

**Eurooppa-neuvosto 2023.** 55-valmiuspaketti. Viitattu 12.12.2023. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>.

**European Commission 2023.** Voluntary schemes. Viitattu 15.12.2023. [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en).

**European Parliament 2023.** EU to ban greenwashing and improve consumer information on product durability. Viitattu 10.10.2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230918IPR05412/eu-to-ban-greenwashing-and-improve-consumer-information-on-product-durability>.

**Finnwatch 2023.** Valistuneita arvauksia – Yritysten päästölaskennan ja -raportoinnin puutteet. Viitattu 10.10.2023. [https://finnwatch.org/images/reports\\_pdf/Valistuneita\\_arvauksia\\_10\\_10\\_2023.pdf](https://finnwatch.org/images/reports_pdf/Valistuneita_arvauksia_10_10_2023.pdf).

**Gao, F.; Yu, P. & Gao, M. 2022.** Seawater electrolysis technologies for green hydrogen production: challenges and opportunities. Current Opinion in Chemical Engineering, Volume 36, June 2022, 100827. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100827>.

**Gasgrid Finland Oy n.d.** Kaasut ja kaasumarkkinat lyhyesti. Viitattu 6.11.2023.  
<https://gasgrid.fi/yhtio/kaasut-ja-kaasumarkkinat-lyhyesti/>.

**Gerloff, N. 2021.** Comparative Life-Cycle-Assessment analysis of three major water electrolysis technologies while applying various energy scenarios for a greener hydrogen production. *Journal of Energy Storage* 43.  
<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102759>.

**Greenhouse Gas Protocol 2015.** GHG Protocol Scope 2 Guidance. World Resources Institute. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/Scope%20%20Guidance.pdf>.

**Greenhouse Gas Protocol 2023.** About us. Viitattu 11.10.2023.  
<https://ghgprotocol.org/about-us>.

**Hijazi, O.; Munro, S.; Zerhusen, B. & Effenberger, M. 2016.** Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. *Renewable and sustainable energy reviews*, Volume 54, 1291-1300.

**Horn, S.; Seppänen, A.-M.; Winqvist, E.; Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020.** Biokaasulaitoksen mädätysjännöksen hyödyntämismvaihtoehdot - vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Suomen Ympäristökeskus SYKE. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 42. ISBN 978-952-11-5229-0.

**Huttunen, S.; Manninen, K. & Leskinen P. 2014.** Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level. *Journal of Cleaner Production*, Volume 80, 5-16.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.081>.

**IEA 2023a.** Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity. Paris. Viitattu 14.12.2023. <https://www.iea.org/reports/towards-hydrogen-definitions-based-on-their-emissions-intensity>.

**IEA 2023b.** Global Hydrogen Review. Paris. Viitattu 14.12.2023.  
<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>.

**Ilmasto-opas 2022.** Maailman kasvihuonekaasupäästöt kasvavat yhä. Viitattu 25.10.2023. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/maailman-kasvihuonekaasupaastot-kasvavat-yha>.

**IRENA 2023.** Innovative Policymaking is Crucial to Drive Green Hydrogen Market and Ensure its Sustainable Production. Viitattu: 11.12.2023. <https://www.irena.org/News/articles/2023/Dec/Innovative-Policymaking-is-Crucial-to-Drive-Green-Hydrogen-Market-and-Ensure-Sustainable-Production>.

**ISEAL 2021.** ISEAL Credibility Principles. Viitattu 5.10.2023. [https://www.isealalliance.org/sites/default/files/resource/2021-06/ISEAL-Credibility-Principles-V2-2021\\_EN\\_ISEAL\\_June-21.pdf](https://www.isealalliance.org/sites/default/files/resource/2021-06/ISEAL-Credibility-Principles-V2-2021_EN_ISEAL_June-21.pdf).

**ISO 14024:2018(E).** Environmental labels and declarations — Type I environmental labelling — Principles and procedures. 2. painos. The International Organization for Standardization.

**Joutsenmerkki 2019.** Ympäristömerkintöjen ABC - Mitä ja miksi ne merkitsevät? Viitattu: 11.12.2023. <https://joutsenmerkki.fi/ymparistomerkkien-abc-mita-ja-miksi-ne-merkitsevat/>.

**Joutsenmerkki 2022.** Nestemäiset ja kaasumaiset polttoaineet – kriteerit. Viitattu 11.12.2023. <https://joutsenmerkki.fi/kriteerit/099-nestemaiset-ja-kaasumaiset-polttoaineet-4/>.

**Keogh, N.; Corr, D. & Monaghan, R. F. D. 2022.** Biogenic renewable gas injection into natural gas grids: A review of technical and economic modelling studies. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112818>.

**Klimscheffskij, M.; Bröckl, M.; Vanhanen, J.; Värre, U. & Oy, Gaia Consulting 2019.** Alkuperätakuujärjestelmän laajennus biokaasulle. Helsinki. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:72. ISBN PDF 978-952-287-818-2.

**Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015.** BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys Ry. ISBN 978-951-784-771-1.

**Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 5.5.2017/252.** Helsinki. 5.5.2017.

**Latvala, M. 2009.** Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) - Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristökeskus. ISBN 978-952-11-3497-5.

**Lounais-Suomen Jätehuolto Oy 2023.** Biojätteen erilliskeräysvelvoite. Viitattu 14.12.2023. <https://lsjh.fi/jatelaki-uudistui-mita-se-tarκοittaa-kaytannossa/tietoa-biojätteen-kerayksesta/>.

**Kemppi, J.; Liikanen, M. & Niskanen, A. 2020.** Asumisessa syntyvien jätteiden erilliskeräysvaihtoehtojen vaikutusten arviointi. Selvitys ympäristöministeriölle. Helsinki. LCA Consulting Oy. Viitattu 14.12.2023. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Asumisessa-syntyvien-jätteen-erilliskeräysvaihtoehtojen-vaikutusten-arviointi-F408C7AE\\_8537\\_4EA6\\_ACEC\\_C8A1DE051255-157952.pdf/13e8f7f6-20f7-c984-5491-35ae4be46902/](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Asumisessa-syntyvien-jätteen-erilliskeräysvaihtoehtojen-vaikutusten-arviointi-F408C7AE_8537_4EA6_ACEC_C8A1DE051255-157952.pdf/13e8f7f6-20f7-c984-5491-35ae4be46902/).

**Luostarinen, S.; Tampio, E.; Lehtoranta, S.; Valve, H.; Laakso, J.; Rasi, S.; Pyykkönen, V.; Markkanen, J.; Heikkinen, J.; Haapala, H.; Winqvist, E.; Lång, K.; Timonen, K. & Silfver, T. 2023.** Kestävät käytännöt biokaasutuotannossa. Helsinki. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:32. ISBN pdf: 978-952-383-479-8.

**Maakaasumarkkinalaki 587/2017.** Helsinki. 25.8.2017.

**Motiva 2020.** Biokaasu. Viitattu 29.9.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/biokaasu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu).

**Mutikainen, M.; Sormunen, K.; Paavola, H.; Haikonen, T.; Räisänen, M. & Ramboll Finland 2016.** Biokaasusta kasvua - Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet. Sitra. ISBN 978-951-563-961-5.

**Nikolaidis, P. & Poullikkas, A. 2017.** A comparative overview of hydrogen production processes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 67, January 2017, 597-611. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.044>.

**Niskala, M.; Pajunen, T. & Tarna-Mani, K. 2009.** Yhteiskuntavastuun raportointi – Raportointi- ja laskentaperiaatteet. Helsinki. KHT-Media Oy. ISBN 978-952-218-032-2.

**Pekuri, P. 2018.** LCA-ohjelmistot. Kandidaatintyö. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikka. Oulu: Oulun yliopisto. Viitattu 15.12.2023. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201802011125.pdf>.

**SFS-opas 11 2009.** Ympäristöasioiden käsittely tuotestandardeissa – ISO Guide 64:2008. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry. ISBN 978-952-242-023-7.

**Sivill, L.; Bröckl, M.; Semkin, N.; Ruismäki, A.; Pilpola, H.; Laukkanen, O.; Lehtinen, H.; Takamäki, S.; Vasara, P. & Patronen, J. 2022.** Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. Helsinki. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:21. ISBN pdf: 978-952-383-413-2.

**Statista 2023.** Natural gas consumption worldwide between 1998-2022. Viitattu 6.11.2023. <https://www.statista.com/statistics/282717/global-natural-gas-consumption/>.

**Suomen kaasuyhdistys ry 2023.** Kaasu Suomessa – kaasun käyttö. Viitattu 14.12.2023. <https://www.kaasuyhdistys.fi/kaasu-suomessa/kaasun-kaytto/>.

**Suomen ympäristökeskus 2022.** Elinkaariarviointi. Viitattu 9.10.2023. <https://www.syke.fi/elinkaariarviointi>.

**Tikkanen, S.; Antikainen, R.; Kautto, P. & Salmenperä, H. 2018.** Katsaus kiertotalouden mahdollisiin taloudellisiin ohjauskeinoihin. Helsinki.

Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 4/2018. Viitattu 2.10.2023.

<https://valtioneuvosto.fi/documents/10616/6354562/4-2018->

Katsaus+kiertotalouden+mahdollisiin+taloudellisiin+ohjauskeinoihin/cf91bf6d-6ab1-4a78-874a-886901311e8a?version=1.0.

**Tilastokeskus 2023.** Energian hankinta ja kulutus. Viiteajankohta: 2022. ISSN 1799-795-X.

**Twidell, J. & Weir, T. 2006.** Renewable Energy Resources. 2. painos. 2006. ISBN 0-419-25330-0.

**United Nations 2015.** Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1.

**United Nations 2023a.** COP28 ends with call to ‘transition away’ from fossil fuels; UN’s Guterres says phaseout is inevitable. Viitattu 18.12.2023.

<https://news.un.org/en/story/2023/12/1144742>.

**United Nations 2023b.** EKOenergy - the ecolabel for energy. Viitattu 8.11.2023. <https://sdgs.un.org/partnerships/ekoenergy-ecolabel-energy>.

**YLE 2021.** Eläintalous on ilmastokriisin tikittävä aikapommi, mutta siihen on yksinkertainen ratkaisu: kasvisruoka ja keinoliha – ruoan vallankumous näyttää jo alkaneen. Viitattu 18.12.2023.

<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2021/05/13/elaintalous-on-ilmastokriisin-tikittava-aikapommi-mutta-siihen-on>.

**Ympäristöministeriö 2023.** Mitä on kestävä kehitys? Viitattu 7.12.2023.

<https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>.

**Yu, L.; Zhu, Q.; Song, S.; McElhenny, B.; Wang, D.; Wu, C.; Qin, Z.; Bao, J.; Yu, Y.; Chen, S. & Ren, Z. 2019.** Non-noble metal-nitride based

electrocatalysts for high-performance alkaline seawater electrolysis. Nat Commun 10, 5106. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13092-7>.