

EcoSairilan laitoksen energia- ja materiaalivirtojen kartoitus uusiutuvan energian muuntamiseksi tuotteiksi

Agenda

- Abstrakti
- Johdanto
- Tavoitteet ja tutkimuskysymykset
- Tutkimusmenetelmät
- Vetytalous
- Jäteveden
- Vedyn tuotanto
- Vedyn tuotanto jätevedestä
- Resurssien ja materiaalien talteenotto
- Teoreettisen osan päätelmät
- Materiaalit ja menetelmät

Abstrakti

- Opinnäytetyön tavoite:
- Vedyn tuotantoa käsitellystä jätevedestä koskeva tutkimus
- P2X-järjestelmän potentiaalin kartoitus EcoSairilan jätevedenpuhdistamolle
- Painopistealueet:
- Vedyn tuotanto emäksisestä elektrolyysistä
- Tuotevirtojen mahdolliset käyttötarkoitukset
- Metodologia:
- Karkeat laskelmat massataseille, energiataseille ja kustannusarvioille
- EcoSairilan ja BioSairilan toimittamat tiedot
- Teoreettinen osa
- Käytännön osa
- Tärkeimmät tulokset

Työssä keskitytään vedyn tuotantoon käsitellystä jätevedestä alkalisen elektrolyysin avulla ja kartoitetaan P2X-järjestelmän potentiaalia EcoSairilan jätevedenpuhdistamolle. Tärkeimmät tulokset osoittavat, että 55 MW:n metaanin tuotanto on mahdollista 100 MW:n elektrolyysilaitteella, mutta tähän tarvitaan ulkopuolista CO₂-lisää.

Johdanto

- Maailman energiatilanne muuttuu:
- Suuri taantuma aiheutti energian hintaheilahteluja
- Vakaa energiatalous 10 vuodeksi
- Covid-19-pandemia aiheutti energian hintojen nopean laskun
- Venäjän ja Ukrainan sodan vaikutukset:
- Euroopan riippuvuus Venäjän öljystä ja kaasusta
- Energian hinnat nousivat rajusti
- Vaihtoehtoisia energialähteitä etsivät maat
- Vety puhtaana energialähteenä:
- Joustavuutta lämmitykseen ja sähköön
- Tuotettu ilman päästöjä
- Jäteveden käsittely ja vedyn tuotanto

Globaali energiatilanne on muuttunut merkittävästi taantuman, pandemian sekä Venäjän ja Ukrainan sodan vuoksi. Vety kiinnostaa yhä enemmän puhtaana energialähteenä. Puhdistettua jätevettä voitaisiin käyttää elektrolyysissä vedyn tuottamiseen, mikä tarjoaa kestävä ratkaisun.

- Päätaivoite:
- Löytää toimiva prosessi vedyn tuotantoon käsitellyn jäteveden avulla
- Käytetään Eco- ja BioSairilan saatavilla olevia virtoja
- Tutkimuskysymykset:
- Voiko EcoSairilan virroista tuottaa vetyä 100 MW:n elektrolyysiprosessilla?
- Elektrolyysiprosessin vedyn, hapen ja hukkalämmön mahdolliset käyttötarkoitukset
- EcoSairilalle hyödyllisimmät tuotteiden ja sivutuotteiden hyödyntämismenetelmät
- Vedyn tuottamisen toteutettavuus käsitelystä jätevedestä
- EcoSairilan hyödyt prosessista
- Rajoitukset:
- Painopiste vedyn ja hapen hyödyntämismenetelmissä, jotka hyödyttävät jätehuoltoteollisuutta sekä Eco- ja BioSairilaa
- Yhdelle valitulle prosessille tehdyt simulaatiot Eco- ja BioSairilan toimittamien tietojen perusteella

Tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Päätaivoitteena on löytää vedyn tuotantoprosessi käsitellyn jäteveden avulla. Tutkimuskysymyksiä ovat toteutettavuus, mahdolliset käyttötarkoitukset ja hyödyt EcoSairilalle. Rajat keskittyvät vedyn ja hapen hyödyntämismenetelmiin ja simulaatioihin yhdelle valitulle prosessille.

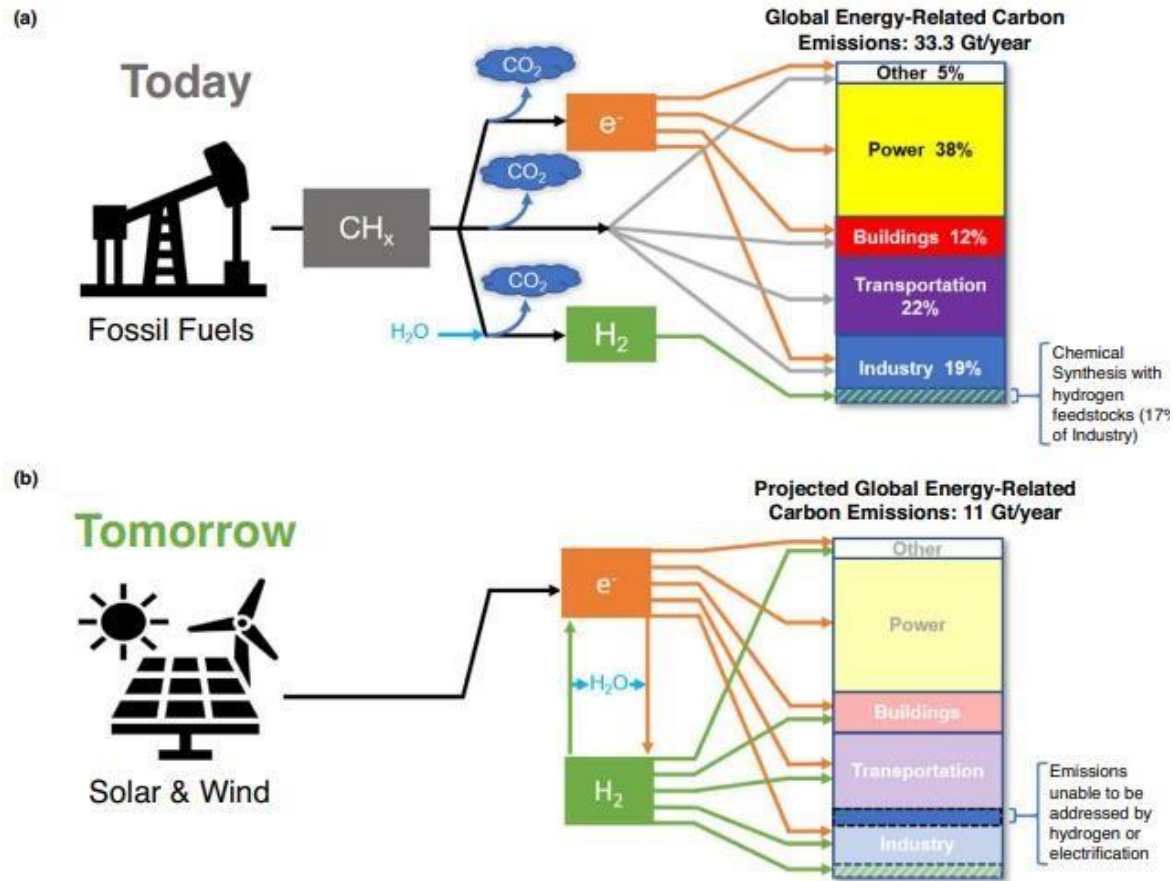
Tutkimusmenetelmät

- Kirjallisuusosio:
- Tutkitaan vedyn, hapen ja elektrolyysin hukkalämmön hyödyntämismenetelmiä
- Taustaa energiatalouden näkökulmasta
- Yhteenvedo jäteveden käsittelyprosesseista
- Elektrolyysiin keskittyvän vedyntuotannon periaatteet
- LUT Primolla kerätyt aineistot
- Käytännön osa:
- Löytää paras yhdistetty prosessi elektrolyysin ja poistovirran hyödyntämiseen
- Karkeat laskelmat massa- ja energiataseille
- Korostetaan prosessin ominaisuuksia, haasteita tai etuja
- Valitun prosessin yksityiskohtainen arviointi
- Massa- ja energiataseiden simuloinnit ja analyysit

Kirjallisuusosiossa tutkitaan vedyn, hapen ja elektrolyysin hukkalämmön hyödyntämismenetelmiä ja taustoitetaan energiataloutta ja vedyn tuotantoa. Käytännön osassa keskitytään löytämään paras yhdistetty prosessi elektrolyysin ja poistovirran hyödyntämiseen, laskelmien, simulaatioiden ja toteutettavuusarviointien suorittamiseen.

Vetytalous

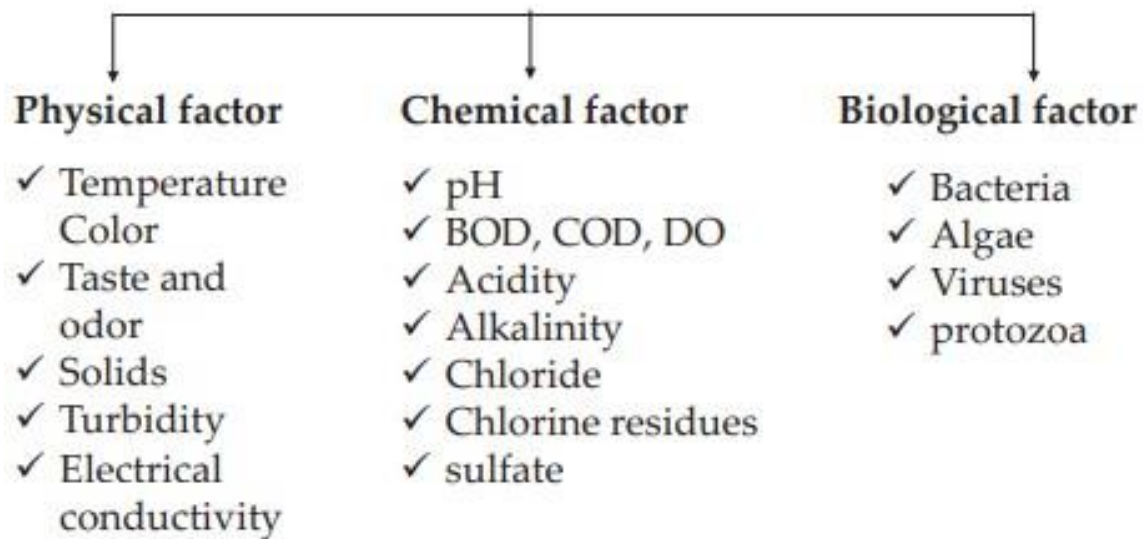
Vetytaloudella on potentiaalia vastata energiavarmuuteen ja ympäristöhaasteisiin. Se tarjoaa korkean energiasisällön, joustavuuden ja minimaaliset päästöt. Sen onnistuneen toteuttamisen kannalta on kuitenkin vastattava haasteisiin, kuten teknologisiin tuntemattomiin, kuljetuksiin ja infrastruktuuri-investointeihin.



- Vetytalouden nykytilanne:
- Riippuvuus rajat ylittävistä energialähteistä
- Huoli energiavarmuudesta maailmanlaajuisten häiriöiden vuoksi
- Vihreään energiantuotantoon kiinnitetään enemmän huomiota
- Vedyn tulevaisuuden potentiaali:
- Korkea energiasisältö massayksikköä kohti
- Varastoitava, joustava ja useita loppukäyttökohteita
- Minimaaliset päästöt polttoaineena
- Mahdollisuus tehdä vihreillä menetelmillä
- Vedyn sovellukset
- Ammoniakin ja metanolin kemialliset raaka-aineet
- Vetytalouden haasteet

Jäteveden käsittely: fysikaaliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet

Factors connected with Wastewater



- Kaupalliset jätevedenkäsittelymenetelmät:
- Kaupallinen aktiivilieteprosessi (CAS)
- Kalvobioreaktorin (MBR) prosessi yms.
- Jäteveden käsittelyyn liittyvät ympäristönäkökohdat:
- Vaikutus veden laatuun ja ekosysteemeihin
- Epäpuhtauksien ja vierasaineiden hallinta
- Jäteveden ominaisuudet:
- Fyysinen: tumma väri, epämiellyttävä haju, kiinteiden aineiden läsnäolo

Teoreettisen osan päätelmät

- Vetytalous ja jäteveden käsittely:
- Vetytalouden nykytilanne ja tulevaisuuden mahdollisuudet
- Jätevedenkäsittelyn peruseräatit ja nykytilanne
- Suuri energiankulutus tärkein ekologinen kysymys
- Tarve pienentää jätevedenkäsittelyn hiilijalanjälkeä
- Vedyn tuotanto elektrolyysin avulla:
- Sähkökemiallinen menetelmä, jossa käytetään vettä ja sähköä
- Veden epäpuhtaudet vaikuttavat elektrolyysilaitteen suorituskykyyn
- Veden esikäsittely ennen elektrolyysilaitetta
- Sähkön hinta suurten voimaloiden ongelmana
- Uusiutuvien energialähteiden käyttö kustannusten vähentämiseksi
- Elektrolysaattorituotteiden ja CO₂:n käyttö

Vetytaloudella on potentiaalia vastata energiavarmuuteen ja ympäristöhaasteisiin. Se tarjoaa korkean energiasisällön, joustavuuden ja minimaaliset päästöt. Sen onnistuneen toteuttamisen kannalta on kuitenkin vastattava haasteisiin, kuten teknologisiin haasteisiin, kuljetuksiin ja infrastruktuuri-investointeihin.

Materiaalit & menetelmät: Massataseet

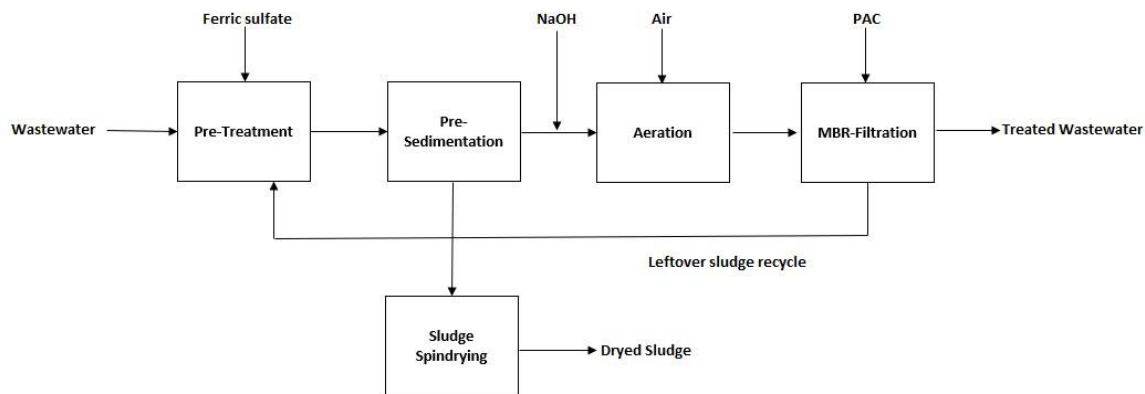
- Massatase:
- Tulo- ja poistovirtojen jakautuminen järjestelmässä
- Määrittää tuotettujen raaka-aineiden ja tuotteiden määrät
- Merkitys prosessisuunnittelussa:
- Prosessisuunnittelun perusta
- Määrittää prosessivirrat ja koostumukset
- Tarjoaa lähtötiedot laitteiden mitoitukselle
- Hyödyllisyys laitoksen toiminnassa:
- Auttaa ymmärtämään laitoksen toimintaa ja löytämään ongelmia
- Tarkistaa suorituskyvyn suunnittelun perusteella
- Lisää dataa laitoksen instrumentoinnista
- Materiaalitaseet kemiallisissa prosesseissa

Massataseet jakavat tulo- ja poistovirrat ja määrittävät raaka-aine- ja tuotemäärät. Ne ovat ratkaisevan tärkeitä prosessisuunnittelussa, virtausvirtojen asettamisessa ja laitteiden mitoituksessa. Massataseet auttavat ymmärtämään laitoksen toimintaa, tarkistamaan suorituskyvyn ja löytämään materiaalihävikin lähteet. Kemiallisissa prosesseissa ne kuvaavat materiaalia massana, konsentraationa tai tilavuutena, ilman kertymistä vakaan tilan prosesseissa.

Materiaalit ja menetelmät: Kustannusarviot

- Kustannusarvioiden merkitys:
- Arvioi prosessin kannattavuuden ennen rakentamista
- Laskee nettokassavirran (NCF)
- Kassavirran luokat
- Investoinnit: käyttöomaisuusinvestoinnit ja käyttöomaisuus
- Toiminnot: OPEX (kiinteä ja muuttuva)
- Rahoitus: velat ja osakkeet
- Investoinnit
- CAPEX: prosessilaitteet, kiinteistöt ja laitteet
- Kiinteät investoinnit: työvoima ja suunnittelu
- Toiminta
- Takaisinmaksuajan laskeminen

Case EcoSairila: Prosessin esittelyt



- EcoSairilan jätevedenpuhdistamoprosessi:
- Käsittelee Mikkelin ja kehyskuntien jätevedet
- Kolmivaiheinen mekaaninen esikäsittely
- Esisedimentointi ja lietteen keräys
- Toissijainen käsittely kalvobioreaktorilla (MBR)
- Energiankulutus noin 0,79 kWh/m³
- BioSairilan metaanilaitoksen mädättämöprosessi:
- Tuottaa kuivatusta lietteestä ja biojätteestä biokaasua
- Kolme mesofiilistä reaktoria anaerobiseen mädätykseen
- Biokaasu jalostetaan biometaaniksi, jonka puhtaus on yli 95 %
- Tuottaa noin 230 m³/h biokaasua
- Saatavilla olevat prosessivirrat

Case EcoSairila: valittu P2X-menetelmä

Yksikkö	Arvo	Lähde
Elektrolyysi	100 MW hyötyteho, 20 000 L/h veden tarve, 80-100 °C, 5 bar	SinoHy Energy, 2023, De Groot, et al 2022
CAPEX	500 €/kW	Proost, 2018
OPEX	4% of CAPEX	Leeuwen, et al. 2018
Vedyn varastointi	Varasto 5 000 m ³ , 100 bar	-
CAPEX	100 €/m ³	Leeuwen, et al. 2018
OPEX	1.5 % of CAPEX	Leeuwen, et al. 2018
Happi	Vapautetaan ilmakehään	-

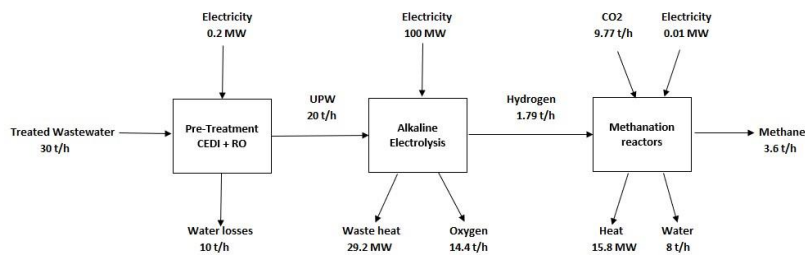
- Alkalinen elektrolysaattori P2X-prosessiin:
- 100 MW:n alkalielektrolysaattori, jota käytetään vedyn tuottamiseen käsitellystä jätevedestä
- Esikäsitely sisältää käänteisosmoosin ja CEDI-yksikön
- Valittu kypsyyden ja alhaisten kustannusten vuoksi laajamittaiseen tuotantoon
- Jäähdytysmenetelmä: jäähdytystorni Saimaan vedellä
- Vedyn varastointi 100 baarin paineessa prosessinohjausta varten
- Vedyn hyödyntäminen P2X:ssä:
- Metaanin tuotantoon valittu metanointireitti
- CO₂ saadaan BioSairilan biometaanin tuotannosta
- Metallikatalyytin metanointi, joka soveltuu laajamittaiseen tuotantoon
- Nestemäisen CO₂:n ja metaanin varastosäiliöt

Case EcoSairila: Sivuvirtojen hyödyntäminen

Happi	Mahdolliset käyttötarkoitukset
Puhdas happi	Myydään tuotteena, otsonin tuotanto
Rikastettu ilma	Ilmastusilmavirta, Polttoprosessien tehostaminen
Ylimääräinen lämpö	Mahdolliset käyttötarkoitukset
Prosessin lämmitys	Vähentää energiankulutusta eri yksiköissä, kuten BioSairilan biokaasureaktoreissa
Lietteenkäsittely	Lietteen pyrolyysi, terminen hydrolyysi

- Energiankulutus jätevedenpuhdistuksessa:
- Suuri kokonaisenergiankulutus suurten käsiteltyjen yksiköiden takia
- Elektrolyysiprosessi kuluttaa valtavia määriä sähköä
- Sivutuotteiden hyödyntäminen energiansäästöön:
- Sivutuotteita voidaan hyödyntää energiantuotannossa
- Mahdollisuus tasapainottaa prosessin energiintensiteettiä
- BioSairilan biokaasun hyödyntäminen:
- Biokaasua käytetään reaktoreiden lämmittämiseen ja esikäsittelyyn
- Sivutuotteita, kuten hukkalämpöä, voidaan hyödyntää reaktoreiden lämmityksessä
- Lietteen käsittely jätevedenpuhdistamossa
- Hukkalämmön mahdolliset käyttökohteet
- Hapen mahdolliset käyttötarkoitukset

Simulaatiot: P2M-prosessisimulaatiot



- Prosessin vuokaavion yleiskatsaus:
- Yhdistetyn prosessin vuokaavio
- Jäteveden esikäsitteily ultrapuhtaaksi vedeksi
- Elektrolysaattori tuottaa vetyä nopeudella 43 t/vrk
- Vety erotettu ja varastoitu ennen metanointireaktoreita
- Metanointireaktorit tuottavat metaania 3,6 t/h
- Hiilidioksidin tarve:
 - Noin 9,77 tonnia tunnissa
 - BioSairilan tuotanto on vain 0,22 tonnia tunnissa
 - Suora ilmantaltteenotto on kallista suuren energiankulutuksen vuoksi
 - Hiilidioksidin ostaminen toiselta toimittajalta on järkevämpää

Simulaatiot: CAPEX/OPEX

Prosessi	Koko	Arvo
Elektrolyysi	100 MW	50 000 k€
Vetyvarasto	5 000 m ³	500 k€
Metanointireaktori	55 MW	22 000 k€
CO₂ varasto	200 m ³	28 k€
CH₄ varasto	200 m ³	28 k€
Suunnittelu ja asentaminen	28% laitehankintakustannuksesta	20 320 k€
Yht		92 871 k€

- Pääomakulut (CAPEX):
- Perustuu tuotantomääriin tai laitosten kokoon
- Sisältää kiinteät muuttujat, kuten suunnittelukustannukset
- Asennus-, suunnittelu- ja muiden kiinteiden investointien arvioidaan olevan 28 % laitekustannuksista
- Käyttökustannukset (OPEX):
- Jaettu muuttuvaan ja kiinteään OPEXiin
- Muuttuva käyttökustannus sisältää virtojen hinnat ja kustannukset
- Kiinteä käyttökustannus sisältää prosessiyksiköiden käyttökustannukset prosentteina käyttöomaisuusinvestoinneista
- Tuotanto ja kustannukset
- Vuosituotannon odotetaan olevan 8 000 tuntia
- Sähkön hinnaksi asetettu 40 €/MWh
- Takaisinmaksuaika 5,5 a, kannattavuuden rajahinta sähkölle 61 €/MWh

Simulaatiot: Tulosten analysointi

- Saavutettavissa oleva metaanin tuotanto:
 - 55 MW:n tuntituotanto 100 MW:n alkalielektrolysaattorilla
 - 6,6 MW metaania 10 MW:n PEM-elektrolysaattorista (Al-Breiki & Bicer, 2023)
- Pääomakustannusten vertailu:
 - PEM-prosessin investointihinta: 43 000 k€ (sis. aurinkoenergiajärjestelmän)
 - Alkaliprosessin investointihinta: lähes 100 000 k€
- Hiilidioksidin saatavuus:
 - BioSairila tuottaa vain murto-osan tarvittavasta CO₂:sta
 - CO₂-markkinoiden ja saatavuuden odotetaan kasvavan
- Käyttökustannukset:
 - Aurinkopaneelien tehokkuus
 - Takaisinmaksuaika ja voittopotentiali

Analyysi osoittaa, että 55 MW:n tuntikohtainen metaanin tuotanto on saavutettavissa 100 MW:n alkalielektrolysaattorilla. Vertailut PEM-elektrolysaattoritutkimukseen osoittavat samanlaisia CAPEX-tasoja. BioSairila pystyy tuottamaan vain murto-osan tarvittavasta CO₂:sta, mikä tekee siitä merkittävän operatiivisen kustannustekijä, jota voidaan optimoida lämmön talteenoton avulla. Aurinkopaneelit voivat tuottaa 10% päivittäisestä tehosta, mutta talvella on rajoituksia. Prosessin takaisinmaksuaika on 5,5 vuotta, ja voittopotentiali syntyy ennen elektrolysaattorin käyttöänsä päättymistä.

Johtopäätökset

Vedyn tuotannon toteutettavuus:

Mahdollista 100 MW:n alkalielektrolysaattorilla EcoSairilan jätevesivirtoja käyttäen.

Edellyttää jäteveden esikäsitteilyä TOC:n ja johtokyvyn vähentämiseksi.

Saimaata voitaisiin käyttää jäähdytysvetenä, mutta lupamenettely on epäselvä.

Elektrolyysituotteiden käyttö:

55 MW:n arvoinen metaanin tuotanto mahdollista

Sivuvirtojen hyödyntäminen

Happirikastettua ilmaa voidaan hyödyntää jätevedenpuhdistamon ilmastusprosessissa ja mahdollisesti jätteiden poltossa, lietteiden käsittelyssä tai otsonin tuotannossa ja jäteveden jälkikäsitteilyssä.

Ylijäämälämpöä voidaan käyttää jätevedenpuhdistamon tilojen ja tulevan veden lämmittämiseen sekä lämmittää jätekeskuksen mesofiilisiä reaktoreita.

Prosessin toteutettavuus ja hyödyt:

Hiilidioksidin saatavuus on haaste metanoinnille

Työn perusteella vedyn valmistuksen jatkotutkimuksille löytyy perusteita.

Työssä tutkittiin vedyn tuotantoa käsitellystä jätevedestä 100 MW:n alkalielektrolysaattorilla. Toteutettavuus arvioitiin korostaen sivutuotteiden mahdollista hyödyntämistä. Haasteita ovat hiilidioksidin saatavuus ja sähkökustannukset. Aurinkoenergialla voidaan vähentää riippuvuutta sähkön hinnasta. Sivuvirtojen hyödyntämisestä tarvitaan lisätutkimusta ja yksityiskohtaista taloudellista arviointia.