

VIHREÄN VEDYN TUOTANTO – CASE MIKKELIN ALUE HANKKEEN LOPPURAPORTTI

1. Tausta, lähtökohdat ja tavoitteet

Hankkeen taustalla ajavana voimana oli nopeasti muuttunut Euroopan poliittinen tilanne, jossa Venäjän hyökkäyssodan seurauksena Euroopassa herättiin toden teolla huoltovarmuuskysymyksiin ja energian saatavuuden varmistamiseen. Toisaalta Suomessa ja muualla Euroopassa on ollut valmisteilla pitkään useita vedyntuotantoon liittyviä hankkeita, jotka liittyvät suoraan vesihuoltoon raakaveden toimituksen osalta tai mahdollisesti vedyntuotannon sivuvirtojen hyödyntämisen osalta muualla yhteiskunnassa, kuten vesilaitoksilla. Näiden osalta on mahdollista synnyttää uusia kiertotalousratkaisuja sekä teollisuuden ja yhteiskunnan välisiä symbiooseja, joita myös teollisuustoimijat mieluusti edistävät puhtaasti taloudellisten etujen ja kestäväen yhteiskunnan edistämisen näkökulmista.

Vesihuoltosektorilla vetyteollisuus on nykytilanteessa melko tuntematon käsite ja yhtenä tavoitteena työssä oli lisätä tietoutta, joka helpottaa osaltaan tulevien yhteistyöhankkeiden edistämistä.

Eryteisesti hankkeen tavoitteeksi asetettiin seuraavat:

1. Miten eri laatuiset raakavesilähteet (pinta- ja pohjavesi, talousvesi ja erityisesti puhdistettu jätevesi) toimivat vedyntuotannossa ja minkälainen saanto näillä saavutetaan eri tuotantomenetelmillä. Laboratoriotasolla tutkitaan elektrolyysimenetelmää ja tulevaisuuden valokatalyyttistä tuotantomenetelmää vedyntuotannossa ja eri vesilaatujen käyttäytymistä ja eroavaisuuksia näissä.
2. Mitä teollisen tason vedyntuotannon rakentaminen tarkoittaa vedenhankinnan näkökulmasta (raakavesilähteet, määrä, laatu) ja miten kunnallinen vesilaitos voi vastata tähän tarpeeseen uusilla toimintamalleilla ja minkälaista uutta liiketoimintaa vesilaitos voisi synnyttää vetytalouden ympärille.

Hankkeen tulosten perusteella lisätään käsitystä vesilaitosten mahdollisuuksista toimia uudessa roolissa ja osana uutta energiajärjestelmää ja mitä uusia liiketoimintamalleja tämä mahdollistaa.

2. Hankkeen osapuolet ja toteutustapa

Hankkeen johtamisesta ja koordinoinnista vastasi Ramboll Finland Oy. Rambollista työhön osallistuivat yksikönpäällikkö Teemu Koskinen ja prosessi-insinööri Hung Bui. Toteutus perustui opinnäytetöihin, jotka teetettiin Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa.

Tuloksena syntyi kaksi erillistä opinnäytetöitä:

Uusiovedet vihreän vedyn tuotannossa – case Mikkelin, Riikka Turkki Pro gradu-tutkielma Jyväskylän yliopisto/kemian laitos, 6.7.2023

Mapping of Ecosairila plant energy and material streams for conversion of renewable power to products, Tommi Tiainen, Master's Thesis, Master's Programme in Chemical & Process Engineering, 2024.

Mikkelin kaupungilta/Miksei Mikkelin Oy:stä oli mukana Juha Kauppinen ja Biosairila Oy:stä toimitusjohtaja Mikko Liukkonen.

3. Tulokset

Töiden avulla onnistuttiin luomaan selkeä kuva vedyn ominaisuuksista, vetymarkkinasta ja sen kehityksestä, millä menetelmillä vetykaasua voidaan tuottaa nykyisin ja tulevaisuudessa, mihin vetyä käytetään ja mitä jatkojalostustuotteita siitä valmistetaan.

Töiden tuloksena saatiin ymmärrys jätevedenpuhdistamon ja vedyn tuotannon mahdollistamasta symbioosista, jossa käsiteltyä jätevettä käytetään vedyn tuotannon raaka-aineena tai jäähdytysvetenä ja vedyntuotannon sivuvirtoja, kuten lämpöä ja happea, hyödynnetään puhdistamoprosesseissa. Käsitelty jätevesi on verrattain hyvälaatuinen raaka-aine vedyntuotantoon, joskin se vaatii pidemmälle vietyä jatkokäsittelyä. Vaikka vetykaasua saadaan muodostumaan selvitysten perusteella kohtalaisen vähäisellä esikäsittelyllä ja vaikka eri tyyppien elektrolyysarit eroavat hieman käytetyn veden laadun suhteen, elektrolyysereiden käyttöänsä maksimoiminen takia raaka-aineen on oltava lähtökohtaisesti pitkälle prosessoitua demineralisoitua ja deionisoitua vettä. Esimerkiksi MBR-käsitelty jätevesi näyttää olevan raakavesilähteenä parempilaatuista kuin pinta- tai pohjavesi. Käytetyllä vesilaadulla on merkitystä myös yhteiskunnan kestävyysnäkökulmasta. Luonnon vesivarat voi olla järkevää säilyttää yhteiskunnan vedentarpeen tyydyttämiseen, jolloin teollisuudessa on järkevää käyttää enemmän puhdistettua jätevettä raaka-aineena.

Tutkimusten tulokset auttavat ymmärtämään vedyn tuotannon ja vesihuoltosektorin yhteistoimintamahdollisuuksia sekä tarjoavat arvokasta tietoa hankkeisiin osallistuville tahoille. Tutkimukset ovat askel kohti kestävämpää energiasektoria ja jätevedenkäsittelyn kehittämistä kiertotalousajatteluun, kun jäteveden puhdistus voidaan kytkeä osaksi teollisuuden resurssivirtoja.

Case Mikkelin Ekosairilan ja Metsäsairilan tapauksessa MBR-käsitelty jätevesi on varsin mahdollinen raaka-aine jatkoprosessoituna vedyntuotantoon ja vesimäärät hyvin riittäviä suurenkin vedyntuotannon tarpeisiin. Jäähdytysvedeksi käsitelty jätevesimäärä on rajallinen, mikäli jäähdytys tehtäisiin vedellä ilmajäähdytyksen sijaan. Ekosairilan biokaasulaitoksella biokaasusta erotettu hiilidioksidimäärä on riittämätön suuren mittakaavan vetysynteesiin (esim. metaanin tai metanolin tuotanto). Hiilidioksidia olisi otettava talteen ja tuotava laitokselle lisää esimerkiksi alueen lämpövoimaloista tai muusta teollisuudesta.

4. Jatkotutkimusehdotukset

Selvitysten perusteella hyvin puhdistettu jätevesi (esim. MBR-käsittely) soveltuu varsin hyvin vedyntuotannon raaka-aineeksi. Raakavesi on käsiteltävä edelleen demi-vedeksi esimerkiksi käänteisosmoosilla (RO) tai haihduttamalla. Näiden saanto on suuruusluokkaa 40-70 % ja käsittelystä muodostuva rejekti on palautettava vesistöön. On tarpeen selvittää vesistön vastaanottokyvyn, ympäristönormien ja luvitusten näkökulmasta mitä haasteita tai esteitä rejektiveden johtamisella on puhdistamoiden purkuvesistöjen suhteen ja mikä osuus jätevedestä voidaan ottaa vedyntuotannon raaka-aineeksi muuttamatta vesistöön johdettavan veden laatua liikaa.

Yhteiskunnassa on tilausta teollisuuden ja yhdyskuntatekniikan väliselle symbioosille ja kiertotalouden edistämiseksi. Vedyn tuotannon ja jätevedenkäsittelyn symbioosissa on isoja mahdollisuuksia tuotteiden ja sivuvirtojen kierrätykselle ja hyödyntämiselle toimintojen välillä.

Jatkotutkimuksissa on selvittävää kunnallisen jätevedenpuhdistamon typenpoiston tehostamista hyödyntäen vedyntuotannon ylijäämälämpöä ja sen konkreettisia teknisiä ratkaisuja mm. soveltuvan lämmönsiirtimen tyyppin osalta. Vedyntuotannon sivutuotteena syntyy merkittävä määrä happikaasua, jota voidaan käyttää sellaisenaan mm. teollisuuden jätevesien puhdistuksessa biologisen vaiheen happilähteenä tai jatkojalostettuna esim. otsoniksi. Kaasujen konkreettisia hyödyntämiskohteita veden- ja jätevedenpuhdistuksessa, mm. mikroepäpuhtauksien poistossa, on selvittävää tarkemmin. Happikaasua tai siitä tuotettua otsonia sekä vedyntuotannon ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää myös yhdyskuntalietteen jatkokäsittelyssä ja prosessoinnissa. Jatkoselvittettäviä hyödyntämiskohteita ovat mm. hajujen käsittely, lietteiden hygienisointi ja erilaiset termiset käsittelymenetelmät (granulointi, biohiilen valmistus jne.) Vedyn syöttäminen kunnalliseen tai biokaasulaitoksen anaerobireaktoriin voi tehostaa metaanin tuotantoa ja tämän mahdollisuuksia kannattaa selvittää jatkossa lisää.

5. Hankkeen budjetti ja toteutuneet kustannukset

Hankkeen budjetti ja toteutuneet kulut on esitetty alla taulukoissa 1 ja 2. Kustannukset muodostuivat kahdesta opinnäytetyöstä ja niiden tekemiseen maksetusta palkkiosta sekä projektin johdon ja opinnäytetöiden ohjaamisen kustannuksista sekä matkakuluista.

Taulukko 1. Budjetoidut ja toteutuneet kustannukset.

Kustannuslaji	Budjetoitu	Toteutunut
Palkat ja palkkiot	24 000,00	20 112,50
Matkakulut	500,00	277,00
Ostopalvelut	500,00	0,00
Alv*	1 130,00	2 068,69
YHT	26 130,00	22 458,19
*alvillinen osuus palkat ja ostopalvelut, toteutunut 25,5 %		

Taulukko 2. Budjetti vs. toteuma.

Rahoitus	Budjetoitu	%	Toteutunut	%
Ramboll	8 130,00	31	8 458,19	38
Suur-Savon energiasäätiö	10 000,00	38	10 000,00	45
VVY	8 000,00	31	4 000,00	18
YHT	26 130,00		22 458,19	

Taulukko 3. Rahoitus ja sen jakautuminen.

	Palkkio, alv 0%	palkat alv 0%	Alv 25,5 %	kulut	Yht
Ramboll	5 125,86 €	3 055,32 €	0,00 €	277,00 €	8 458,19 €
VVY	1 964,04 €	1 444,91 €	591,05 €	0,00 €	4 000,00 €
Suur-Savon energiasäätiö	4 910,10 €	3 612,27 €	1 477,63 €	0,00 €	10 000,00 €
Yht	12 000,00 €	8 112,50 €	2 068,69 €	277,00 €	22 458,19 €

Liitteet

1. Tiivistelmäesitys, Uusiovedet vihreän vedyn tuotannossa – case Mikkeli, Riikka Turkki Pro gradu-tutkielma
2. Tiivistelmäesitys, Mapping of Ecosairila plant energy and material streams for conversion of renewable power to products, Tommi Tiainen, Master's Thesis

Uusiovedet vihreään vedyn tuotannossa - Case Mikkelä

Agenda

- Tiivistelmä
- Esipuhe
- Johdanto
- Vety
- Vetytalous
- Vetytalous (1/2)
- Vetytalous (2/2)
- Vedyn luokittelu ja vihreä vety
- Raaka-aineet
- Tuotantomenetelmät
- Yhteenveto

Tiivistelmä

- Vedyn tuotanto jätevesistä
 - Tutkittu laboratoriomittakaavassa
 - Ei aiempaa tutkimusta uusiovesien soveltuvuudesta
- Vetytalouden ja vedyn tuotantomenetelmien tarkastelu
 - Fossiilipohjaiset menetelmät
 - Uusiutuvat menetelmät
- Vetyanalytiikan menetelmät
 - Rotaatio-Raman-spektroskopia
 - Kaasukromatografia
- Kunnallisen jäteveden käsittelytekniikat
- Kokeellinen osuus
- Tulostarkastelu

Johdanto

- Energiankulutuksen strategiset elementit
 - Elintason standardien lisääntyminen
 - Talouskasvu ja väestön kasvu
 - Kehittyvä teknologia
- Vedyn merkitys energian kantajana
 - Turvallisuus ja edullisuus
 - Hiilidioksiditon ratkaisu
 - Käyttömahdollisuudet eri sektoreilla
- Vedyn tuotantomenetelmät
 - Maakaasun höyryreformointi
- Vihreän vedyn tuotanto
- Tutkimuksen kokeellinen osa

Vety

- Vedyn yleisyys ja ominaisuudet
 - Maailmankaikkeuden runsain alkuaine
 - Väritön, hajuton, mauton ja palava epämetalli
- Vedyn esiintyminen ja reaktiivisuus
 - Esiintyy kaasumaisena molekyylinä H₂
 - Ei esiinny puhtaana luonnossa
- Vedyn kemialliset ominaisuudet
 - Muodostaa yhdisteitä lähes kaikkien alkuaineiden kanssa
 - Vetysidon elämän perustana
- Vedyn käyttötarkoitukset
 - Käytetään polttoaineena ja ammoniakin tuotannossa
 - Tuotetaan luonnollisesti käymistuotteena

Vetytalous

- Ympäristönsuojelun tärkeys
 - Yhä useammat ihmiset tiedostavat ympäristönsuojelun merkityksen
 - Tarve puhtaille ja uusiutuville energianlähteille
- Vety energianlähteenä
 - Vety on puhdas, luotettava ja potentiaalinen kestävän energian lähde
 - Mahdollistaa siirtymisen kohti vähähiilistä taloutta
- Hiilineutraali vety
 - Lupaava potentiaali kansainvälisillä markkinoilla
 - Tärkeä rooli liikenteessä ja teollisuudessa
- Uusiutuvan energian merkitys
 - Ympäristöystävällisempi kuin fossiiliset polttoaineet
- Vetytalouden peruslähtökohta

Vetytalous

- Vedyn käytön kasvu
 - Vuonna 2019 Euroopassa käytettiin 339 TWh vetyä
 - Ennuste vuodelle 2050: 667–4000 TWh
- Vedyn edut
 - Korkein gravimetrinen palamislämpö: 286 kJ/mol
 - Palaminen johtaa veden muodostumiseen
 - Energiantuotto suurempi kuin muilla polttoaineilla
- Vedyn energiasaanto
 - 122 kJ/g, 2,75 kertaa suurempi kuin hiilivetypolttoaineilla
- Vedyn käyttö
 - Öljynjalostus, ammoniakkin ja metaanin tuotanto
- Vedyn rooli energiasiirtymässä

Vetytalous

- Vesiteollisuuden merkitys vetytaloudessa
 - Vakiintunut toimija vesihuollossa
 - Edistää kestäväää ja vastuullista vetyteollisuutta
- Vesiteollisuuden vaikutus vesistressiin
 - Ehkäisee vesistressin lisääntymistä
 - Vähentää kilpailua vesivaroista
- Jätevesien hyödyntäminen vedyn tuotannossa
 - Kestävä vaihtoehto suolattomalle ja juomavedelle
- Vesilaitosten rooli vesivarojen hallinnassa
 - Ilmastosta riippumattomat vesivarat
- Vedentarpeen hallinta
- Suomen jätevesimäärät ja vedyn tuotantokapasiteetti

Vetytalous (1/2)

Yhtiö	Paikkakunta	Arvioitu valmistumisvuosi
Solar Foods	Vantaa	2023
EPV Energia	Vaasa	2024
Helen	Helsinki	2024
P2X Solutions	Harjavalta	2024
Neste	Porvoo	2025
STR Tecoil	Hamina	2025
Vantaan Energia	Vantaa	2025
Westenergy	Mustasaari	2025
Blastr Green Steel	Inkoo	2026
CPC Finland	Kristiinankaupunki	2026
Green North Energy	Naantali	2026
Keravan Energia	Kerava	2026

Vetytalous (2/2)

Yhtiö	Paikkakunta	Arvioitu valmistumisvuosi
P2X Solutions	Joensuu	2026
Ren-Gas	Kotka	2026
Ren-Gas	Lahti	2026
Ren-Gas	Mikkeli	2026
Ren-Gas	Pori	2026
Ren-Gas	Tampere	2026
St1	Lappeenranta	2026
Flexens	Kokkola	2027
Solvay Chemicals	Kouvola	2028
SSAB	Raahe	2030
ET Fuels	Ranua	-

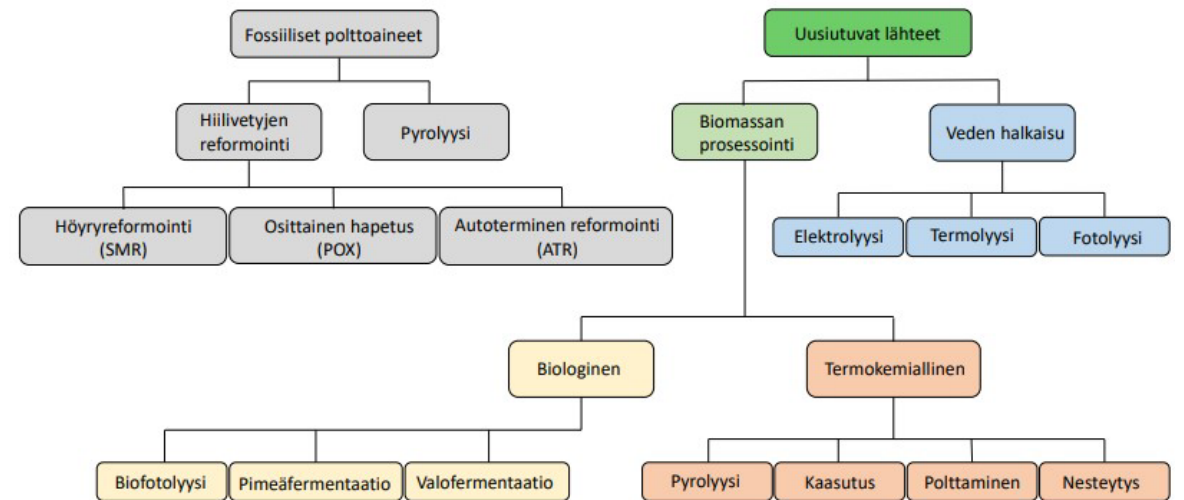
Vedyn luokittelu ja vihreä vety

Väri	Musta vety	Harmaa vety	Sininen vety	Turkoosi vety	Keltainen vety	Vaaleanpunainen vety	Vihreä vety
Prosessi	Kaasutus	Höyryreformointi	Höyryreformointi tai kaasutus (CO ₂ talteenotto 85-95%)	Pyrolyysi	Rikki-jodisykli	Elektrolyysi	Elektrolyysi
Lähde	Kivihili	Metaani	Metaani tai kivihili	Metaani	Ydinvoima	Ydinvoima	Uusiutuva energia

- Vedyn luokittelu ilmastopolitiikan näkökulmasta
 - Perustuu ilmastonmuutosta edistäviin päästöihin vedyn tuotannossa
 - EU:n laajuinen vedyn luokitusjärjestelmä tekeillä
- Nykyinen epävirallinen vedyn luokitus
 - Perustuu vedyn tuotantomenetelmiin
 - Ei tarkastele prosessin raaka-aineiden tai energian alkuperää
- UN/ECE:n vedyn luokittelu
 - Seitsemän vetyväriä tuotantotavan ja lähteen mukaan
 - Musta, ruskea, harmaa, sininen, turkoosi, keltainen, vaaleanpunainen, vihreä
- Vihreän vedyn merkitys
 - Energiavektori, joka mahdollistaa yhteiskunnan dekarbonisaation
 - Sopii vihreän kemian vaatimukseen

Tuotantomenetelmät

- Vedyn tuotantomenetelmät
 - Fossiiliset ja uusiutuvat raaka-aineet
 - Suuret keskitetyistä laitoksista pieniin hajautettuihin yksiköihin
- Hajautetut pienyksiköt
 - Merkittävä rooli tulevaisuudessa
 - Vihreän vedyn potentiaali liikenteen polttoaineena
- Fossiiliset menetelmät
 - Hiilivetyreformointi ja pyrolyysi
 - Rikinpoisto, plasmareformointi, vesifaasin reformointi, ammoniakin reformointi
- Uusiutuvat menetelmät
 - Biomassan kaasutus ja biologinen vedyntuotanto
 - Kalvoreaktorit



Yhteenveto ja johtopäätökset

Yhteenveto

Työssä keskityttiin uusiovesien mahdollisuuksiin vihreän vedyn tuotannossa. Tutkimuksessa tarkasteltiin eri menetelmillä tuotettujen uusiovesien soveltuvuutta vihreän vedyn tuotantoon. Vedyn tuotantoa eri veden laaduilla tutkittiin laboratoriomittakaavassa.

- Työssä tarkasteltiin vetytaloutta sekä laajalti erilaisia fossiilipohjaisia ja uusiutuviin lähteisiin pohjautuvia vedyn tuotantomenetelmiä. Lisäksi tarkasteltiin erilaisia vetyanalytiikan menetelmiä. Tutkielmassa käsiteltiin myös kunnallisen jäteveden käsittelytekniikoita uusiovesien tuotannossa, osittain pohjautuen Mikkelin jätevedenpuhdistamon pilot-mittakaavan prosesseihin.
- Tutkimuksen tulokset auttavat ymmärtämään vedyn tuotannon ja käytön mahdollisuuksia sekä tarjoavat arvokasta tietoa jatkotutkimuksia varten. Tämä tutkimus on askel kohti kestävää uusiutuvan energian käyttöä ja jätevedenkäsittelyn symbioosia.

Mapping of EcoSairila Plant Energy and Material Streams for Conversion of Renewable Power to Products

Agenda

- Abstract
- Introduction
- Goals and Research Questions
- Research Methodology
- Hydrogen Economy
- Wastewater Treatment
- Hydrogen Production
- Hydrogen Production from Wastewater
- Resource and Material Recovery
- Conclusions for Theoretical Part
- Materials & Methods

Abstract

- Objective of the Thesis
 - Research on hydrogen production from treated wastewater
 - Mapping potential of P2X-system for EcoSairila wastewater treatment plant
- Focus Areas
 - Hydrogen production from alkaline electrolysis
 - Potential uses for product streams
- Methodology
 - Rough calculations for mass balances, energy balances, and cost estimations
 - Data provided by EcoSairila and BioSairila
- Theoretical Part
- Practical Part
- Main Results

Introduction

- Global Energy Situation Changes
 - Great recession caused energy price swings
 - Stable energy economy for 10 years
 - Covid-19 pandemic caused rapid drop in energy prices
- Impact of Russia-Ukraine War
 - Europe's dependency on Russian oil and gas
 - Energy prices rose drastically
 - Countries seeking alternative energy sources
- Hydrogen as a Clean Energy Source
 - Flexibility in heating and electricity
 - Produced without emissions
- Wastewater Treatment and Hydrogen Production

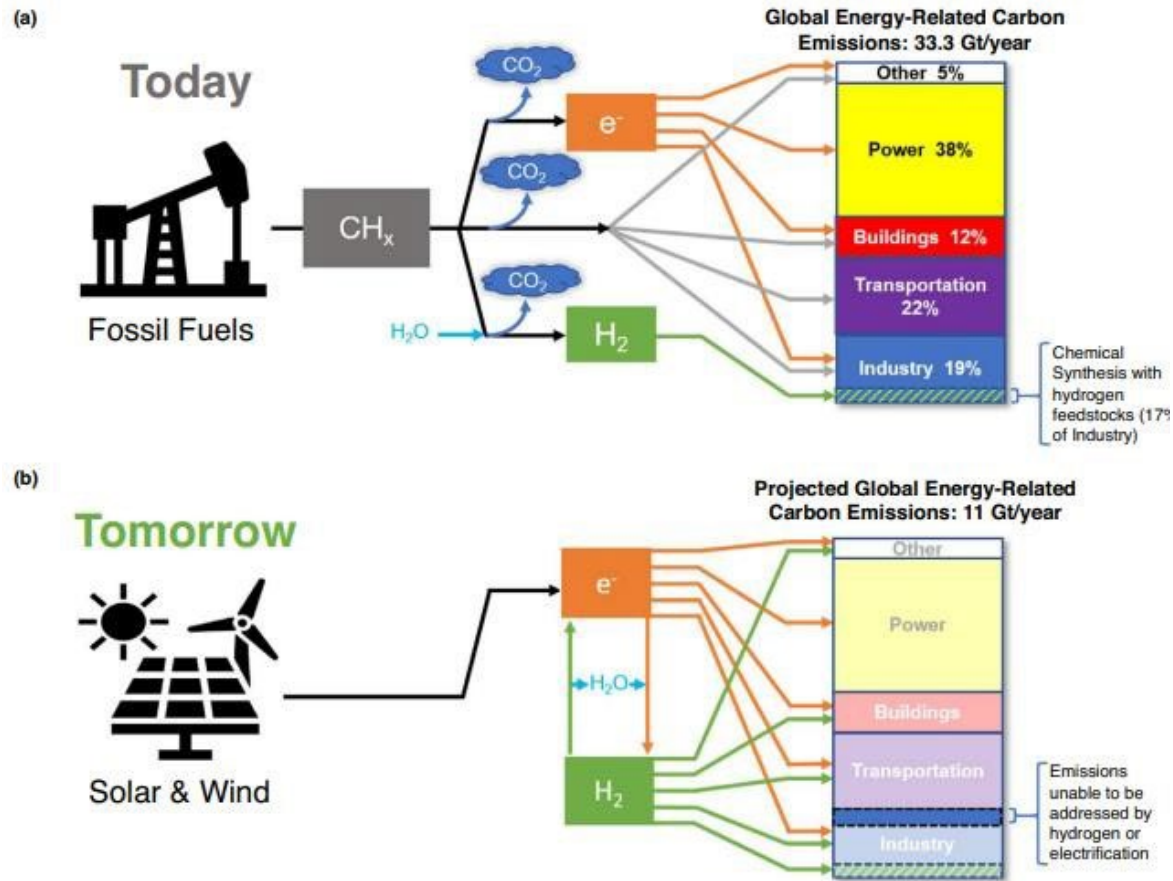
- Main Objective
 - Find a functional process for hydrogen production using treated wastewater
 - Use available streams from Eco- and BioSairila
- Research Questions
 - Is it possible to produce hydrogen with 100 MW sized electrolysis process from EcoSairila's streams?
 - Potential uses for hydrogen, oxygen, and waste heat from the electrolysis process
 - Most useful product and by-product utilization methods for EcoSairila
 - Feasibility of producing hydrogen from treated wastewater
 - Benefits EcoSairila gains from the process
- Boundaries
 - Focus on hydrogen and oxygen utilization methods beneficial for waste management industries and Eco- and BioSairila
 - Simulations done for one chosen process based on data provided by Eco- and BioSairila

Goals and Research Questions

Research Methodology

- Literature Section
 - Study utilization methods for hydrogen, oxygen, and waste heat from electrolysis
 - Background from energy economy perspective
 - Summary of wastewater treatment processes
 - Principles of hydrogen production focusing on electrolysis
 - Material gathered using LUT Primo
- Practical Section
 - Find best combined process for electrolysis and outlet stream utilization
 - Rough calculations for mass- and energy balances
 - Highlight process features, challenges, or benefits
 - Detailed evaluation of chosen process
 - Simulations and analysis of mass and energy balances

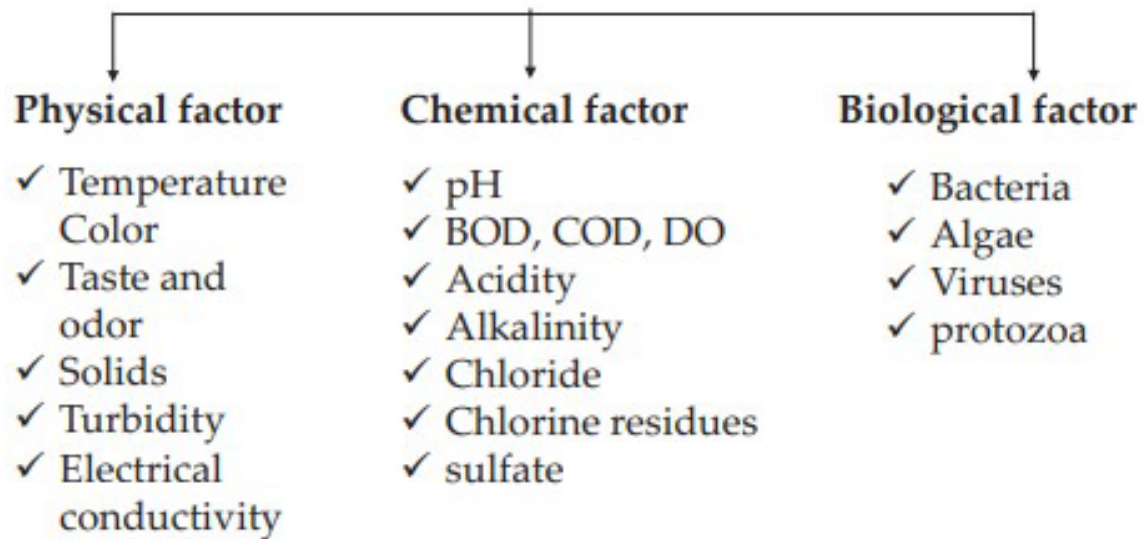
Hydrogen Economy



- Current Situation in Hydrogen Economy
 - Dependency on cross-border energy sources
 - Concerns over energy security due to global incidents
 - Increased focus on green energy production
- Future Potential of Hydrogen
 - High energy content per unit of mass
 - Storable, flexible, and multiple end-uses
 - Minimal emissions as fuel
 - Potential to be made using green methods
- Applications of Hydrogen
 - Chemical feedstock for ammonia and methanol
- Challenges in Hydrogen Economy

Wastewater Treatment: Physical, Chemical, and Biological Characteristics

Factors connected with Wastewater



- Basic Principles of Wastewater Treatment
 - Water's solvent properties and ability to dissolve substances
 - Functions as a solvent, cleaning material, and in heat transport
 - Cheaper than other chemicals due to natural reserves
- Commercial Methods of Wastewater Treatment
 - Commercial Activated Sludge (CAS) process
 - Membrane Bioreactor (MBR) process
- Environmental Concerns of Wastewater Treatment
 - Impact on water quality and ecosystems
 - Management of pollutants and contaminants
- Characteristics of Wastewater
 - Physical: dark coloration, foul odor, presence of solids

Conclusions for Theoretical Part

- Hydrogen Economy and Wastewater Treatment
 - Current situation and future potential of hydrogen economy
 - Basic principles and current situation of wastewater treatment
 - High energy consumption as main ecological issue
 - Need to reduce carbon footprint in wastewater treatment
- Hydrogen Production via Electrolysis
 - Electrochemical method using water and electricity
 - Impurities in water impact electrolyser performance
 - Pre-treatment of water necessary before electrolyser
 - Cost of electricity as a problem with large scale plants
 - Using renewable energy sources to mitigate cost
- Utilization of Electrolyzer Products and CO₂

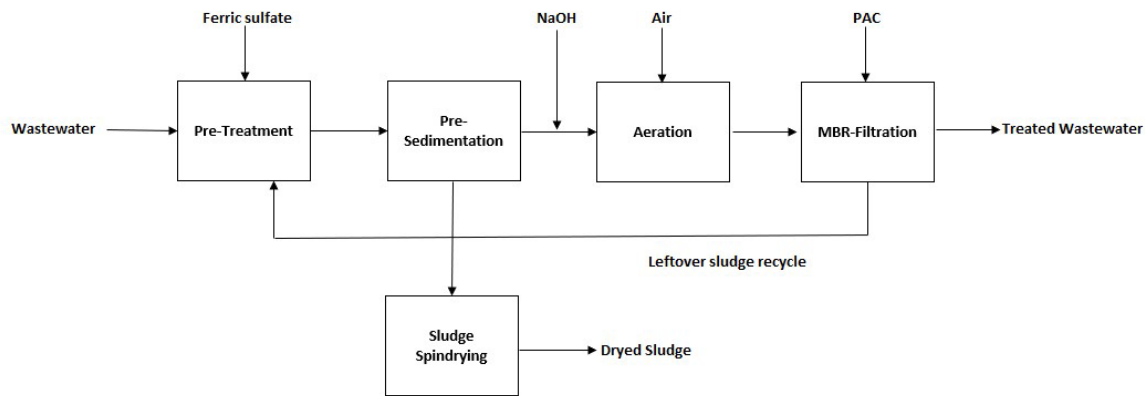
Materials & Methods: Mass Balances

- Mass Balances Overview
 - Distribution of inlet and outlet streams in the system
 - Determines quantities of raw material and products produced
- Importance in Process Design
 - Basis of process design
 - Sets process stream flows and compositions
 - Provides equations for sizing equipment
- Utility in Plant Operations
 - Helps understand plant operations and find problems
 - Checks performance against design
 - Extends limited data from plant instrumentation
- Material Balances in Chemical Processes

Materials & Methods: Cost Estimations

- Importance of Cost Estimations
 - Evaluates process profitability before building
 - Calculates net cash flow (NCF)
- Categories of Cash Flow
 - Investments: CAPEX and fixed assets
 - Operations: OPEX (fixed and variable)
 - Financing: debts and shares
- Investments
 - CAPEX: process equipment, property, and equipment
 - Fixed investments: workforce and engineering
- Operations
- Payback Time Calculation

Case EcoSairila: Process Showcases



- EcoSairila WWTP Process
 - Handles wastewater from Mikkeli and surrounding municipalities
 - Three-stepped mechanical preliminary treatment
 - Pre-sedimentation and sludge collection
 - Secondary treatment with membrane bioreactor (MBR)
 - Energy consumption around 0.79 kWh/m³
- BioSairila Methane Plant Process
 - Uses dried sludge and biowaste to produce biogas
 - Three mesophilic reactors for anaerobic digestion
 - Biogas refined into biomethane with over 95% purity
 - Produces around 230 m³/h of biogas
- Available Streams

Case EcoSairila: Chosen P2X Method

Unit/Component	Explanation/Value	Source
Electrolyzer	100 MW power output, 20000 L/h water demand, 80-100 °C, 5 bar	SinoHy Energy, 2023, De Groot, et al 2022
CAPEX	500 €/kW	Proost, 2018
FIXED OPEX	4% of CAPEX	Leeuwen, et al. 2018
Hydrogen	Storage 5000 m ³ , 100 bar	-
CAPEX	100 €/m ³	Leeuwen, et al. 2018
FIXED OPEX	1.5 % of CAPEX	Leeuwen, et al. 2018
Oxygen	Released in atmosphere	-

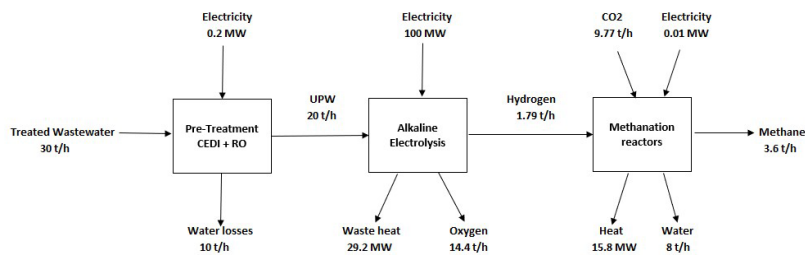
- Alkaline Electrolyzer for P2X-Process
 - 100 MW alkaline electrolyzer used to produce hydrogen from treated wastewater
 - Pre-treatment includes reverse osmosis and CEDI unit
 - Chosen for maturity and low costs for large scale production
 - Cooling method: wet cooling tower using lake Saimaa water
 - Hydrogen storage at 100 bars for process control
- Hydrogen Utilization for P2X
 - Methanation route chosen for methane production
 - CO2 sourced from BioSairila's biomethane production
 - Metal catalyst methanation suitable for large-scale production
 - Storage tanks for liquid CO2 and methane

Case EcoSairila: Side Stream Utilization

Oxygen	Potential uses
Pure Oxygen	Sold as profit, Ozone production
Enriched Air	Aeration air stream, Combustion
Excess heat	Potential Uses
Process heating	Decrease energy consumption for various units e.g. biogas reactors in BioSairila
Sludge Treatment	Sludge pyrolysis, Thermal Hydrolysis

- Energy Consumption in Wastewater Treatment
 - High energy consumption due to large units
 - Electrolysis process consumes massive amounts of electricity
- Utilizing By-products for Energy Savings
 - By-products can be used in energy generation
 - Potential to balance energy intensity of the process
- BioSairila's Biogas Utilization
 - Biogas used to heat reactors and pre-treatment
 - By-products like waste heat can be used in heating reactors
- Sludge Treatment in WWTP
- Potential Uses for Waste Heat
- Potential Uses for Oxygen

Simulations: P2M Process Simulations



- Process Flowchart Overview
 - Flowchart of the combined process
 - Pre-treatment of wastewater into ultrapure water
 - Electrolyzer produces hydrogen at 43 t/d
 - Hydrogen separated and stored before reactors
 - Methanation reactors produce 3.6 t/h methane
- Carbon Dioxide Demand
 - Demand is around 9.77 tons per hour
 - BioSairila's production is only 0.22 tons per hour
 - Direct air capture is expensive due to high energy consumption
 - Buying carbon dioxide from another supplier is more sensible

Simulations: CAPEX/OPEX

Equipment	Size	Value
Electrolyzer	100 MW	50 000 k€
Hydrogen Storage	5000 m ³	500 k€
Methanation Reactor	55 MW	22 000 k€
CO₂ Storage	200 m ³	28 k€
CH₄ Storage	200 m ³	28 k€
Installation, Planning & Design	28% of equipment	20 320 k€
Total		92 871 k€

- Capital Expenses (CAPEX)
 - Based on production rates or plant sizes
 - Includes fixed variables like engineering costs
 - Installation, planning, and other fixed investments estimated to be 28% of equipment costs
- Operational Expenses (OPEX)
 - Separated into variable and fixed OPEX
 - Variable OPEX includes prices and costs of streams
 - Fixed OPEX includes operational costs of process units as % of CAPEX
- Production and Costs
 - Yearly production expected to be 8000 hours
 - Electricity price set to 40 €/MWh
- Payback Time and Sensitivity

Simulations: Results Analysis

- Achievable Methane Production
 - 55 MW hourly production from 100 MW alkaline electrolyzer
 - 6.6 MW methane from 10 MW PEM electrolyzer (Al-Breiki & Bicer, 2023)
- Capital Expenses Comparison
 - PEM process CAPEX: 43000 k€ (including solar energy system)
 - Alkaline process CAPEX: almost 100000 k€
- Carbon Dioxide Availability
 - BioSairila produces a fraction of required CO₂
 - Market and availability for CO₂ expected to increase
- Operational Costs
- Solar Panel Efficiency
- Payback Time and Profit Potential

Conclusions

- Hydrogen Production Feasibility
 - Possible with 100 MW alkaline electrolyzer using EcoSairila streams
 - Requires pre-treatment of wastewater to reduce TOC and conductivity
 - Lake Saimaa could be used for cooling water, but permitting is unclear
- Utilization of Electrolysis Products
 - 55 MW worth of methane production feasible
 - Oxygen and excess heat can be utilized in various ways
 - Oxygen enriched air can benefit WWTP aeration and waste combustion
 - Excess heat can balance energy demands and heat mesophilic reactors
- Process Feasibility and Benefits
 - Carbon dioxide availability is a challenge for methanation
- Potential for Further Research