

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

AARO ALI-HOKKA

# **Vedyn tuotannon hukkalämmön hyödyntäminen Satakunnassa**

Katsaus Satakunnan vetytalouden nykytilaan  
ja tulevaisuuden mahdollisuuksiin

ENERGIATEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA  
2025

## TIIVISTELMÄ

Ali-Hokka, Aaro: Vedyn tuotannon hukkalämmön hyödyntäminen Satakunnassa - Katsaus Satakunnan vetytalouden nykytilaan ja tulevaisuuden mahdollisuuksiin

Opinnäytetyö, AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

Heinäkuu 2025

Sivumäärä: 37

Laadittiin katsaus vetyhankkeista Satakunnassa. Julkaistuja hankkeita oli neljä ja niistä yksi oli kirjoitushetkellä toiminnassa. Esiteltiin vedyn tuottaminen alka-liektrolyysillä ja protoninvaihtomembraanielektrolyysillä.

Esiteltiin negawatt ja negafuel teoriat ja niiden yhteys hukkalämmön hyödyntämiseen. Vuosittain syntyvän negapolttoaineen määrää visualisoitiin Vertex G4 Plant -ohjelmistolla. Perusteltiin energian säästämisen olevan järkevää erityisesti silloin, kun se ei aiheuta laadullista tai määrällistä tuotannon vähentymistä. Hukkalämmön hyödyntäminen on energian säästämistä.

Keskeisenä löydöksenä esiteltiin joukko keinoja hukkaenergian hyödyntämiseksi. Keinot jaettiin sähkön tuottamiseen hukkalämmöstä, kylmän tuottamiseen hukkalämmöstä ja hukkalämmön hyödyntämiseen sellaisenaan. Selvästi parhaiten tunnettu malli on hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpönä. Kaukolämpöverkot eivät kuitenkaan tarvitse kaikkea syntyvää lämpöä ja siksi hukkalämmön hyödyntämiseksi on kehitettävä myös muita ratkaisuja.

Avainsanat: hukkalämpö, jätelämpö, vety, vetytalous, vihreä siirtymä, kestävä kehitys, energiatehokkuus, negawatt, negafuel, negapolttoaine

## ABSTRACT

Ali-Hokka, Aaro: From Waste to Value: Waste Heat Utilization in Satakunta's Emerging Hydrogen Economy

Bachelor's thesis

Energy and Environmental Engineering

July 2025

Number of pages: 37

A review of hydrogen projects in the Satakunta region was conducted. Four announced projects were identified, one of which was operational at the time of writing. The production of hydrogen using alkaline electrolysis and proton exchange membrane electrolysis was presented.

Theories of negawatt and negafuel were introduced, along with their connection to the utilization of waste heat. The annual amount of negafuel generated was visualized using the Vertex G4 Plant software. It was argued that saving energy is especially reasonable when it does not reduce the quality or quantity of production. Utilizing waste heat is a form of energy saving.

A key finding of the work was a set of methods for making use of waste energy. These methods were categorized into electricity generation from waste heat, cooling production from waste heat, and the direct use of heat as-is. The most well-known model is the use of waste heat in district heating networks. However, district heating systems cannot absorb all the heat produced, which is why additional solutions for waste heat utilization must be developed.

Keywords: waste heat, residual heat, hydrogen, hydrogen economy, green transition, sustainable development, energy efficiency, negawatt, negafuel

## ALKUSANAT

Toivon vilpittömästi insinööriyöni avartavan lukijansa ajatuksia hukkalämmön tarjoamista mahdollisuuksista ja toimivan aikakapselina tulevaisuuden historioitsijoille toiveikkaasta uskosta vetytalouteen. Näyttää hyvin todennäköiseltä, että vety saa merkittävän roolin energiainfrastruktuurissa vielä meidän elinajanamme. Tekoälyn huomattava kehittyminen voi kuitenkin avata sellaisia mahdollisuuksia, joiden ennustaminen on tässä hetkessä mahdotonta.

Satakunnan vetytalouden nykytilanteen avaaminen ei vaadi nykyisellään montakaan tekstisivua, mutta historia on näyttänyt teknologisen kehityksen olevan eksponentiaalista kerta toisensa jälkeen, vaikka kuinka pyrkisimme ajatuksissamme sitä linearisoimaan. Olisi silkkaa järjen köyhyyttä vähätellä vetytalouden potentiaalia jo toimivien laitosten vähäisen määrän tai pienen mitta-kaavan vuoksi. Kasvu siintää selkeänä edessämme.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 VETY SATAKUNNASSA .....	7
2.1 P2X Solutions Oy .....	7
2.2 Nordic Ren-gas Oy .....	8
2.3 Green North Energy .....	9
2.4 Norsk e-fuel AS ja Fortum Oyj.....	10
3 VIHREÄN VEDYN TUOTANNON TEKNOLOGIAT .....	11
3.1 Alkalielektrolyysi .....	15
3.2 Protoninvaihtomembraanielektrolyysi .....	16
4 HUKKALÄMPÖ JA ENERGIA TEHOKKUUS.....	17
4.1 Negawatt .....	17
4.2 Negafuel .....	18
5 HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN .....	20
5.1 Sähkön tuottaminen hukkalämmöstä .....	20
5.2 Kylmän tuottaminen hukkalämmöstä.....	21
5.3 Hukkalämmön hyödyntäminen .....	22
6 HAASTEET .....	24
7 POHDINTA .....	28
8 YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET.....	31
LIITE 1: KIRRINSANNAN LAITOKSEN TUOTTAMAN NEGAPOLTTOAINEEN VISUALISOINTI .....	35
LIITE 2: OPPIMISEN ITSEREFLEKTIO JA EETTISTEN SUOSITUSTEN NOUDATTAMINEN .....	36

## 1 JOHDANTO

Vetyä voidaan valmistaa hajottamalla vettä hapeksi ja vedyksi sähköenergian avulla. Sähköä on mahdollista tuottaa ilman hiilidioksidipäästöjä ja vetyä voidaan myös jatkojalostaa. Vedyn avulla voimme siis käytännössä muuntaa hankalasti varastoitavan sähköön kaasuksi tai jopa monimutkaisemmiksi nestemäisiksi tai kiinteiksi polttoaineiksi. Yksinkertaistaen kyseessä on siis menetelmä varastoida sähköä ja luoda uusia mahdollisuuksia sen hyödyntämiseksi.

Vedyn tuotannon yhteydessä osa energiasta muuttuu lämmöksi. Lämpöä syntyy niin paljon, että sitä on saatava pois prosessista eli prosessia on jäähdytettävä. Tämä poistettava lämpö on hukkalämpöä, jonka hyödyntämistä pyritään tässä insinööriyössä tarkastelemaan.

Ongelmaa lähestytään kirjallisuuskatsauksen keinoin ja tutustutaan muutamiin tosielämän tapauksiin, joissa vastaavanlaisia hukkalämpövirtoja on hyödynnetty kannattavasti. Käsittely on rajattu maantieteellisesti Satakuntaan ja siksi tällä hetkellä julkaistut laitoshankkeet esitellään.

Vedyn tuotannon hukkalämpöjen hyödyntämistä peilataan myös energiatehokkuuden negawatt- ja negafuel -teorioihin. Näissä teorioissa painotetaan tuottamatta jätetyn energian merkitystä. Voimme jättää esimerkiksi fossiilisia polttoaineita polttamatta, mikäli hyödynnämme jatkossa vedyn tuotannon hukkalämpöä sellaiseen tuotantoon, johon olisi muutoin käytetty polttoainetta. Tätä polttamatta jätettyä polttoainetta kutsutaan negapolttoaineeksi.

Hyödyntämätön hukkalämpö on rasite ympäristölle ja resurssien haaskausta. Lämpövirtojen tehokkaassa hyödyntämisessä on negapolttoainepotentiaalin ohella valtavasti liiketoiminnallisia mahdollisuuksia ja monella toimialalla edullisesta lämpöenergiasta voitaisiin saada merkittävää kilpailukykyä.

## 2 VETY SATAKUNNASSA

Prizztech Oy on tuottanut Satakunnan kaasu- ja vetytalous suunnitelman, jonka tuoreimman version tähtäin on vuodessa 2030. Vedyn osalta vuoden 2023 tuotanto oli Satakunnassa 1500 tonnia kulutuksen ollessa 1006 tonnia. (Luhtanen & Vuorela, 2023, s. 6) Suurin osa vedystä tuotetaan nykyisellään nesteytetystä maakaasusta ja sitä kulutetaan pääasiassa metallien pelkistämiseen ja muihin metalliteollisuuden prosesseihin. (Luhtanen & Vuorela, 2023, s. 11).

Suunnitelman mukaan vuonna 2030 vedyn tuotannon arvioidaan olevan 16 566 tonnia ja kulutuksen 14 012 tonnia. Tuotannon vuosittaisen kasvun odotetaan siis olevan yli 40 %. Satakunnan kaasu- ja vetytalous suunnitelman mukaan Satakunnalla olisi 2030 käytettävissään 8 TWh sähköä vuodessa vihreän vedyn tuotantoon, joka mahdollistaisi jopa 150 000 tonnin tuotannon. Koko tuotantopotentiaalin realisoiminen vaatisi noin 1000 MW elektrolyysitehon. (Luhtanen & Vuorela, 2023, s. 47).

Nyt julkaistujen hankkeiden perusteella vetyä tullaan Satakunnassa tuottamaan alkalielektrolyysillä ja protoninvaihtomembraanielektrolyysillä. Nämä teknologiat esitellään seikkaperäisemmin tämän insinööriyön luvussa 3.

### 2.1 P2X Solutions Oy

P2X Solutions Oy aloitti ensimmäisenä Suomessa vihreän vedyn kaupallisen tuotannon Harjavallan laitoksellaan. Harjavallan laitos on elektrolyysitehojansa 20 MW ja vetyä on tulevaisuudessa tarkoitus jatkojalostaa metaaniksi. (P2X Solutions, 2024)

Harjavallan laitoksella on neljä keskenään identtistä 5 MW elektrolyyseria ja ne ovat saksalaisen Sunfiren HyLink Alkaline -mallia. Valmistajan antamien tietojen mukaan kyseisellä laitteistolla päästään jopa 400 kg tuntituotantoon ja

Harjavallassa tuotetun vedyn loppuasiakas on xylitolin valmistus. (Sunfire & P2X Solutions, 2025)

Laitoksen tuotantomääräksi on ilmoitettu 1600-3150 tonnia vetyä ja 40-80 GWh lämpöä vuodessa. Tuotetusta vedystä 30 % on tarkoitus jatkojalostaa metaaniksi ja nesteyttää. (Varsinais-Suomen ELY-keskus, 2021, s. 2) Laitoksen lämpötehoksi on ilmoitettu 10 MW ja se on tarkoitus hyödyntää kokonaisuudessaan kaukolämmöksi. (Varsinais-Suomen ELY-keskus, 2021, s. 1)

Harjavallan laitoksen on tarkoitus olla pilotti ja yritys suunnittelee jo uusia hankkeita. Julkilausuttuna tavoitteena on 1000 MW elektrolyysikapasiteetti vuoteen 2031 mennessä. Nykyisellään Harjavallan laitos muodostaa 2 % tästä tavoitteesta. (P2X Solutions, 2023)

## 2.2 Nordic Ren-gas Oy

Porin Kirrinsannan teollisuusalueelle suunniteltu laitos on osa hankekokonaisuutta, jonka tavoitteena on vuonna 2030 tuottaa 20 % Suomen raskaanliikenteen polttoaineesta ja 8 % Suomen kaukolämmöstä. Kokonaisuudessaan hankekokonaisuus tähtää 400 MW metaanitehoon, josta Porissa tuotettaisiin noin neljännes. Kokonaisuudessaan elektrolyyserikapasiteettia muodostuisi noin 800 MW. Sähkön kulutuksen luvataan olevan joustavaa ja lisäävän täten sähköverkon vakautta. (Ren-Gas Oy, 2025)

Kirrinsannan tuotantolaitos on esisuunnitteluvaiheessa. Aluksi laitos rakennetaan 50 MW kapasiteettiin ja laajennetaan myöhemmin 2030-luvulla 100-150 MW kapasiteettiin. Rakentamisen on suunniteltu ajoittuvan vuosiin 2026-2028 ja tuotannon on suunniteltu alkavan vuonna 2028. (Nordic Ren-Gas Oy, 2024, s. 18-19)

Tuotantoon tarvittava vihreä vety tuotetaan alkaalielektrolyysillä ja metaaniksi jalostamiseen tarvittava hiilidioksidi tuodaan laitokselle muualta. Hiilidioksidia

on tarkoitus saada bio- ja kierrätyspolttoaineita polttavista laitoksista keräämällä se talteen savukaasuista. (Nordic Ren-Gas Oy, 2024, s. 26-27)

Taulukko 1 Kirransannan laitoksen parametrit

Laitoksen tiedot	Yksikkö	100 MW	150 MW
Metaanin tuotanto	tonnia/vuosi	60000	90000
Sähköteho	MW	300	450
Sähkön kulutus	GWh/vuosi	2000	3100
Lämpöteho	MW	80	120
Lämmön tuotanto	GWh/vuosi	700	1000
Kaukolämmöksi	GWh/vuosi	350	350
Hukkalämpö	GWh/vuosi	350	650

Taulukossa 1 nähdään Kirransannan laitoksen tuotannon parametrit 100 MW ja 150 MW metaanitehoilla. Syntyvästä lämmöstä voidaan hyödyntää kaukolämmöksi 350 GWh vuosittain, joten vapaata hukkalämpöä on tarjolla runsaasti. (Nordic Ren-Gas Oy, 2024, s. 25) Nykyisellään hukkalämpö, jota kaukolämpöverkko ei kykene ottamaan vastaan on tarkoitus ohjata jäähdytystorjuneihin. Tornissa veteen puhalletaan ilmaa ja osa siitä haihtuu. Lämpö siis päästetään luontoon vesihöyryinä. (Nordic Ren-Gas Oy, 2024, s. 28)

Kirransannan laitos tuottaisi vetyä joko alkaalielektrolyysillä tai PEM-elektrolyysillä. Laitoksen käyttöikäksi on arvioitu 20 vuotta. (Nordic Ren-Gas Oy, 2024, s. 33)

### 2.3 Green North Energy

Vihreän vedyn ja ammoniakkin tuotantolaitoksen rakentamisesta Poriin on laadittu aiesopimus ja itse laitos on tarkoitus rakentaa 2030-luvulla. Pori valikoitui laitoksen sijainniksi sataman ja tulevaisuuden merituulikapasiteetin johdosta. (Tanskanen, Siljamäki & Syväkuru, 2024)

Yritys toteuttaa pilottilaitoksen Naantaliin ja tämän pohjalta rakennetaan myös Porin ja Kemin laitokset. Naantalin laitoksen rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuoden 2025 aikana ja tuotannon määrä käynnistyä vuonna 2028. Naantalin laitos tuottaisi vuosittain 210 000 tonnia ammoniakkia ja 45 000 tonnia vetyä.

Vedyn kokonaismäärässä on huomioitu sekä väli- että lopputuotteena myytävä vety. (Green North Energy Oy, 2024, s. 4-5)

Vedyn tuotantoteknologiana on joko alkalielektrolyysi tai PEM. Ammoniakiksi jalostamiseen tarvittava typpi tuotetaan kryogeenisellä tislauksella ulkoilmasta. Sekä vety että typpi paineistetaan 150-250 bar paineeseen ja 400-450 °C lämpötilaan, jonka jälkeen ne ohjataan Haber-Bosch-synteesiprosessiin. Ammoniakkisynteesi on lämpöä vapauttava reaktio, joten myös siitä vapautuu hukkalämpöä. (Green North Energy Oy, 2024, s. 10-12)

Laitoksen sähköteho on aluksi 160 MW, mutta se pyritään nostamaan 310 MW tehoon heti, kun siirtoyhteydet sen mahdollistavat. Tästä sähkötehosta 275 MW eli noin 83 % on vetyelektrolyysin tarvitsemaa tehoa. Näin ollen suurin osa hukkalämmöstäkin syntyy juuri vedyn tuotannon vaiheissa. Osa lämmöstä on tarkoitus ohjata laitoksen omaan käyttöön, mutta tämän jälkeen hyödyntämättä jää vielä runsaasti lämpöä. Tämän hukkalämmön käyttöskenaarioiksi on esitetty hyödyntämistä kaukolämpöverkossa, teollisuusalueen muissa laitoksissa tai lämmön johtaminen mereen. (Green North Energy Oy, 2024, s. 14)

#### 2.4 Norsk e-fuel AS ja Fortum Oyj

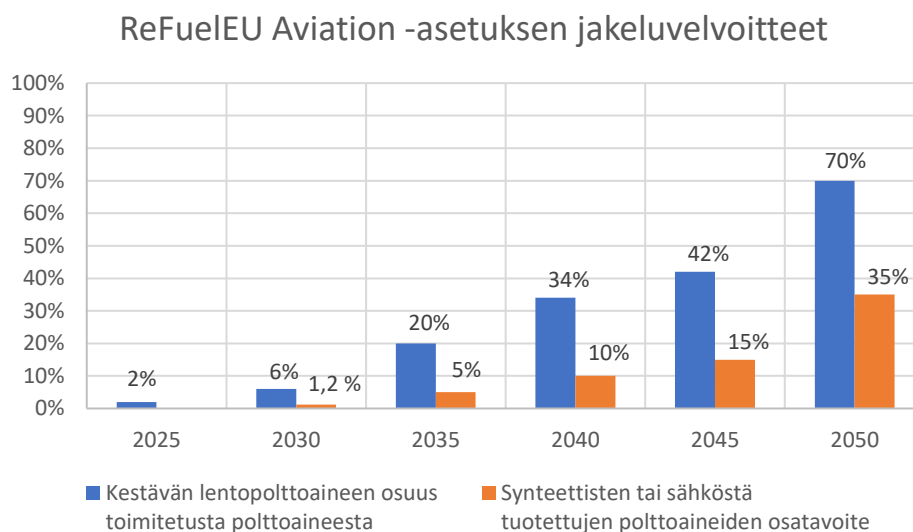
Hankkeesta ei ole vielä tehty investointipäätöstä, mutta kestävien lentopolttoaineiden tuotantolaitokselle on tehty tonttivaraus Rauman Satamaan. Sekä lupaprosessi että sähköyhteyksien suunnittelu on jo aloitettu. (Fortum Oyj, 2024)

Laitoksen olisi tarkoitus tuottaa vuosittain 100 000 kuutiometriä lentopolttoainetta. Tämän polttoaineen markkinat ovat tulevaisuuden sääntelyn vuoksi kasvamassa. Euroopan unioni edellyttää lentokentillään 1,2 % sekoitevelvoitetta vuodesta 2030 alkaen ja sekoitevelvoitteen on määrä nousta 35 prosenttiin vuoteen 2050 mennessä. (Fortum Oyj, 2024)

Laitoksen tuotantomenetelmänä olisi Fischer-Tropsch pathway (Norsk e-Fuel, 2025). Yksin tämän julkisesti saatavilla olevan tiedon perusteella hankkeen

hukkalämpöpotentiaalia on vaikea arvioida. Syntyvän hukkalämmön määrään vaikuttaa muun muassa onko kyseessä matalan vai korkean lämpötilan Fischer-Tropsch. Joka tapauksessa laitos tulee tuottamaan hukkalämpöä, mutta sen määrää ei ole annettujen lähtötietojen perusteella mielekästä lähteä spekuloidaan.

Kuviossa 1 nähdään lentopolttoaineiden jakeluvolvoitteiden kehitys vuodesta 2025 vuoteen 2050 asti. Esimerkiksi vuonna 2019 lentopolttoainetta kului Suomessa 1,2 miljardia litraa, Euroopassa 74 miljardia litraa ja globaalisti 363 miljardia litraa. Näiden lukujen perusteella 1,2 % jakeluvolvoite EU:ssa tuottaisi lähes miljardin litran kysynnän. Rauman laitoksen tuotanto olisi näin ollen kymmenesosa koko Euroopan unionin kysynnästä vuonna 2030 ja markkina nelinkertaistuisi jo ensimmäisen viiden vuoden aikana. (EASA, 2025, s. 20)



Kuvio 1 ReFuelEU Aviation -asetuksen jakeluvolvoitteet

### 3 VIHREÄN VEDYN TUOTANNON TEKNOLOGIAT

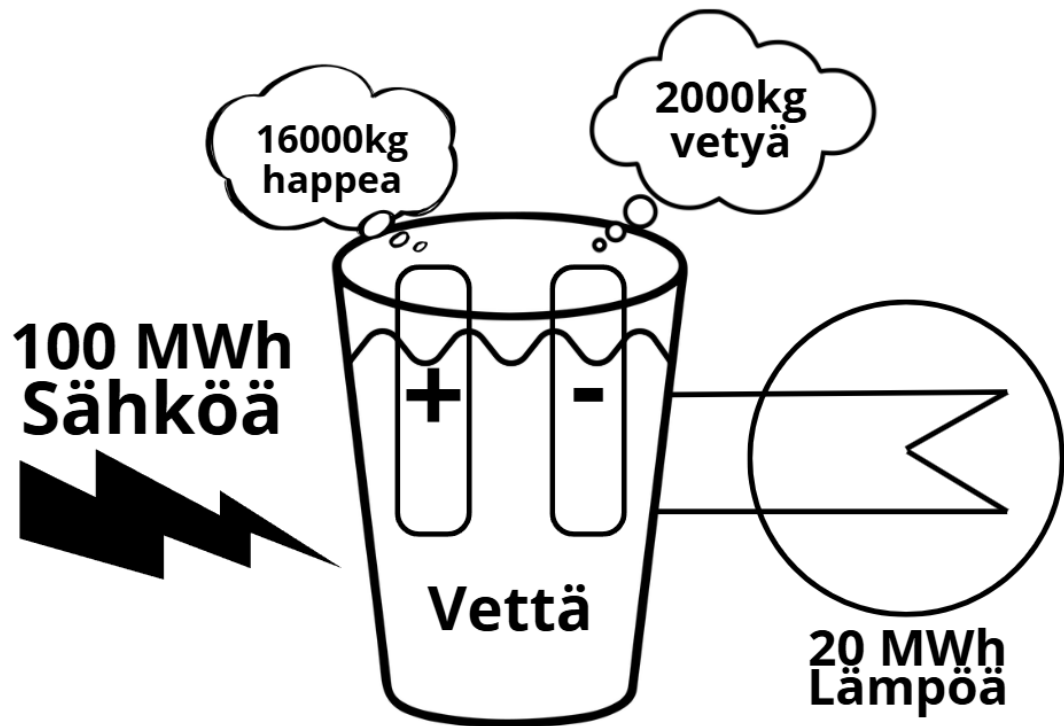
Lähes kaikki Suomessa tuotettava vety tuotetaan fossiilisista polttoaineista höyryrefermoimalla tai osittaishapettamalla. Vain murto-osa nykyisin

Suomessa tuotettavasta vedystä on vihreää. Vihreää vetyä voidaan tuottaa biomassasta tai vedestä. (Spoof-Tuomi 2024, s. 5)

Veden hajottaminen hapeksi ja vedyksi vaatii ulkoista energiaa, jonka ei tarvitse aina olla sähköä. Energia voi olla myös lämpöä, valoa tai koko prosessi voi olla mikro-organismien toteuttama. Satakunnassa vireillä olevissa vihreän vedyn hankkeissa veden hajottaminen vedyksi ja hapeksi on toteutettu poikkeuksetta sähköllä. (Spoof-Tuomi 2024, s. 5)

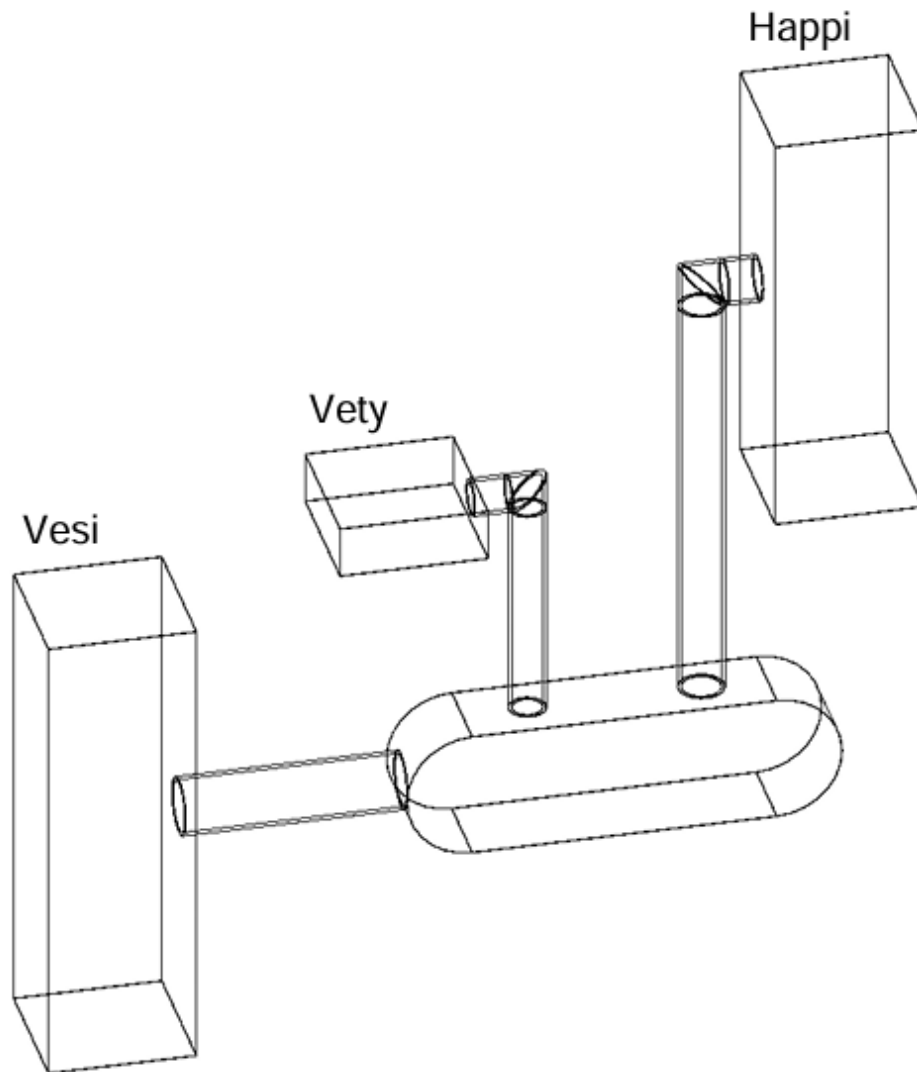
Tässä insinööriyössä keskitytään vain kahteen vihreän vedyn tuotantoteknologiaan. Esiteltävien teknologioiden rajaukseen on päädytty Satakuntaan rakennettaviksi julkaistujen vetyhankkeiden perusteella. Hukkalämpöpotentiaalltaan elektrolyysiin perustuvissa teknologioissa ei ole suurta eroa.

Kuvassa 1 havainnollistetaan karkeaa nyrkkisääntöä, jonka mukaan hukkalämpöä syntyy 20 % vedyn tuotantoon käytetyn sähkön määrästä eli 100 MW elektrolyysiteho tuottaa 20 MW lämpötehon. Tämä havainnollistetaan kuvassa 1. Tuotannon suhteen karkeana suhteena voidaan pitää, että hukkalämpöä syntyy 10 MWh jokaista tuotettua vetytonnia kohden. Tilanne mutkistuu hie-  
man, kun huomioon otetaan myös vedyn jalostaminen. Kirransannan laitos on ilmoittanut 300 MW sähkötehon tuottavan 80 MW lämpötehon, kun tuotettu vety jalostetaan metaaniksi. (Nordic Ren-Gas Oy, 2024, s. 25)

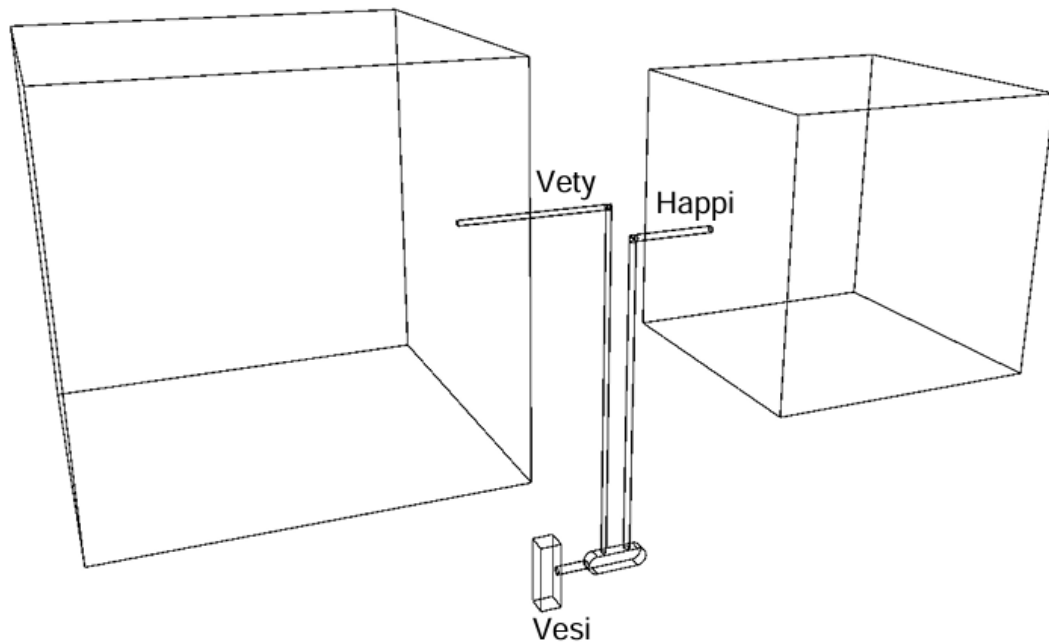


*Kuva 1 Periaatekuva vedyn tuotannosta*

Kuvissa 2 ja 3 on visualisoitu Vertex -laitossuunnitteluohjelmistolla tilannetta, jossa litra vettä hajotetaan vedyksi ja hapeksi. Syntyneellä hapella on huomattavasti suurempi massa kuin syntyneellä vedyllä, mutta tilavuuden suhteen tilanne kääntyy pääläelleen. Litra vettä on kummassakin kuvassa saman kokoinen ja pyritty mallintamaan kartonkisen maitopurkin mittoihin.



Kuva 2 Visualisointi massan suhteen



Kuva 3 Visualisointi tilavuuden suhteen (1 atm, 0 °C)

### 3.1 Alkalielektrolyysi

Alkalielektrolyysi on tuotantoteknologiana Suomessa selkeästi kaupallisesti kypsä, koska siihen perustuva laitos on jo todellisuudessa toiminnassa Harjavallassa, kun muihin menetelmiin perustuvia laitoksia on vasta suunnitteilla.

Vedyn alkalielektrolyysissä vesi hajotetaan vedyksi ja hapeksi johtamalla sähköä elektrodeille. Periaatteessa vedyn alkalielektrolyysi voitaisiin yksinkertaistaa ajatukseen, että pariston navoista johdettaisiin virtaa rautalankoja pitkin vesilasiin. Miinusnavalta johdettu rautalanka toimisi vesilasissa katodina, jossa muodostuu vetyä ja happi muodostuisi anodilla.

Tehokas alkalielektrolyysi vaatii kuitenkin virrantiheyttä parantavan ja reaktionopeutta kiihdyttävän katalyytin, johtokykyä parantavan elektrolyytin ja kalvon, joka pitää reaktiossa syntyneen vedyn ja hapen erillään, jotta ne eivät reagoi uudelleen vedeksi. Laitteisto vaatii tuekseen myös veden puhdistuslaitteiston sekä jäähdytysjärjestelmän, jotta lämpötila pysyy kurissa. Tyypillisesti syntyneet

vety on myös kuivattava ja paineistettava varastoinnin mahdollistamiseksi. (Spoof-Tuomi 2024, s. 22)

Alkalielektrolyysin keskeisimmät kehityskohteet liittyvät sen alhaiseen hyötysuhteeseen. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että käytettyjen asbestisten välikalvojen aiheuttama resistanssi on melko suuri. On pyritty löytämään vähemmän vastusta aiheuttavia välikalvoja, jotka silti kestäisivät voimakkaassa emäksisessä rasituksessa. (Spoof-Tuomi 2024, s. 25)

### 3.2 Protoninvaihtomembraanielektrolyysi

Protoninvaihtomembraanielektrolyysi eli PEM on koettu kiinnostavaksi etenkin siksi, että se pystyy paremmin vastaamaan uusiutuvat energian vaihtelevaan tuotantoon kuin alkalielektrolyysi. Elektrolyytti on PEM-elektrolyysissä kiinteä kalvo ja vesi johdetaan anodille, jossa se hajoaa. Hajoamisen jälkeen vain vety läpäisee kalvon ja pääsee katodille. Reaktiossa syntynyt happi virtaa pois anodilta ylijäämäveden kanssa. (Spoof-Tuomi 2024, s. 26)

PEM-elektrolyysin heikkoutena alkalielektrolyysiin verrattuna on korkeampi investointikustannus. Katalyytteinä käytetyt iridium ja platina ovat niin arvokkaita, että jo pelkkien katalyyttien arvo on miljoonia euroja 10 MW järjestelmässä. Näin ollen tärkeimpänä kehityskohteena olisikin löytää edullisempia katalyyttejä. Myös membraanikalvojen valmistus on nykyisellään kallista. (Spoof-Tuomi 2024, s. 27)

Suomessa ei ole vielä kaupallisessa toiminnassa olevaa vedyn tuotantolaitosta, jonka tuotantotekniikkana olisi PEM-elektrolyysi. Kyseinen teknologia on kuitenkin vaihtoehtona ainakin Nordic Ren-gas Oy:n ja Green North Energyn hankkeissa. Kumpikaan näistä laitosprojekteista ei ole vielä YVA-selvityksensä mukaan tehnyt lopullista valintaa alkalielektrolyysin ja PEM-elektrolyysin välillä. Syntyvän hukkalämmön osalta valittavalla teknologialla ei ole suurta merkitystä, mutta alkalielektrolyysissä syntyvän hukkalämmön määrä on hieman suurempi ja sen lämpötila korkeampi.

## 4 HUKKALÄMPÖ JA ENERGIA TEHOKKUUS

Prizztechin Hukkalämmöstä hyötyenergiaa -teknologiaselvitys määrittelee hukkalämmön erilaisissa prosesseissa syntyväksi lämmöksi, jota ei hyödynnetä mitenkään ja se vapautuu ympäristöön. Selvitys määrittää hukkalämmön synonyymeiksi myös sanat ylijäämlämpö ja jätelämpö. (Pihlainen, Hietaniemi & Mussalo 2020, 4.)

Työ- ja elinkeinoministeriön alainen Energiatehokkuusryhmä laati vuonna 2019 raportin, joka määrittelee energiaterokkuuden parantamisen keskeiseksi tavoitteeksi hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Energiaterokkuuden kehittäminen nähdään kustannustehokkaana vaihtoehtoja, johon on runsaasti muitakin ajureita kuin ilmastonmuutoksen pysäyttäminen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 20.) Raportti esittää myös toimenpide ehdotuksena hukkalämpövirtojen laajamittaisemman hyödyntämisen energiaterokkuuden parantamiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 51.)

Poliittisen ohjauksen ohella myös polttoaineiden markkinahintojen nousu on johtanut kasvavaan kiinnostukseen energiaterokkuuden parantamista kohtaan. Luonnonvarakeskus uutisoi 27.02.2025 energiapuunhintojen nousseen rajusti vuonna 2024 ja saavuttaneen uudet ennätyshintansa. Karsitun energiapuun hinta nousi vuodessa 27 prosenttia ja latvussmassan 43 prosenttia. Nousevat hinnat saavat energiaterokkuusinvestoinnit muuttumaan aiempaa kannattavammiksi. (Luonnonvarakeskus 2025)

### 4.1 Negawatt

Amory B. Lovins esitteli käsitteen negawatt vuonna 1985 ja sen perusajatukseksi on, että sähkön säästäminen voi monissa tapauksissa olla edullisempaa kuin lisäsähkön tuottaminen. Energiaterokkaamman laitteen säästämä sähkö voidaankin ajatella negawatteina. (Lovins 1985)

Vihreän vedyn tuotanto kuluttaa runsaasti sähköä, joka tekee negawattiajattelusta varsin relevantin tuotannon laajentuessa. Esimerkiksi vähemmän resistanssia aiheuttavat välikalvot alkalielektrolyysissä vähentävät sähkön kulutusta, jolloin sama vety voidaan tuottaa entistä vähäisemmällä sähkön kulutuksella. Investointi parempiin elektrolyysereihin tuottaa siis negawatteja.

Amory B. Lovins käyttää esimerkkiä, jossa 75 wattin hehkulamppu korvataan 18 wattin ledillä, jolloin 58 wattia sähköä jää kuluttamatta. Käyttämättä jääneen energian voidaan ajatella palautuvan muiden käytettäväksi sähköverkkoon. (Lovins 1985) Vetyteollisuuden mittakaavat ovat huomattavasti suurempia ja energiasäästöt voisivat vaikuttaa jopa siihen ettei jotakin tiettyä siirtolinjaa ole tarpeen rakentaa. Fingrid on vuoden 2025 alussa ilmoittanut ettei kantaverkkoon voida juuri nyt liittää teollisen mittaluokan kohteita, joista ei ole jo sovittu. Näin ollen energiatehokkuus investoinnit luovat arvoa koko yhteiskunnalle, kun kantaverkko kestää entistä useampia sähkön käyttäjiä. (Fingrid 2025)

## 4.2 Negafuel

Myös negafuel eli negapolttoaine on energian kysynnän vähentämistä kuvaava termi. Termi eroaa negawattista siten, että negapolttoaine on luonteeltaan laaja-alaisempi kattaen kaiken polttoaineen kuluttamisen. (Axon & Darton 2023, 3)

Negapolttoaine ajattelun pääkomponentit ovat laitteiden ja prosessien energiatehokkuuden kasvattaminen ja ihmisten käyttäytymisen muuttaminen. Näistä lähtökohdista pyrkimyksenä on tuottaa sama lopputulos pienemmällä polttoaineen kulutuksella, jolloin syntyy negapolttoainetta. (Axon & Darton 2023, 3)

Edellä esitettyä Amory B. Lovinsin lamppuesimerkkiä mukaillen voisi ajatella tilannetta, jossa vanha öljykattila kuluttaa 3000 litraa öljyä vuodessa omakotitalon lämmitykseen ja uusi kattila lämmittää saman talon 2400 litralla

vuodessa. Näin syntyy 600 litraa negaöljyä vuodessa ja tämä öljy jää vapaasti markkinoille muiden sitä tarvitsevien kulutettavaksi.

Negapolttoainetta voidaan nähdä syntyvän tilanteissa, joissa vedyn tuotantolaitoksen hukkalämpö valitaan lämmön lähteeksi eikä toiminnan tarvitsemaa lämpöä tuoteta jotakin polttoainetta kuluttamalla. Näin ollen hukkalämmön hyödyntämisellä ei säästetä vain hukkalämpöä hyödyntävän yrityksen resursseja vaan koko kansantalous saa etua siitä, että polttoaineen kysyntä laskee.

Vedyn tuotannon hukkalämpövirtojen hyödyntämisestä saavutettavan negapolttoaineen määrä riippuu sen käyttökohteesta. Liitteessä 1 esitetään visualisointi syntyvästä negapolttoaineesta, kun Kirransannan laitoksen hukkalämpöä hyödynnetään Porin kaukolämpöverkossa. Metodologisesti syntyvän negapolttoaineen määrän laskeminen toteutetaan tässä esimerkissä siten, että kohde on ilmoittanut arvion siitä, kuinka paljon sen tuottamasta hukkalämmöstä voidaan hyödyntää kaukolämmöksi. Näin ollen jatkossa tätä energiaa ei tarvitsisi tuottaa polttamalla. Pori Energian polttoainejakauman ja polttoainetehtäiden tehollisten lämpöarvojen avulla voidaan laskea arvio syntyvän negapolttoaineen määrästä. Vastaavasti mikäli hukkalämpöä käytettäisiin esimerkiksi sikalan lämmittämiseen siten, että sikalan öljyn kulutus laskisi neljästä tuhannesta litrasta tuhanteen litraan, olisi syntyvän negapolttoaineen määrä kolmetuhatta litraa eli hukkalämmön syrjäyttämä polttoaineen kulutus.

Vuonna 2023 Suomeen tuotiin Tilastokeskuksen mukaan 11 532,6 miljoonan euron arvosta energiaa ja vastaavana ajankohtana viennin arvo oli 6 585,7 miljoonaa euroa. Näin ollen Suomen energian nettotuonti oli 2023 noin 5 miljardia euroa. (Tilastokeskus 2025) Negapolttoaineen tuotannolla voidaan vähentää energian nettotuontia ja täten vahvistaa Suomen kauppatasetta ja energiaomavaraisuutta.

## 5 HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

Metodisesti ideat hukkalämmön hyödyntämiseksi on kerätty tutustumalla alan kirjallisuuteen etsien ratkaisuja, jossa lämpö on tuotettu hukka- tai aurinkolämmöllä. Lisäksi on suoritettu useita nauhoittamattomia taustakeskusteluja energia-alalla työskentelevien henkilöiden kanssa niin saunan lauteilla kuin kylpytynnyrissäkin. Kolmantena ideoimismenetelmänä on sovellettu keskustelua tekoälyn kanssa, jossa pääasiallisena työkaluna on käytetty OpenAI:n GPT 4.0.

Tuotantolaitoksen omien lämmön tarpeiden kattaminen eli esimerkiksi tilojen ja käyttöveden lämmittäminen ovat helpoimpia ja ilmeisimpiä tapoja hyödyntää prosessin hukkalämpöä. Nämä tarpeet kattavat hukkalämmön tuotannosta kuitenkin pääsääntöisesti todella pienen osuuden. Lopun hukkalämmön hyödyntäminen jaetaan tässä insinööriyössä kolmeen pääkategoriaan, joita ovat sähkön tuottaminen, kylmän tuottaminen lämmöstä ja lämmön hyödyntäminen sellaisenaan. Vedyn tuotannon hukkalämpövirrat ovat keskilämpöisiä ja tuotantomenetelmästä riippuen noin 70-80 asteisia.

Hukkalämmön hyödyntäminen on erityisen tärkeää myös ympäristön suojelemiseksi. Lämpösaasteella on haitallisia vaikutuksia etenkin vesistöille. Vesistöön päästetty hukkalämpö heikentää veden laatua edistämällä bakteerien lisääntymistä, levien kasvua ja alentamalla veden happipitoisuutta. Hukkalämmön tehokkaalle hyödyntämiselle on siis taloudellisten syiden ohella myös selkeät ympäristönsuojelulliset perusteet. (Keskitalo 2010)

### 5.1 Sähkön tuottaminen hukkalämmöstä

Hukkalämmön avulla voidaan tuottaa sähköä ainakin orgaanisen rakine kiertäen tai termoelektronisen generaattorin avulla. (Mäkelä 2024, 20) Hukkalämmön avulla tuotettu sähkö voidaan käyttää vedyn tuotantoon ja näin parantaa laitoksen kokonaishyötysuhdetta. Näiden prosessien hyötysuhteet ovat kuitenkin kohtuullisen vaatimattomia, joten emme tule tällä menetelmällä luoneeksi ikiliikkujaa.

Orgaanisessa rankine-kierrossa sähköä tuotetaan turbiinilla, jota pyöritetään höyryllä. (Mäkelä 2024, 20) Valittavan aineen tulee siis höyrystyä riittävän alhaisessa lämpötilassa, koska vedyn tuotannon hukkalämmöt ovat selvästi alle 100 asteisia. Mikäli sähkön tuotantoon käytettävän hukkalämpö olisi keskimäärin 80 °C ja kylmän puolen lämpötila keskimäärin 10 °C saataisiin hyötysuhteeksi alle 20 % mikäli kyseessä olisi optimaalisesti toimiva Carnot voimakone. Samalla lämpötilaerolla saadaan Rankine hyötysuhteeksi noin 10 %. Laskelmassa höyryn paineena on käytetty 0,4737 bar ja lauhteelle 0,01228 bar. Alhaiset paineet johtuvat siitä, että vettä ei saada 80 °C lämpötilassa höyrystymään normaalissa ilmakehän paineessa.

## 5.2 Kylmän tuottaminen hukkalämmöstä

Hukkalämmön avulla voidaan tuottaa myös kylmää absorptiolämpöpumpun avulla. Absorptiolämpöpumppu tarvitsee toimiakseen lämmön lähteen, jonka avulla kylmäaine saadaan höyrystymään ja irtoamaan absorberista. Vedyn tuotannon hukkalämpöä voitaisiin käyttää lämmön lähteenä ja täten tarjota edullista jäähdytystä. (Rautio 2022, 3)

Edullinen jäähdytys mahdollistaisi monenlaisen liiketoiminnan rakentumisen vedyn tuotannon lähistölle sen hukkalämpövirtoja hyödyntämään. Suurin vetovimatekijä tämä olisi niille yrityksille, joille jäähdytys on merkittävä kustannustekijä ja voisivat saada alallaan kilpailuetua edullisesta jäähdytyksestä.

Paljon kylmätilaa tarvitsevat varastot kuten elintarviketukkujen keskusvarastot voisivat olla erityisiä hyötyjiä vedyn tuotannon hukkalämmön tuottamasta mahdollisuudesta edulliseen jäähdytykseen. Esimerkiksi Vantaalla sijaitsevaa Suomen suurinta kylmävarastoa jäähdytetään jopa 13-14 MW jäähdytysteholla, joten säästöt energiakuluissa tuovat alalla selvää kilpailuetua. (KylmäExtra 2023)

Jopa jäähallin sijoittaminen vedyn tuotannon läheisyyteen voisi olla perusteltua, koska jäähdytyksen vaatima energiantarve on merkittävä. Porin Ässien Astora-areenan sähkön kulutus on kuukausittain 50-90 MWh ja vain kesäisin on lyhyt tauko, jonka aikana jää sulatetaan. (Kallioniemi 2022) Näin ollen vedyn tuotantolaitoksen läheisyys voisi tarjota hyvät edellytykset jäähallin ylläpitokustannuksien alentamiseen ja vedyn tuottaja voisi saada symbioosista merkittäviä tiedotus- ja suhdetoiminnallisia hyötyjä.

Kolmantena erityisenä nostona edullisen jäähdytyksen tarjoamista mahdollisuuksista on arkistointi ja huoltovarmuusvarastot. Dokumentaatio, geenipankki ja museoidut esineet voidaan säiliö niille optimaalisiin varastointilämpötiloihin edullisesti. Näin arvokas kulttuuriperintö on turvattu vanhenemiselta ja Satakunnan läntinen sijainti tuo varastoille turvaa kriisitilanteessa. Hyvät logistiset yhteydet takaavat myös sen, että varastot voidaan tarvittaessa kuljettaa meren yli länteen etäämmälle konfliktista.

### 5.3 Hukkalämmön hyödyntäminen

Lämpöenergia on tehokkainta kuluttaa lämpönä sen muotoa muuttamatta ja siksi olisikin parasta löytää hukkalämmölle sellaisia käyttökohteita, joissa sitä voitaisiin hyödyntää lämmittämiseen. Kuten aiemmin todettua, vedyn tuotannon hukkalämpövirrat ovat keskilämpöisiä ja tuotantomenetelmästä riippuen noin 70-80 asteisia. Tämä asettaa tiettyjä rajoitteita hukkalämmön hyödyntämiselle, koska ei ole energiatehokkuuden kannalta mielekästä tehdä suuria korotuksia lämpötilaan.

Kaukolämpö on ilmeisin tapa hyödyntää hukkalämpöä. Aiemmin esitettyssä taulukossa 1 kuvattiin Kirrinsantaan suunnitellun laitoksen parametrejä. Kirrinsannassa lämpötehosta vain 35 % voitaisiin Porin kaukolämpöverkossa. Käytännössä siis edelleen kaksi kolmannesta tuotetusta lämmöstä olisi menossa hukkaan. Yhden laitoksen perusteella ei voida tehdä koko toimialaa koskevia yleistyksiä, mutta on selvää ettei kaukolämpöä voida pitää kaikkien laitosten hukkalämpöongelmaa ratkaisevana hopealuotina. Etenkin vedyn

tuotantolaitoksien määrän kasvaessa ei kaikkea hukkalämpöä voida hyödyntää kaukolämpöverkoissa, vaan on kehitettävä vaihtoehtoisia ratkaisuja.

Kasvihuoneiden kokonaisenergiankulutus oli Suomessa 1706 GWh vuonna 2021 ja 1604 GWh vuonna 2017. (Luonnonvarakeskus 2022) Kauppapuutarhaliiton mukaan kasvihuoneiden kokonaisenergiankulutuksesta 67 % muodostuu lämmitykseen käytetystä energiasta ja lämmitys toteutetaan useimmin metsähaketta polttamalla. (Kauppapuutarhaliitto 2022) Pertti Luukkaisen mukaan 47 % kasvihuoneiden kokonaiskustannuksista muodostui energian käytöstä vuonna 2014. Tuolloin vielä merkittävä osa Suomen kasvihuoneista lämmitettiin öljyllä ja Luukkainen piti edullisempaan kotimaiseen energiaan siirtymistä tärkeänä kilpailukykyä edistävänä tekijä. (Luukkainen 2014, 26–27) Ruotsin Bodenissa 300 neliömetrin kasvihuone pystytään lämmittämään datakeskuksen tuottamalla noin puolen megawatin hukkalämpöteholla jopa  $-30\text{ °C}$  ulkolämpötilaan asti. (Systemair 2022) Näin ollen voidaan todeta, että kasvihuoneen sijoittaminen hukkalämpövirtojen läheisyyteen olisi perusteltua. Sijainti edullisen lämmönlähteen ulottuvilla tarjoaisi kasvihuoneen omistajalle merkittävää kilpailukykyä suhteessa sellaisiin kilpailijoihin, jotka joutuvat maksamaan lämmityksestään täyden hinnan.

Uimahallit ja kylpylät tarvitsevat alaidensa lämmittämiseen runsaasti lämpöä. Barcelonalaisessa esimerkkitapauksessa simuloitiin datakeskuksen ja uimahallin välistä lämpökauppaa. Tapauksessa investointi tuotti datakeskukselle 330 000 euron nettonykyarvon viidessätoista vuodessa. Uimahallin lämmityskustannukset puolestaan laskivat 18 % ja lämmityksen hiilijalanjälki laski alle puoleen. Uimahallin ja hukkalämmön tuottajan välinen symbioosi osoittautui ainakin tässä esimerkkitapauksessa kannattavaksi kummallekin osapuolelle. (Oró ym. 2018, s. 185–203)

Panimon prosessit kyetään toteuttamaan  $40\text{--}90\text{ °C}$  lämpötila-alueella eli vedyn tuotannon hukkalämpövirrat sopivat panimoteollisuuden tarpeisiin. Saksalainen Hütt-Brauerei investoi aurinkolämpöön ja kattoi näin kolmanneksen kokonaislämmönkulutuksestaan. (Joint Research Centre 2010) Vastaava voitaisiin

toteuttaa myös vedyn tuotannon hukkalämpövirtojen avulla, koska molemmilla menetelmillä saavutetaan sama lämpötila-alue.

Norjalainen Hima Seafood toimii esimerkkitapauksena siitä miten hukkalämpöä on hyödynnetty kalan kasvatuksessa. Maailman suurin maalla sijaitseva lohien kasvattamo hyödyntää alle kilometrin päässä sijaitsevan datakeskuksen hukkalämpövirtoja alaidensa lämmittämiseen. Yhteistyö on ollut kummallekin osapuolelle kannattavaa. (Green Mountain 2021)

Näiden ohella on lukematon määrä muita toimialoja, jotka voisivat hyötyä edullisesta lämmön lähteestä. Lämmön tulisi olla merkittävässä roolissa tuotannon kustannusrakenteessa, jotta se olisi selkeä peruste määrittäessä sijaintia yrityksen toimipisteelle. Edellä mainittujen ohella hukkalämpöä voisi mahdollisesti hyödyntää kuivatus prosesseissa, pesuloissa, pastöroinnissa, mädätyksessä, viljelyssä, eläinten kasvatuksessa tai ne voitaisiin johtaa pieneen tekojärveen, jota käytettäisiin ympärivuotisesti sulana talviuintipaikkana. Sillä voitaisiin pitää sulana myös esimerkiksi lentokoneiden hätälaskupaikkaa, kilpa-autoilurataa, lenkipolkua tai urheilukenttää. Sulana pito mahdollistaisi kansanterveyden kannalta merkityksellisen harrastustoiminnan talvellakin ja olisi sen myötä parempi ratkaisu kuin lämmön johtaminen vesistöön.

## 6 HAASTEET

Viidennessä luvussa esitettyjen ehdotuksien toteuttamista harkitessa on otettava huomioon myös maantieteelliset realiteetit eli onko sijoittuminen laitoksen läheisyyteen tosiasiaa mahdollista. Olemassa olevia rakennusten purkaminen tai maaston muovaaminen voivat nostaa kustannuksia merkittävästi ja kääntää investoinnin kannattamattomaksi. Myös etäisyys maksaa eli on rakennettava pidempi ja kalliimpi siirtolinja mikäli hukkalämmön hyödyntäjä on kaukana sen syntylähteestä.

Energiateollisuus on tilastoinut kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannuksia vuonna 2023. Putkikoon ollessa välillä DN 20-60 on linjan rakentaminen maksanut keskimäärin 368 euroa metriltä. DN 80-150 kokoluokan linjat ovat maksaneet keskimäärin 479 euroa metriltä. DN 200-250 koon linjat ovat keskimäärin 982 euroa metriltä. (Energiateollisuus ry 2024, 8)

Mikäli hukkalämpöä siirrettäessä vedelle oletetaan 50 K jäähtymä, niin vettä tulee virrata noin 17 kg jokaista siirrettyä kilowattituntia kohden. Mikäli lämpöä haluttaisiin siirtää 300 GWh vaatisi tämä yli viiden miljoonan kuution vesimäärän siirtämistä vuodessa. Jaettaessa tämä vuoden sekuntien määrällä saadaan tulokseksi hieman reilu 160 litraa sekunnissa. Mikäli virtausnopeus säädetään kolmeen metriin sekunnissa, saadaan tulokseksi, että järkevä putkikoko olisi DN 300. DN 300-400 koon linjalle edellä mainittu Energiateollisuuden tilasto antoi keskimääräiseksi kustannukseksi 1291 euroa metriltä.

Hukkalämmöstä saatava taloudellinen hyöty on tapauskohtaista. Mikäli oletetaan hukkalämmöstä saatava hyöty esimerkiksi kahteen senttiin kilowattitunnilta, saadaan 300 GWh hukkalämmölle arvoksi 6 miljoonaa euroa vuodessa. Tämä tarkoittaa, että kilometrin siirtolinja maksaa itsensä takaisin noin kolmessa kuukaudessa, vaikka linjassa tapahtuisi merkittäviäkin lämpöhäviöitä. Tämä takaisinmaksuaika sisältää vain siirtolinjan ja rinnalle tarvitaan vielä tapauskohtaisesti muuta laitteistoa, kuten pumppuja ja lämmönsiirtimiä. Lämmön hyödyntäminen saattaa edellyttää myös esimerkiksi lämpöakun puskuriksi tasoittamaan mahdollisia vaihteluita.

Kuvassa 4 on havainnollistettu Harjavallan laitos kartalla. Sinisen ympyrän säde on yksi kilometri ja oranssin ympyrän säde kaksi kilometriä. Karttakuvan perusteella alueella on runsaasti viljelysmaata ja metsää, jotka voisivat tarjota mahdollisuuksia hukkalämpöä hyödyntävän laitoksen rakentamiselle.



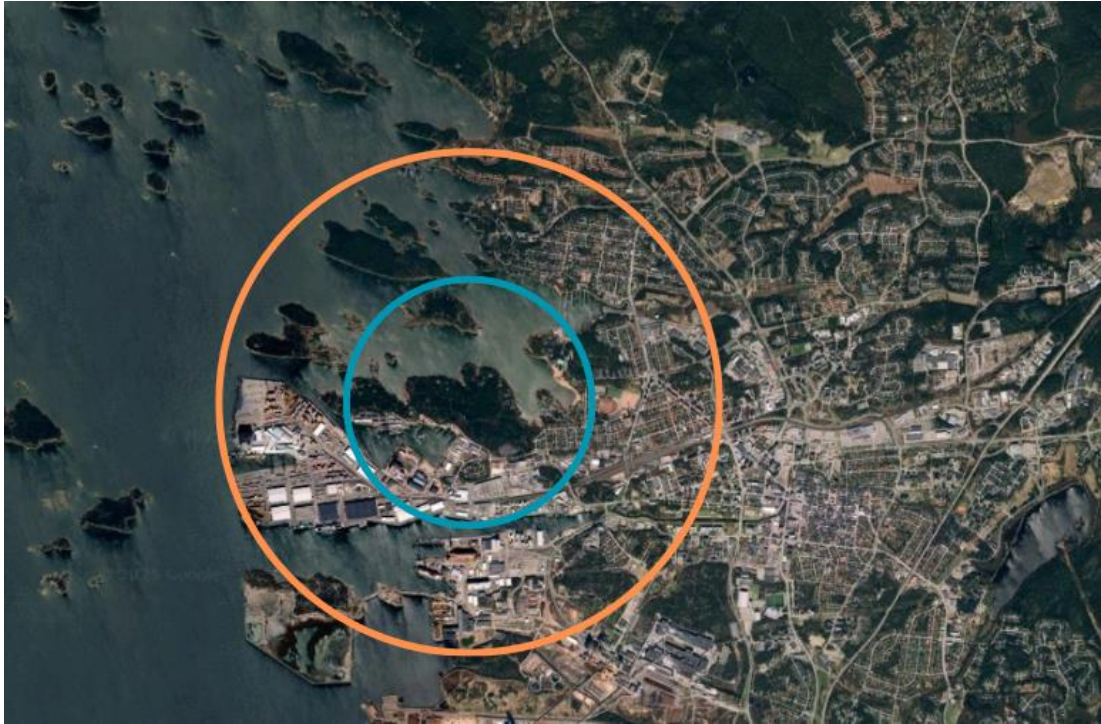
Kuva 4 Harjavalan laitos (Google Maps 2025)

Kuvassa 5 on havainnollistettu Kirrinsannan laitos kartalla. Sinisen ympyrän säde on yksi kilometri ja oranssin ympyrän säde kaksi kilometriä. Alueella voisi karttakuvan perusteella olla mahdollisuuksia sijoittaa hukkalämpöä hyödyntävää liiketoimintaa kohtuullisen etäisyyden päähän laitoksesta.



Kuva 5 Kirrinsannan laitos (Google Maps 2025)

Kuvassa 6 Rauman satamaan sijoitettava lentopolttoainetehtaan sijainti kartalla. Tehtaan kartalle sijoittamiseen julkisten lähteiden perusteella liittyy enemmän epävarmuuksia kuin kuvien 4 ja 5 osalta. Kuvasta on kuitenkin pääteltävissä, että hukkalämpöä hyödyntävän laitoksen on huomattavasti vaikeampaa sijoittautua tehtaan välittömään läheisyyteen tai tämä edellyttäisi muutoksia jo rakennetussa ympäristössä. Sijainti tarjoaa kuitenkin myös mahdollisuuksia. Haitallisuudesta huolimatta myös lämmön johtaminen vesistöön on perusteltua, koska veden sulana pitäminen on satamalle eduksi.



Kuva 6 Rauman lentopolttoainetehdas (Google Maps 2025)

Green North Energyn Porin laitoksen sijainnista ei ollut kirjoitushetkellä saatavissa riittävästi julkista tietoa. Hankkeen kartalle sijoitusta ei toteutettu.

Sijainnin ja sitä kautta etäisyydestä syntyvien kustannuksien ohella hyödynnettävyyden haasteeksi voi muodostua se, että hukkalämmön tuottajalle hyödyntämisestä syntyvä hyöty jää pieneksi suhteessa toiminnan kokonaisuuteen. Hankebudjettien ollessa tiukkoja voidaan joutua tekemään panostuksien suhteen valintoja. Tällöin usein Pareton periaatteen mukaisesti karsitaan suuresta joukosta vähemmän merkityksellisiä asioita ja keskitytään kaikkein merkittävimpiin.

## 7 POHDINTA

Paine nykyisin hukkaan menevien lämpövirtojen hyödyntämiselle on alati kasvava ja ratkaisuja olisi syytä löytää ennen kuin liiallinen lämpösaaste muodostuu ongelmaksi. Tässä insinööriyössä tunnistettiin useita mahdollisia

vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi, mutta tilaa jatkotutkimukselle jäi vielä runsaasti. Jatkotutkimusta voitaisiin suorittaa ainakin simulaatioiden muodossa tarkastelemalla taloudellisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia, kun jonkin tietyn laitoksen yhteyteen rakennettaisiin esimerkiksi kylpylä tai kasvihuone.

Liitteessä 1 esitetään Vertex G4 Plant -laitossuunnitteluohjelmistolla toteutettu visualisointi Kirrinsannan vuosittain tuottamista negapolttoaineista, kun suunniteltu osuus hukkalämmöstä käytetään kaukolämpönä. Tämä säästetty polttoaine ei ole mistään pois, koska sama lämpö saadaan jatkossa aikaan hukkalämpöä hyödyntämällä ja polttoaine voidaan käyttää johonkin muuhun. Hukkalämmön hyödyntämisessä parasta onkin se, että euroja ja energiaa voidaan säästää lopputuloksesta tinkimättä.

Tulevaisuudessa olisi perusteltua luoda lisää kannustimia hukkalämmön hyödyntämiselle. Hukkalämmön hyödyntämisestä saatavat taloudelliset hyödyt eivät aina riitä kattamaan vaadittuja investointeja ja julkinen tuki on perusteltua, koska luontoon päästetyn lämpösaasteen negatiiviset ulkoisvaikutukset lankeavat kaikkien maksettavaksi. Myös talouskasvun mittareita on tarvetta kehittää, koska nykyisellään negapolttoaineita tuottavat ratkaisut lisäävät hyvinvointia, mutta vähentävät bruttokansantuotetta.

Vihreän vedyn tuotanto tulee jatkossa lisääntymään ja siksi myös sen tuotannosta syntyy entistä enemmän hukkalämpöä. Vetytalouden kehittyminen voidaan nähdä varsin positiivisena kehityssuuntana, mutta siitä aiheutuviin haasteisiin tulee kyetä vastaamaan ennen kuin ongelmat eskaloituvat.

## 8 YHTEENVETO

Satakunnassa on neljä julkaistua vedyn tuotantolaitosta, joista yksi on jo toiminnassa. Karttakuvien perusteella ainakin kahden läheisyyteen on

mahdollista rakentaa hukkalämpöä hyödyntävä laitos. Hukkalämmön tuottajan ja kuluttajan olisi hyvä sijaita lähellä toisiaan, jotta lämpöhäviöt ja linjan rakentamiskustannukset pysyvät kohtuullisina.

Vedyn tuotannossa syntyvä hukkalämpö on 70-80 °C eli keskilämpöistä. Verrattain matala lämpötila aiheuttaa haasteita hyödyntämiselle, mutta kaukolämmön lisäksi ainakin kylpylät, kasvihuoneet, panimot ja kalankasvattamot voisivat olla potentiaalisia asiakkaita syntyvälle hukkalämmölle. Lämmöstä voidaan tuottaa myös sähköä tai kylmää, jolloin potentiaalinen asiakaskunta laajenee.

Hukkalämmön hyödyntäminen on monissa tilanteissa taloudellisesti kannattavaa, mutta sitä puoltavat myös luonnonsuojelulliset syyt. Kun hukkalämmön hyödyntäminen syrjäyttää muuta lämmön tuotantoa syntyy negawatteja tai negapolttoainetta. Hukkalämmön hyödyntämistä voidaankin pitää yhtenä parhaista tavoista energian säästämiseen.

## LÄHTEET

Axon, C. J. & Darton, R. C. 2023. Energy Demand Reduction: supply chains and risk analysis. *Energy Efficiency*, 16(6), artikkeli 65.

Energiäteollisuus ry. 2024. Kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2023. Julkaistu 11.12.2024, Helsinki.

European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2025). European Aviation Environmental Report 2025.

Fingrid. 2025. Sähkönkulutuksen liitettävyyks kantaverkkoon väliaikaisesti tiukilla eteläisessä Suomessa. Julkaistu 21.1.2025. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2025/sahkonkulutuksen-liitettavyyks-kantaverkkoon-valiaikaisesti-tiukilla-etelaisessa-suomessa/>

Fortum Oyj. (2024, 8. lokakuuta). Fortum ja Norsk e-Fuel yhteistyöhön Raumalla. Fortum Oyj. Haettu 20.7.2025 osoitteesta <https://www.fortum.com/fi/media/2024/10/fortum-ja-norsk-e-fuel-yhteistyohon-raumalla>

Google Maps. 2025. Karttakuva. Haettu 28.07.2025 osoitteesta <https://www.google.com/maps>

Green Mountain. 2021. Land-based trout farm will use data center waste heat. Julkaistu 28.6.2021. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://greenmountain.no/land-based-trout-farm-will-use-data-center-waste-heat/>

Green North Energy Oy. (2024). Ympäristövaikutusten arviointiselostus: Synteettisten polttoaineiden tuotantolaitos, Naantali.

Joint Research Centre. 2010. Hütt Brewery – Green Best Practice. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://greenbestpractice.jrc.ec.europa.eu/node/352>

Kallioniemi, Esko. 2022. Jäähalli kuluttaa kuukaudessa lähes sen, mitä hiihtokeskus vuodessa. Satakunnan Kansa, 31.8.2022. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://www.satakunnankansa.fi/urheilu/art-2000009027421.html>

Kauppapuutarhaliitto. 2022. Kasvihuonealan ilmastovaikutus laskenut 60 prosenttia. Julkaistu 25.11.2022. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://kauppapuutarhaliitto.fi/kasvihuonealan-ilmastovaikutus-laskenut-60-prosenttia/>

Keskitalo, Jorma. 2010. Ydinvoimaloiden hukkalämpö rehevöittää merta. Helsingin Sanomat, 18.5.2010.

KylmäExtra. 2023. Kymmenen jalkapallokentän kokoinen pakkasvarasto. Teemat, KylmäExtra 1/2023, 28.4.2023. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://kylmaextra.fi/teemat/kymmenen-jalkapallokentan-kokoinen-pakkasvarasto/>

Lovins, Amory B. 1985. Saving Gigabucks with Negawatts. Public Utilities Fortnightly, 21 March 1985. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://www.fortnightly.com/fortnightly/1985/03/saving-gigabucks-negawatts-1985>

Luhtanen, M. & Vuorela, J. (2023). Satakunnan kaasu- ja vetytaloussuunnitelma 2030 [PowerPoint-esitys]. Prizztech Oy.

Lukkainen, Pertti. 2014. Resurssien allokointi: Pääoma, työ, materiaalit. Puutarha-Sanomat, 1/2014, s. 26–27. Puutarha-Sanomat PS Oy.

Luonnonvarakeskus. 2022. Puutarhatilastot 2021: Kasvihuoneyritysten energiankulutus. Julkaistu 15.3.2022. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puutarhatilastot/puutarhatilastot-2021-kasvihuoneyritysten-energiankulutus>

Luonnonvarakeskus. 2025. Teollisuuspuun kauppa 2024. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/tilastot/teollisuuspuun-kauppa/teollisuuspuun-kauppa-2024>

Mäkelä, Ville. 2024. ORC-järjestelmän mitoittaminen hakelämmitysjärjestelmään. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Nordic Ren-Gas Oy. (2024). Ympäristövaikutusten arviointiohjelma: E-metainnintuotantolaitos, Pori.

Norsk e Fuel. (2025). Technology [Verkkosivu]. Haettu 20.07.2025 osoitteesta <https://www.norsk-e-fuel.com/technology>

Oró, Eduard, Allepuz, Ricard, Martorell, Ingrid & Salom, Jaume. 2018. Design and economic analysis of liquid cooled data centres for waste heat recovery: A case study for an indoor swimming pool. *Sustainable Cities and Society*, 36, s. 185–203. DOI: 10.1016/j.scs.2017.10.012.

P2X Solutions. (2024, 6. syyskuuta). P2X Solutions käynnisti Harjavallan laitoksen vihreän vedyn kaupallisen toiminnan ensimmäisenä Suomessa. Haettu 20.07.2025 osoitteesta <https://p2x.fi/p2x-solutions-kaynnisti-harjavallan-laitoksen-vihrean-vedyn-kaupallisen-toiminnan-ensimmaisena-suomessa/>

P2X Solutions. (2023, 1. kesäkuuta). P2X Solutionsin Harjavallan vetylaitos saavutti harjakorkeutensa. Haettu 20.07.2025 osoitteesta <https://p2x.fi/p2x-solutionsin-harjavallan-vetylaitos-saavutti-harjakorkeutensa/>

Pihlainen, I., Hietaniemi, J., & Mussalo, J. (2020). Teknologiaselvitys: Hukkalämmöstä hyötyenergiaa. Prizztech Oy.

Rautio, Henna. 2020. Absorptiolämpöpumppu lämmöntalteenotossa. Tampereen yliopisto. Kandidaatintyö.

Ren-Gas Oy. (2025). Home – Ren-Gas develops and delivers sustainable energy projects [Verkkosivu]. [www.ren-gas.com](http://www.ren-gas.com)

Spoof-Tuomi, K. 2024. Vihreän vedyn tuotanto – Raaka-aineet ja tuotantomenetelmät. Vaasan yliopisto.

Sunfire & P2X Solutions. (2025). P2X Solutions – Finland's First Large-Scale Green Hydrogen Plant. Sunfire. Haettu 20.07.2025 osoitteesta <https://sunfire.de/en/cases/p2x-solutions-finlands-first-large-scale-green-hydrogen-plant/>

Systemair. 2022. Boden Greenhouse, Sweden. Haettu 21.7.2025 osoitteesta <https://www.systemair.com/fi-fi/asiantuntemus/referensseja-maailmalta/boden-greenhouse-ruotsi/>

Tanskanen, J., Siljamäki, E. & Syväkuru, E. (2024, 26. maaliskuuta). Suomeen suunnitteilla jättimäinen vetyinvestointi – lopettaisi kokonaan ammoniakkin tuonnin Venäjältä. Yle. Haettu 20.07.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20080945>

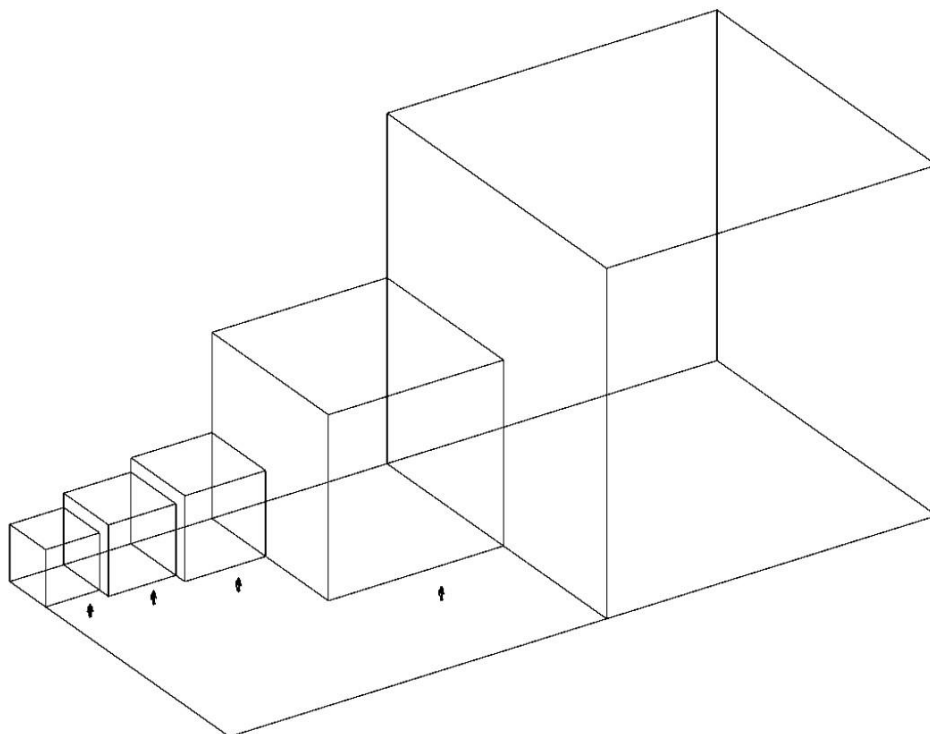
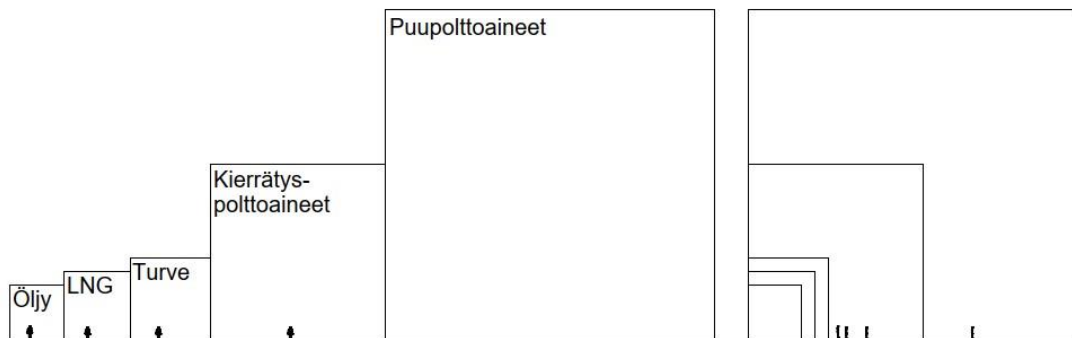
Tilastokeskus. 2025. StatFin-taulukko: EHK, energian hankinta ja kulutus. Haettu 21.7.2025 osoitteesta [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ehk/statfin\\_ehk\\_pxt\\_13j9.px/table/tableViewLayout1/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_13j9.px/table/tableViewLayout1/)

Varsinais-Suomen ELY-keskus. (2021, 1. joulukuuta). P2X Solutions Oy, vihreän vedyn tuotantolaitos, Harjavalta [YVA-päätösasiakirja].

## LIITE 1: KIRRINSANNAN LAITOKSEN TUOTTAMAN NEGAPOLTTOAINEEN VISUALISOINTI

Kirransannan laitoksen hukkalämmöstä 350 GWh voidaan hyödyntää Porin kaukolämpöverkossa. Tämän hukkalämmön hyödyntämisen vuosittain tuottama negapolttotoinne visualisoituna kahdesta projektiosta ja rautalankamallina.

Polttotoinne	Osuus Porin kaukolämmön tuotannossa (2024)	Negapolttotoinne kiloina (kg)	Negapolttotoinne kuutioina (m <sup>3</sup> )
Puupolttotoinneet	83,5 %	56 215 385	118 348
Kierrätyspolttotoinneet	4,2 %	3 593 902	17 114
Turve	1,0 %	621 552	1 823
LNG	1,4 %	369 231	877
Öljy	1,4 %	409 322	484



## LIITE 2: OPPIMISEN ITSEREFLEKTIO JA EETTISTEN SUOSITUSTEN NOUDATTAMINEN

Kiitettävältä opinnäytetyöltä edellytetään, että opiskelijalla on kyky arvioida realistisesti osaamisensa kehittymistä ja työnsä laatua. Opiskelijan tulee myös noudattaa eettisiä suosituksia ja pohtia niiden toteutumista monipuolisesti. Tässä työssä näiden kyvykkyyksien esiin tuomisen kanavaksi on valittu erillinen liite. Valittuun ratkaisuun on päädytty paremman rakenteen ja luettavuuden saavuttamiseksi.

Tavoitteet oli projektin alussa asetettu laadun ja aikataulun osalta hyvin kunnianhimoisiksi. Helmikuussa aloitettu opinnäytetyö oli tarkoitus saattaa loppuun huhtikuun alkuun mennessä, mutta palkkatyö vei odotettua enemmän aikaa. Myöskään työn lopputulos ei vastaa toivottua laatua, mutta prosessi on myös opettanut työelämän kannalta tärkeän opin siitä, että joskus projektit on vain saatettava loppuun. Olisi varsin mielekästä työskennellä kiinnostavan aiheen parissa pitkään ja hartaudella, mutta joskus laadusta on tingittävä ja tyydyttävä riittävän hyvään lopputulokseen.

Eettisten suositusten osalta voidaan todeta kaiken työssä esiintyvän olevan kirjoittajan omaa tuotosta. Tekoälyllä oli työn tuottamisessa rooli keskustelukumppanina hukkalämmön hyödyntämiseksi luomisessa ja lähteiden hakukoneena. Tieteellisten artikkeleiden etsinnässä on myös hyödynnetty NotebookLM -tekoälyn kykyä referoida artikkelin ydinpointit. Tämä nosti tehokkuutta valtavasti, koska tiivistelmän avulla oli mahdollista tehdä nopeita päätöksiä siitä kannattaako artikkeliin tutustua tarkemmin vai ei. Näin oli mahdollista panostaa ajalliset resurssit niihin artikkeleihin, joiden lukemisesta oli eniten hyötyä. Tekoälytaitojen kehittyminen on tunnistettavissa merkittäväksi kyvykkyydeksi työelämässä.

Insinööriyön tuottaminen on ollut silmiä avaava kokemus. Varmasti hyvin harva energiatekniikan insinööri ymmärtää kuinka merkittävä asia hukkalämpö on ja kuinka paljon mahdollisuuksia sen hyödyntäminen voi tarjota.

Insinööriyön tekeminen paikkasi myös merkittävän puutteen lämpöpumppuihin liittyvässä osaamisessa. Ymmärrys absorptiolämpöpumpun toimintaperiaatteista oli jäänyt tutkinto-ohjelman aikana vajaaksi, mutta puutteet tällä osa-alueella on tämän prosessin myötä korjattu.

Keskeisimpänä oppina insinööriyön tekemisestä jäivät mieleen paremmat valmiudet tyytyä riittävän hyvään lopputulokseen pyrkimättä täydellisyyteen, paineensietokyvyn kehittyminen ja kehittyneet valmiudet tunnistaa oman jaksamisen rajoja. Nämä valmiudet ovat varmasti tarpeellisia erilaisissa suunnitteluprojekteissa, urakoitsijana tai myynti-insinöörin tehtävissä.