



# LAND OF THE CURIOUS



1.2.2023 - 31.12.2023

# VETYÄ, VIRTAA KAAKKOON -SEMINAARI

”Vedyn tuotanto ja käsittely mikro- ja makrotasoilla”

Kestävää kasvua ja työtä

Suomen rakennerahasto-ohjelma

REACT-EU (rahoitetaan osana Euroopan unionin covid-19-pandemian johdosta toteuttamia toimia)

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto



KYMEN  
LAAKSON  
LIITTO

# YLEISKATSAUS PROJEKTIKOKONAISUUTEEN

## LUT/LAB KONTRIBUUTIO

### Vetyä, Virtaa Kaakkoon – Mallinnuksesta markkinoille

- » TP1 Energiajärjestelmän ja -markkinan mallinnus (LUT)
  - Behnam Ivatloo
  - Hannu Karjunen
  - Samuli Honkapuro
- » TP2 Verkostoituminen (LUT)
  - Samuli Honkapuro
  - Petteri Laaksonen
- » TP3 Vedyn valmistus ja varastointi (LUT)
  - Mikael Ollikainen
  - Katja Hynynen
  - Muhammad Asim Sarwar
  - Teemu Turunen-Saaresti
  - Tero Tynjälä
- » TP4 Bio-CO<sub>2</sub>:n hyödyntäminen uuden ja uusiutuvan energiantuotannon optimoinnissa (LAB)
- » TP5 Koulutustarpeen kartoitus ja kansainväliset yhteistyörajapinnat (LAB)
  - Ismo Nieminen
  - Antti Kapanen
  - Juha Poskela

### Vetyä, Virtaa Kaakkoon

- » TP 1 Tuuli, aurinko ja sähköinfra
  - Jukka Lassila
  - Otto-Eeti Räisänen
  - Hannu Karjunen
- » TP 2 Vetyturvallisuus ja -kestävyys
  - Risto Soukka
  - Rami Alfasfos
- » TP 3 Kuljetus ja laitosten sijoittaminen
  - Satu Lipiäinen
  - Esa Vakkilainen

### Vetyä, Virtaa Kaakkoon – hukkalämmön hyödyntämispotentiaali

- Jaakko Hyypiä
- Eero Inkeri
- Tero Tynjälä

# 1) ENERGIAJÄRJESTELMÄN JA -MARKKINAN MALLINNUKSEEN

- Työpaketin tavoitteena oli muodostaa kuvaus integroidun energiajärjestelmän mallinnuksen tarpeista ja saatavilla olevien mallinnustyökalujen nykytilasta
- Tämä toteutettiin laajana kirjallisuuskatsauksena, jossa käytiin läpi yli 300 tieteellistä artikkelia
- Mallinnustyökalujen arvioinnille määriteltiin kriteerit (asiantuntijatyöpajassa), joita ovat mm.
  - Aikaresoluutio, maantieteellinen resoluutio, mallinnukseen sisältyvät energiamuodot sekä tulosten tieteellisyys (julkaisuiden määrä)
- Tutkimuksessa tunnistettiin yli 100 mallinnusjärjestelmää.
- Yksikään nykyisistä järjestelmistä ei täytä kaikkia asetettuja kriteereitä, mutta LUT Energy System Transition Model (LUT-ESTM) todettiin parhaaksi lähtökohdaksi jatkokehitykseen.
- Tulosten perusteella LUT-ESTM mallia voidaan jatkokehittää vastaamaan esitettyjä kriteereitä avoimesta integroidun energiajärjestelmän mallinnuksen työkalusta

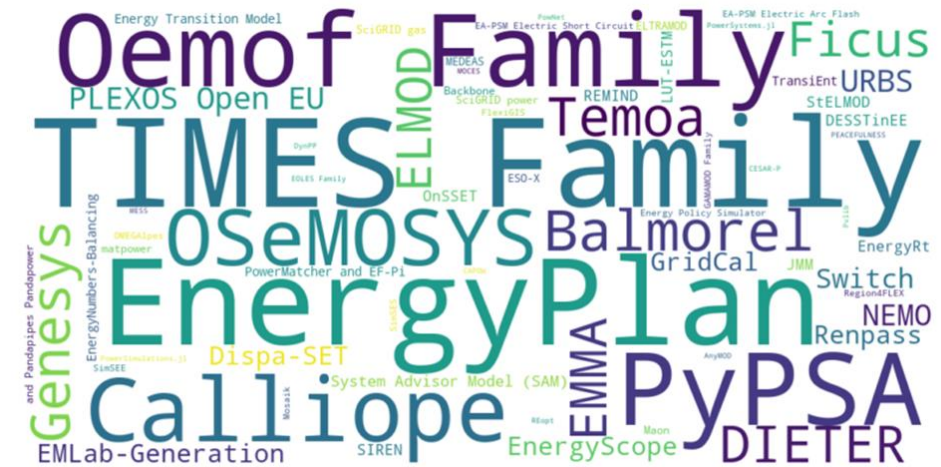


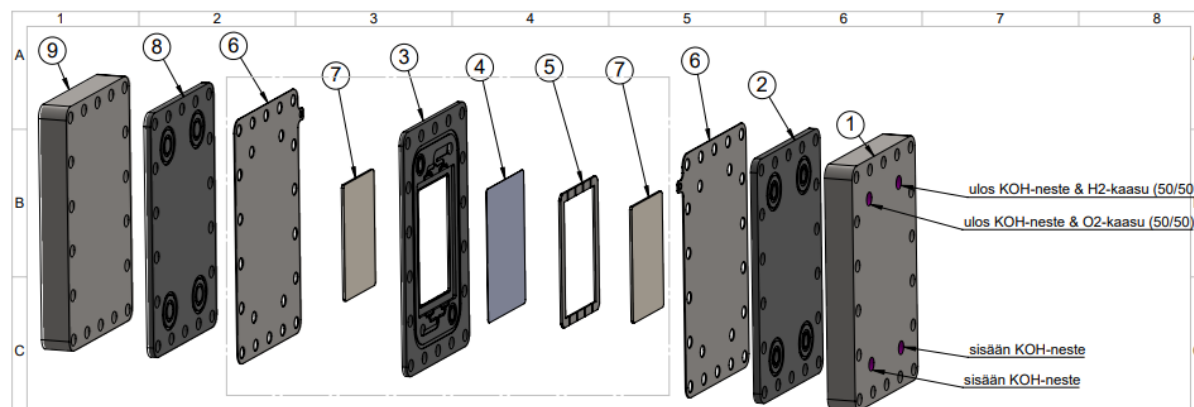
Fig 1: Reviewed energy models

## 2) VERKOSTOITUMINEN

- Tässä toimenpiteessä rakennetaan ekosysteemiä, joka on relevantti jatkotyölle
- Toimenpiteeseen sisältyi merkittävä määrä tapaamisia sidosryhmien, kuten yritysten ja tutkijoiden kanssa
- Erityisen tärkeäksi on tunnistettu yhteistyö EERA (European Energy Research Alliance) – verkostossa. Tähän liittyen osallistuimme EERA:n järjestämiin tapaamisiin Brysselissä kesäkuussa 2023
  - EERA-ESI TradeRES workshop (28.6.2023)
  - Energy Systems Integration Conference: Research meets policy (29.6.2023)
- Lisäksi toimenpiteeseen on liittynyt prof. Samuli Honkapuron tutkijavierailu Politecnico di Milanossa 24.10. – 9.12.2023
  - Tämän vierailun keskeinen sisältö liittyy agent-based modelling –perusteiseen kulutuksen mallinnukseen
- Projektin aikana on keskusteltu yhteistyöstä useiden toimijoiden kanssa, kuten
  - Imatran seudun sähkö, KSS energia, Kesko, Granlund, Wärtsilä, Helen Sähköverkko, jne.
- Jatkotoimenpiteinä on syntymässä Horizon Europe hakukonsortioita

# 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

- Elektrolyserikennosto rakentuu useiden kennojen "pinoista"
- Yksittäinen kenno koostuu puolestaan useista eri rakenneosista
- Rakenneosien tiivistäminen ja kennoston tiiviinä pitäminen ovat keskeisiä asioita kennoston toiminnan kannalta
- Sarjavalmistuksen ja automaattisen kokoonpanon kannalta on tarpeen päästä eroon yksittäisistä erillisistä tiivisteistä
- Pääpaino tutkimuksessa onkin ollut tiivisteiden integrointi kennojen rakenneosiin



Kuvan kokoonpanossa on esitetty yksi kenno (=kanavalevy+kalvo+kehys+2 kpl nikkelivaahtoja+2 kpl elektrodilevyjä)

Kennojen määrä kasvatettaessa lisätään katkoviivalla piirretyn nelion sisään jäävä kokoonpano osien 8 & 6 väliin.

Tavoitteena tehdä yksien päätylevyjen väliin noin 50 kpl kennoja, eli reilu 300mm paksu kennosto. Näitä kennostoja on tarkoitus tehdä 10 kpl.

Kuvasta puuttuu tiivisteet, kiinnikkeet ja jouset.

Osia voidaan muokata tarvittaessa reilustikin tiivisteiden ehdoilla.

Puristusvoima tällä hetkellä luokkaa 6700 N. Edetään kuitenkin siten, että säädetään puristus tiivisteiden mukaan sopivaksi eikä toisinpäin.

| ITEM NO. | PART NUMBER            | QTY. | Material                 |
|----------|------------------------|------|--------------------------|
| 1        | V108398-Päätylevy      | 1    | 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) |
| 2        | V108399-Eristelevy     | 1    | PP Copolymer             |
| 3        | V108549-Kanavalevy V10 | 1    | PP Copolymer             |
| 4        | V108575-Kalvo          | 1    | Zirfon                   |
| 5        | V108561-Kehys          | 1    | 1.4301 (X5CrNi18-10)     |
| 6        | V108400-Elektrodilevy  | 2    | 1.4307 (X2CrNi18-9)      |
| 7        | V108500-Nikkelivaahto  | 2    | Nickel                   |
| 8        | V108489-Eristelevy     | 1    | PP Copolymer             |
| 9        | V108488-Päätylevy      | 1    | 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) |

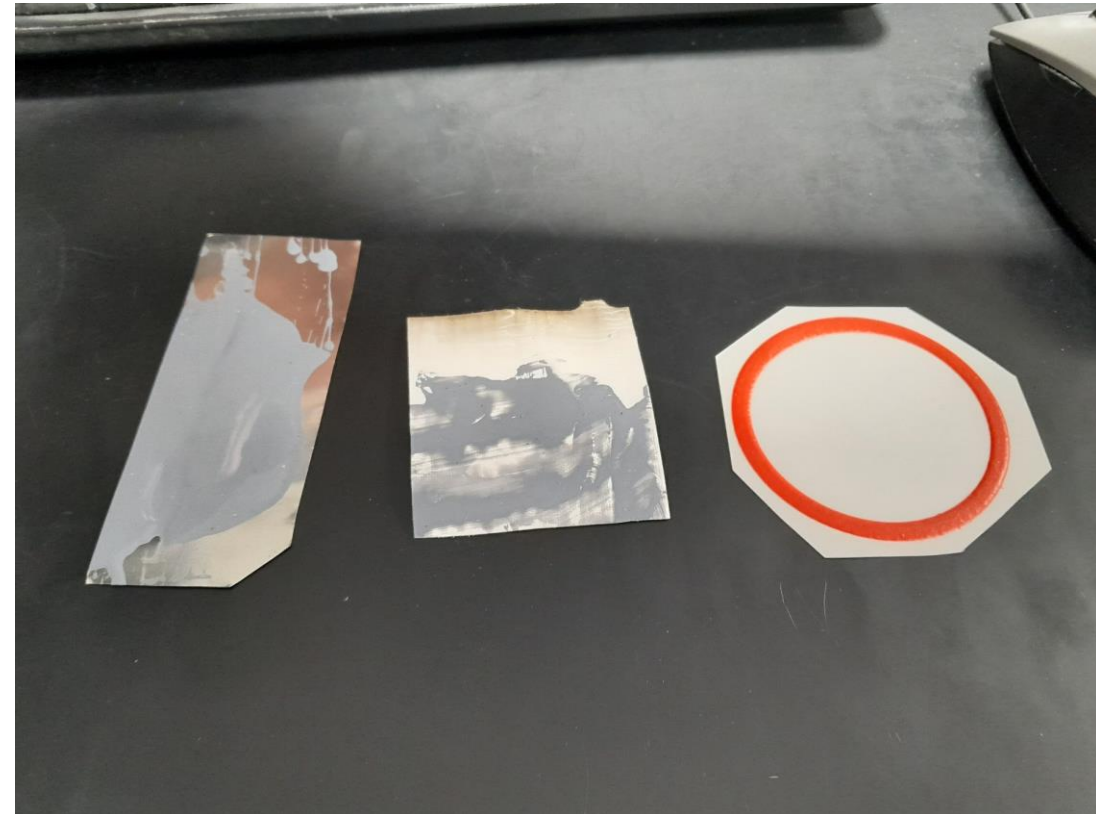
General tolerances: ISO 2768-rt  
 Machining: EN ISO 1302-01  
 Welded constructions: C  
 Welding quality level: ISO 9013-331  
 Flame cutting: ISO 9052-CT 11  
 Coating: SFS 5850ies  
 Drawing: Scale: 1:5 Sheet size: A3

Project name: Elektrolyseri, V10, kokoonpano  
 Customer / Organization: Open your mind. LUT. Lappeenranta University of Technology  
 Designed by: TN  
 Weight: 12.2 kg  
 Item: V108574  
 Revision: 1/1

**PRELIMINARY**

# 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

- Hankkeen aikana testattiin mahdollisuuksia valmistaa eri materiaaleista olevia tiivisteitä suoraan kennon mekaanisiin rakennuksiin
- Perusmateriaaleina käytettiin polypropeenia, nikkeliä ja zirfon-membraanikalvoa
- Useita eri tiivistemateriaaleja



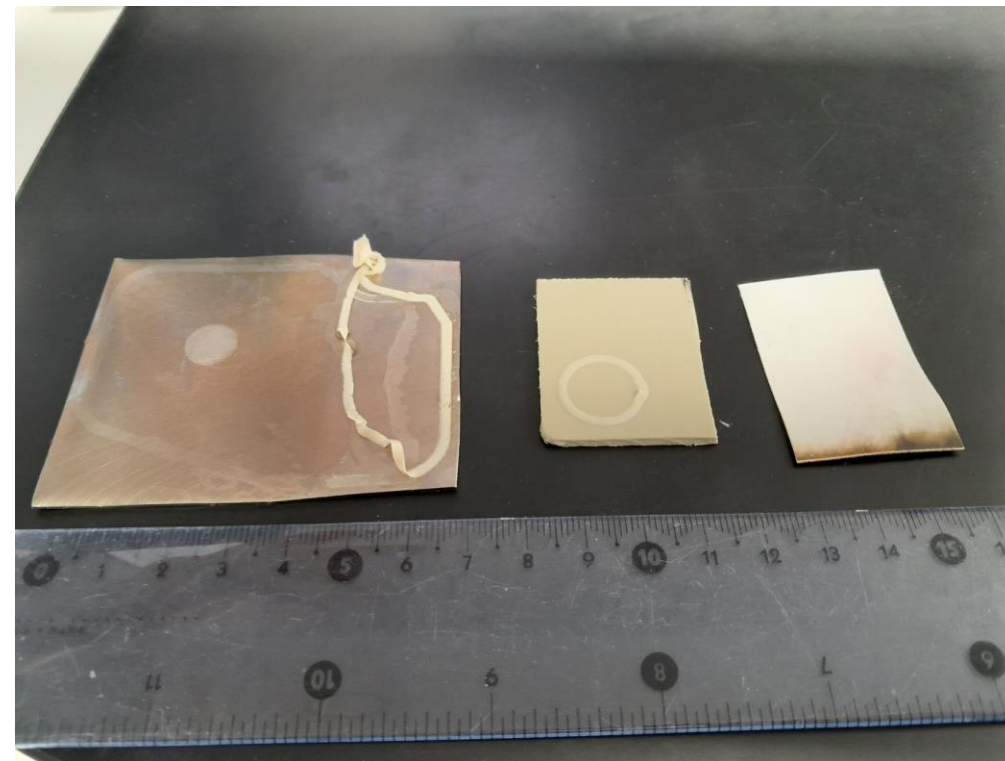
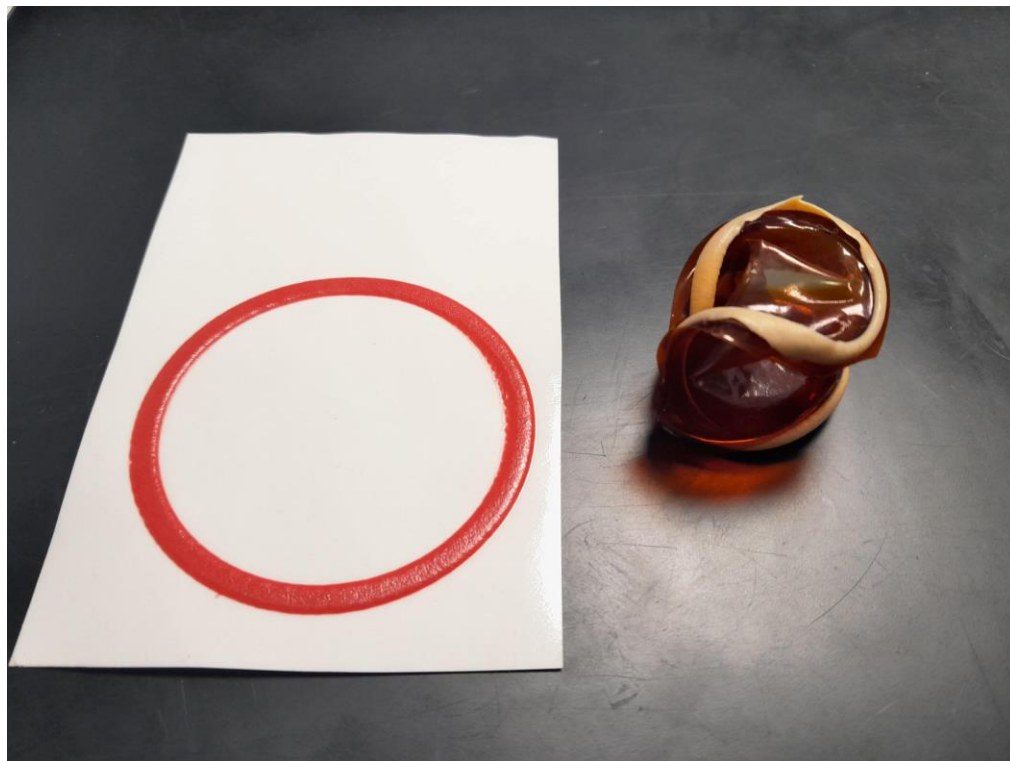
### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

- Koekappaleita testattiin erilaisissa olosuhteissa (lämpötila, pitoaika, KOH-nesteen vahvuus)
- Seuraavan sivun kuvissa testin tuloksia eri materiaaleilla





### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI



### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

- Hankkeessa mallinnettiin numeerisesti vesialkalelektrolyserikennon neste- ja kaasuvirtauksia 3D-mallilla käyttäen COMSOL-ohjelmistoa.
- Kuvassa nähdään elektrolyytin tulppavirtaus tuloputkesta lähtöputkeen ja kaasujen kerääntyminen kulmiin.
- Jatkotutkimuksissa kennomallia ja elektrolyytin sisääntuloa modifioidaan niin, että virtausjakauma kennossa saadaan yhtenäisemmäksi ja kaasut pääsevät paremmin etenemään poistoputkeen.

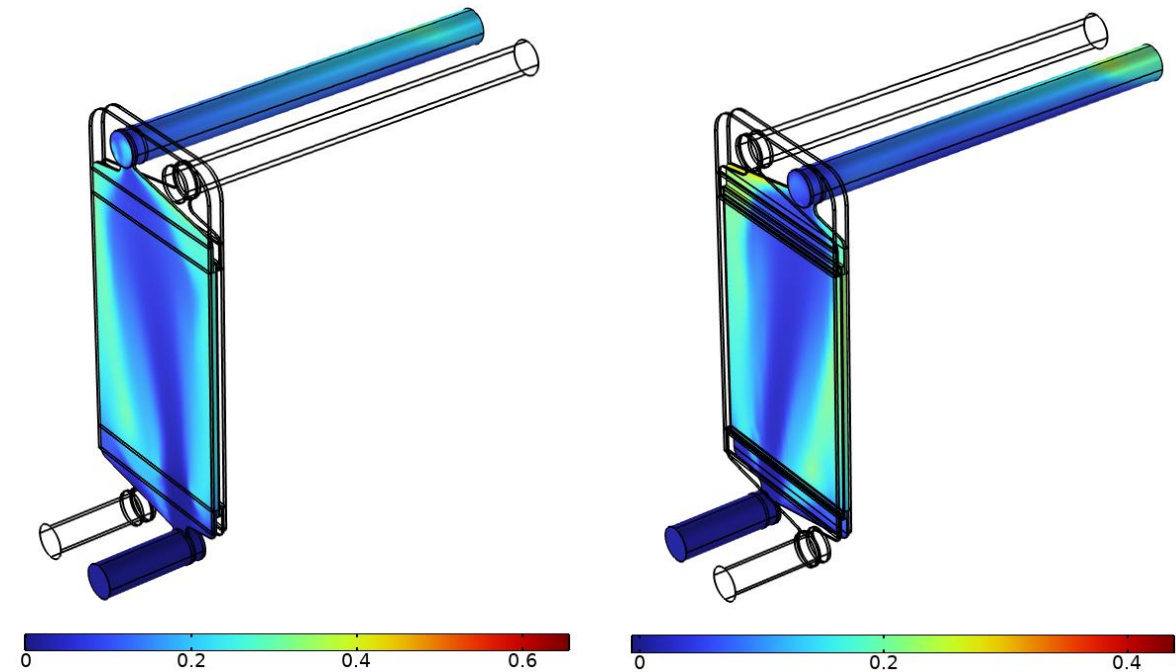


Figure: Contours of gas volume fraction for hydrogen gas in cathodic compartment (left) and oxygen gas in anodic compartment (right)

### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

- Yhden kennon malli laajennettiin viiden kennon kennostoksi hajavirtojen mallinnusta varten
- Hajavirrat ovat tulo- ja lähtöputkien kautta elektrolyyttivirtauksen mukana kulkevia virtoja.
- Vain suoraan kennoston läpi kulkeva sähkövirta aikaansaa vedyn hapen muodostumista, joten hajavirrat aiheuttavat häviöitä.
- Simulointimalli saatiin toimivaksi sähkökemiallisen hajavirtamallinnuksen osalta, mutta varsinainen simulointi ja analyysi jäivät jatko-projekteihin

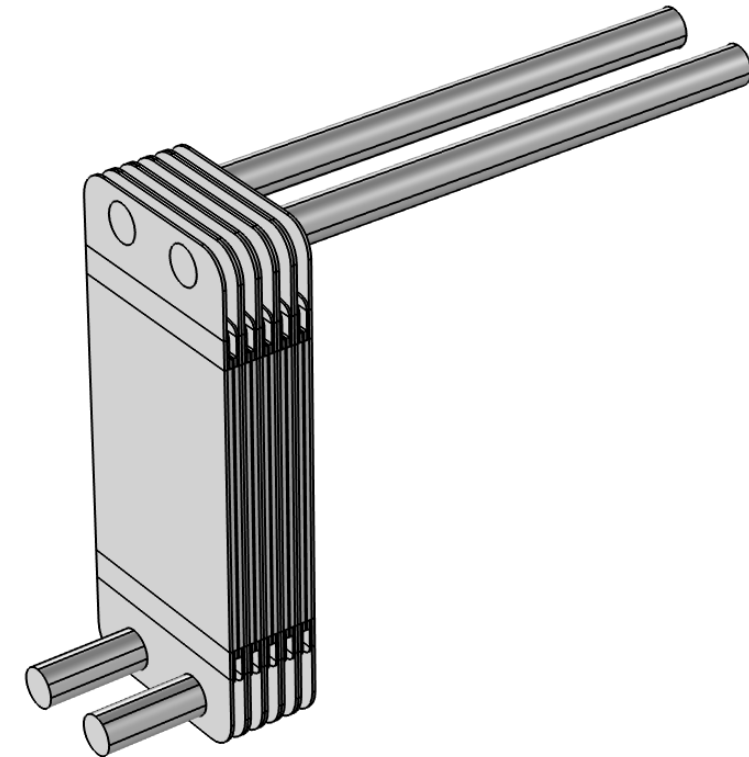
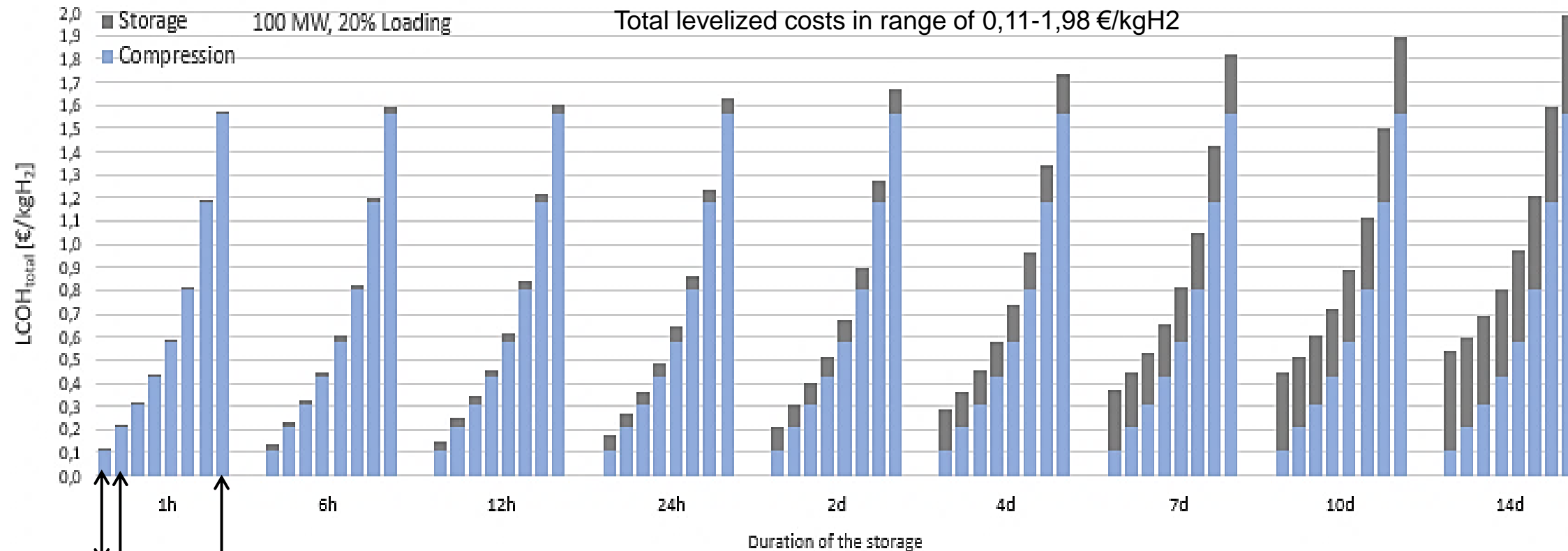


Figure: Computational domain of five cell AWE stack

### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI PAINESTUS JA VARASTOINTI



Painetasot 100-800 bar pylväinä, ryhmiteltyinä varastointiajan suhteen

- Aspen-mallinnuksella toteutettu paineistuksen mallinnus
- Vetyvarastojen mallintaminen ja optimointi osana power-to-x toimitusketjua
- <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20230905117420>

# 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI KESKIPAKOKOMPRESSORIN SUUNNITTELU VEDYLLE

## CENTRIFUGAL COMPRESSOR DESIGN COMPARISON FOR AIR AND HYDROGEN

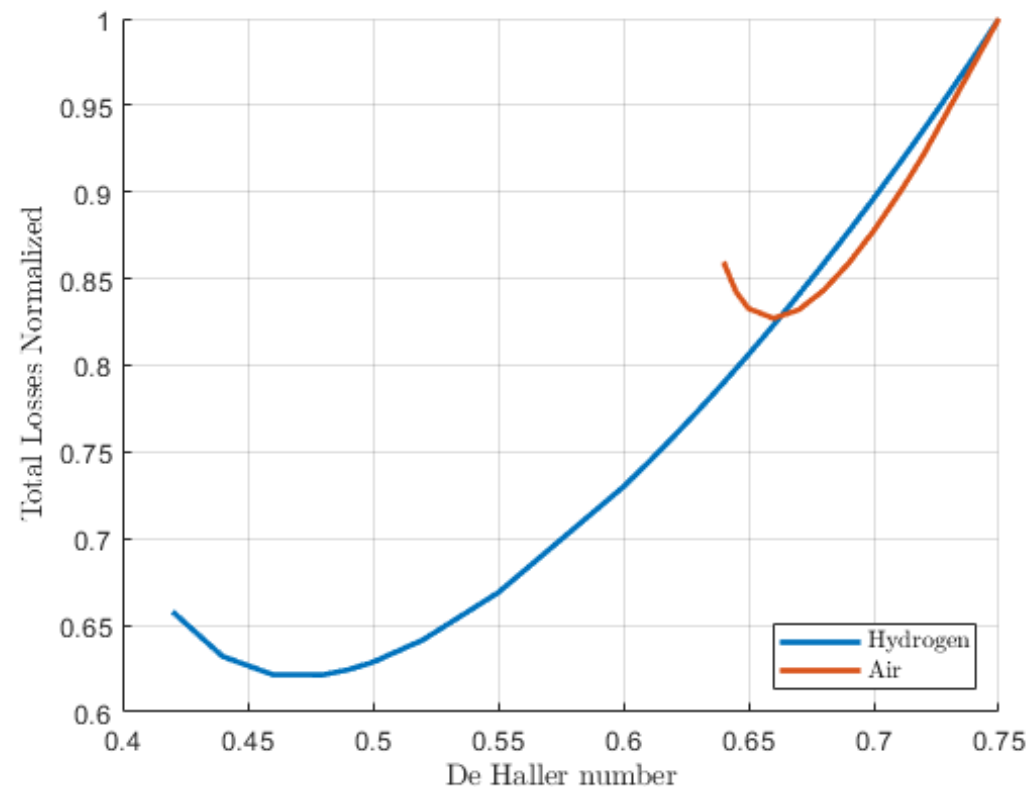
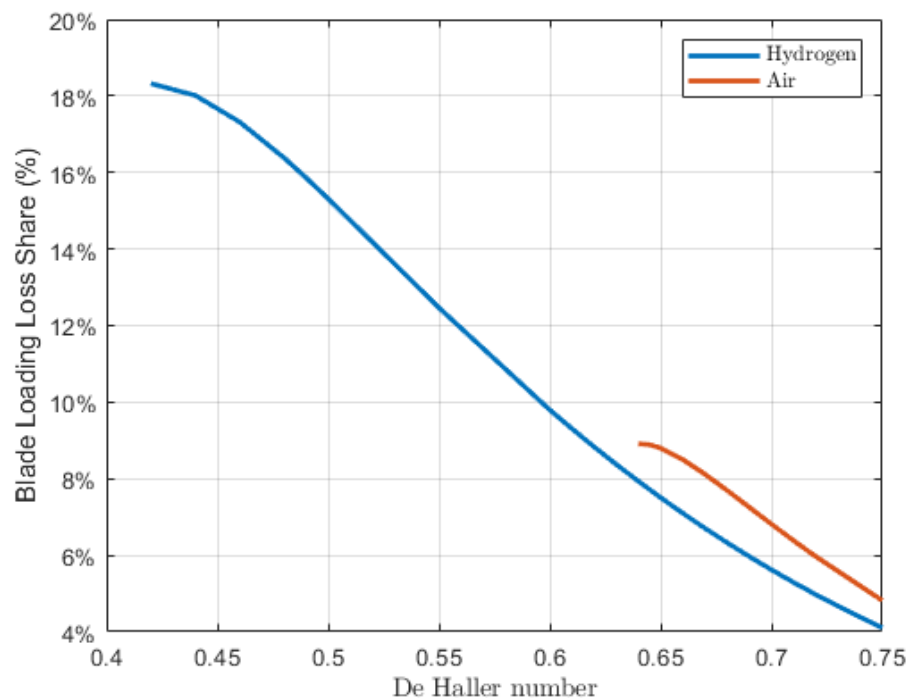
- The compressor design guidelines were initially created with air compressors in mind.
- The effect of design parameters on the centrifugal compressor design was studied for hydrogen and air as working fluids.
  - Velocity ratio  $C_{u2}/u_2$
  - Inlet hub-to-tip diameter ratio
  - De Haller number
- The loss distribution was studied to find the difference for both working fluids
- In the meanline design model, a few different loss models were used to predict the efficiency
- For air, a compressor situated in the Laboratory of Fluid Dynamics, Lappeenranta, Finland was studied.
- For hydrogen, the hydrogen compressor designed at Concepts NREC was studied.

| Fluid                                | Air   | Hydrogen |
|--------------------------------------|-------|----------|
| Inlet pressure, bar                  | 1     | 25.1     |
| Inlet temperature, °C                | 15    | 37.8     |
| Outlet pressure, bar                 | 2.5   | 31.7     |
| Mass flow rate, kg/s                 | 1.8   | 2.7      |
| De Haller number                     | 0.71  | 0.67     |
| Velocity ratio ( $c_{u2}/u_2$ )      | 0.67  | 0.90     |
| Number of blades                     | 18    | 32       |
| Tip clearance height, mm             | 0.5   | 0.36     |
| $\beta_{1,tip}$                      | 58    | 70       |
| $d_{1,hub}/d_{1,tip}$                | 0.3   | 0.4      |
| Diameter ratio diffuser outlet/inlet | 2     | 2        |
| Rotational speed, rpm                | 27600 | 60000    |
| Diffuser width ratio                 | 0.845 | 0.95     |
| Rotor blade thickness, m             | 0.003 | 0.003    |
| Impeller axial length/rotor radius   | 0.8   | 0.7      |

Initial parameters for air and hydrogen compressors

# 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

- Esim. Ilmakompressoreihin verrattuna De Hallerin luku (roottorin ulostulo- ja sisääntulonopeuksien suhde) voitaisiin suunnitella paljon pienemmäksi
- Toisaalta tällöin myös lapakuormitushäviöt kasvaa



## 4) BIO-CO<sub>2</sub> HYÖDYNTÄMINEN UUDEN JA UUSIUTUVAN ENERGIANTUOTANNON OPTIMOINNISSA

- Kartoitettiin biogeenisen hiilidioksidin potentiaalisia lähteitä, sekä käyttökohteita verkkoselvityksenä, tilastoista ja yhteydenotoilla
- Toteutettiin laboratoriomittakaavan demonstraatiokokeita hiilidioksidin hyödyntämisestä biokaasureaktorin yhteydessä

Johtopäätökset selvitystyöstä ja biokaasuprosessin vety- ja hiilidioksidipohjaisesta tehostamisesta:

- Kokonaisuudessaan biogeenisen hiilidioksidin potentiaali alueella oli noin 6 Mt. Tämä on metaaniksi suoraan johdettuna noin 1,964 Mt metaania joka on noin 27,3 TWh (LHV 50,1 MJ/kg).
- Biokaasu sisältää suuria määriä hiilidioksidia
  - Hyödynnettävissä pistemäisenä CO<sub>2</sub> lähteenä
  - CO<sub>2</sub>:n talteenotto biokaasulaitoksesta edullisin vaihtoehto toteuttaa
- Hiilidioksidin käyttö laboratoriomittakaavan biokaasureaktorissa todettiin parantavan metaanin saantoa sekä prosessihäiriöiden -ja muutosten sietokykyä AD-prosessissa.
  - Mahdollisuudet jatkotutkimukseen CO<sub>2</sub>:n kierrätyksestä biokaasureaktoriin.
  - Jatkotutkimuksissa toteutetaan reaktorien kapasiteettien asteittainen nostaminen

Tarkempia tuloksia ja jatkuvuutta hankkeelle:

- LAB julkaisee artikkelikokoelman vuoden 2024 alussa. Julkaisussa on mukana Vetyä, virtaa Kaakkoon - Mallinnuksesta markkinoihin työpaketit 4 & 5 sekä Vetyä, virtaa Kaakkoon - hukkalämmön hyödyntämispotentiaali- hanke.
- Artikkelikokoelman tarkoituksena on tuottaa tarkempaa tietoa tutkimuksesta ja sen tuloksista.
- Jatkotutkimukset metaanin tuoton tehostaminen hiilidioksidilla AD-prosesseissa.

## 5) OSAAMISTARVEKARTOITUS JA KANSAINVÄLISET YHTEISTYÖRAJAPINNAT

- Työpaketissa selvitettiin Itä- ja Kaakkois-Suomen alueen **vetytalouden sidosryhmiä** ja vetytalouteen liittyvää osaamis- ja koulutustarvetta.
- Osaamis- ja koulutustarpeen selvittämiseksi valmisteltiin kohdennetut **teemahaastattelut** alueen vetytaloussidosryhmien parissa. Haastateltavat edustivat sekä yrityksiä että julkisia toimijoita.
- Haastatteluiden taustoittamiseksi sekä teemojen kohdentamiseksi tehtiin tutkielma vetytalouden olemassa olevaan alueelle relevantteihin julkaisuihin ja muihin kirjallisiin lähteisiin.
- Lisäksi kartoitettiin olemassa olevaa **vetytalouteen liittyvää koulutusta valtakunnallisesti** kokonaiskuvan saamiseksi koulutuksen nykytilasta ja siitä, miten se vastaa alueelliseen tarpeeseen.
- Yhteistyörajapintojen osalta työpaketissa selvitettiin vetytalouden toimijoita. Toimijalistausta voidaan käyttää jatkotoimenpiteissä yhteistyön ja rajapintojen luomisessa.





**VETYÄ, VIRTAA KAAKKOON**

LUT-osakokonaisuus

# TOIMENPIDE 2-1.1: AURINKOSÄHKÖN JA TUULIVOIMAKOHTEIDEN KARTOITUS

## AURINKOVOIMAPOTENTIAALI ETELÄ-KARJALASSA

Turvetuotantoalueiden, rakennusten kattojen, käytöstä poistettujen maatalousmaa-alueiden ja peltoalueiden aurinkovoimantuotannon kokonaisasennuspotentiaali Etelä-Karjalan alueella

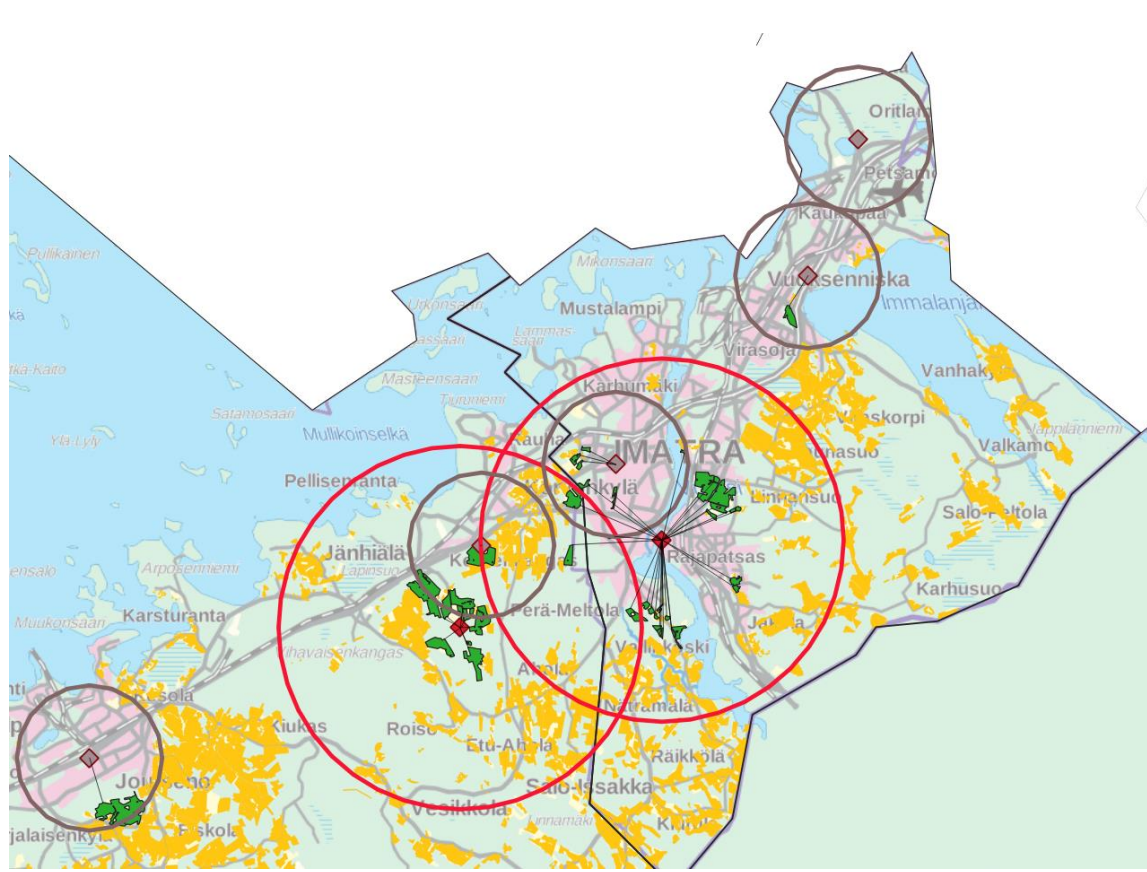
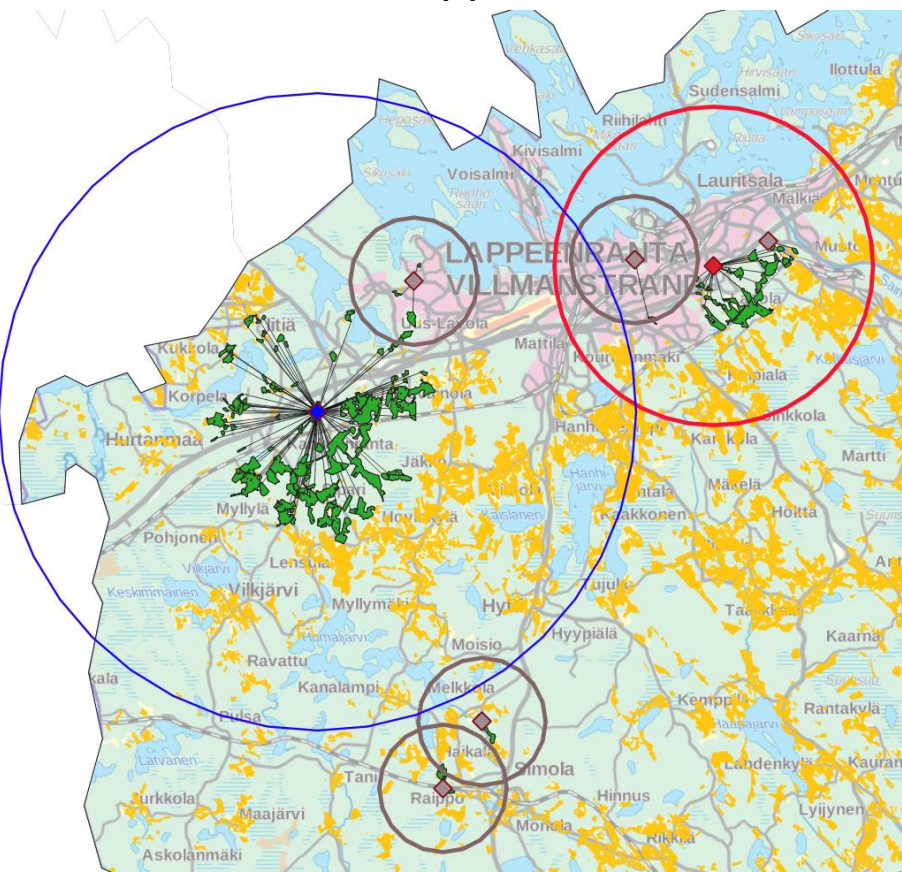
| Aurinkosähköjärjestelmän sijoitus      | Pinta-ala (ha) | Asennuskapasiteetti (MWp) | Tuotantoarvio (GWh/a) | Osuus tuotannosta (%) |
|--|----------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Turvetuotantoalueet                    | 2 360          | 2 360                     | 2 003                 | 4 %                   |
| Kattopinnat                            | 2 025          | 1 418                     | 1 200                 | 3 %                   |
| Käytöstä poistetut maatalousmaa-alueet | 1 514          | 1 514                     | 1 287                 | 3 %                   |
| Peltoalueet                            | 50 900         | 50 900                    | 43 238                | 91 %                  |
| <b>Yhteensä</b>                        | <b>56 799</b>  | <b>56 192</b>             | <b>47 728</b>         | <b>100 %</b>          |

# TOIMENPIDE 2-1.2: ENERGIASIIRTO-INFRASTRUKTUURIN MÄÄRITTÄMINEN

Tarkastelu: Aurinkosähkötientiaali sähköasemien läheisyydessä

Lappeenranta

Imatra



- 10km buffer
- 5 km buffer
- 2 km buffer
- ◆ 400kV FG substation
- ◆ 110kV FG substation
- ◆ 110kV DSO substation
- Connected fields

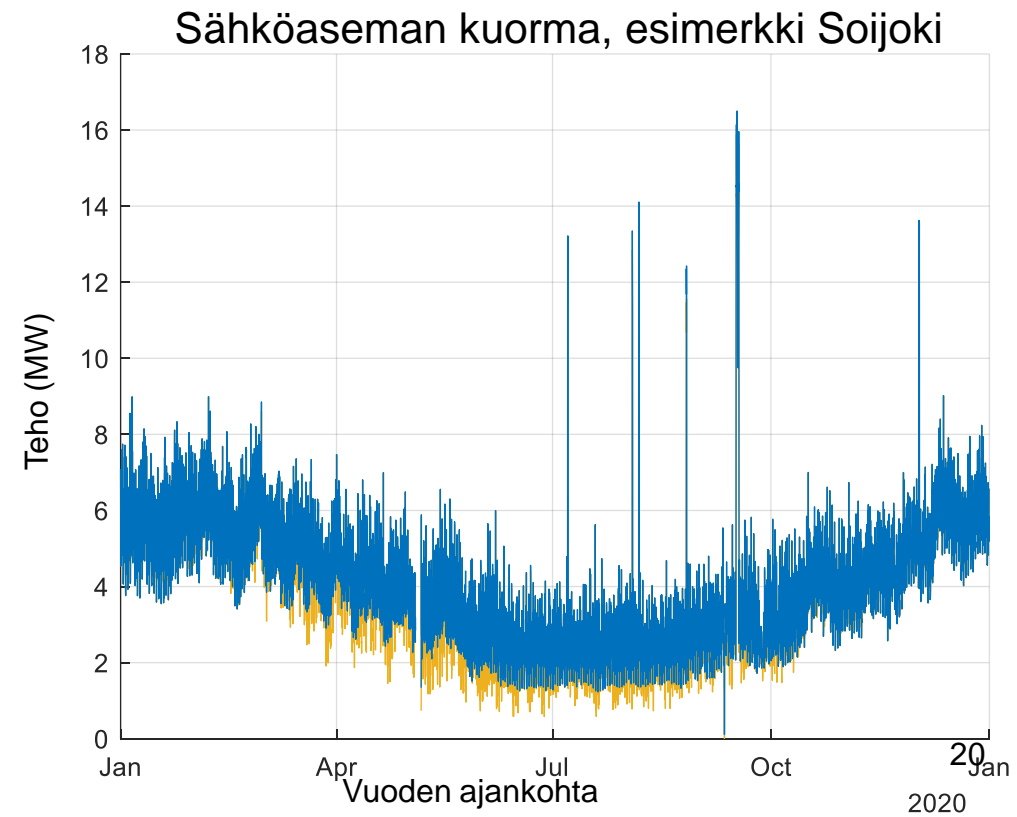
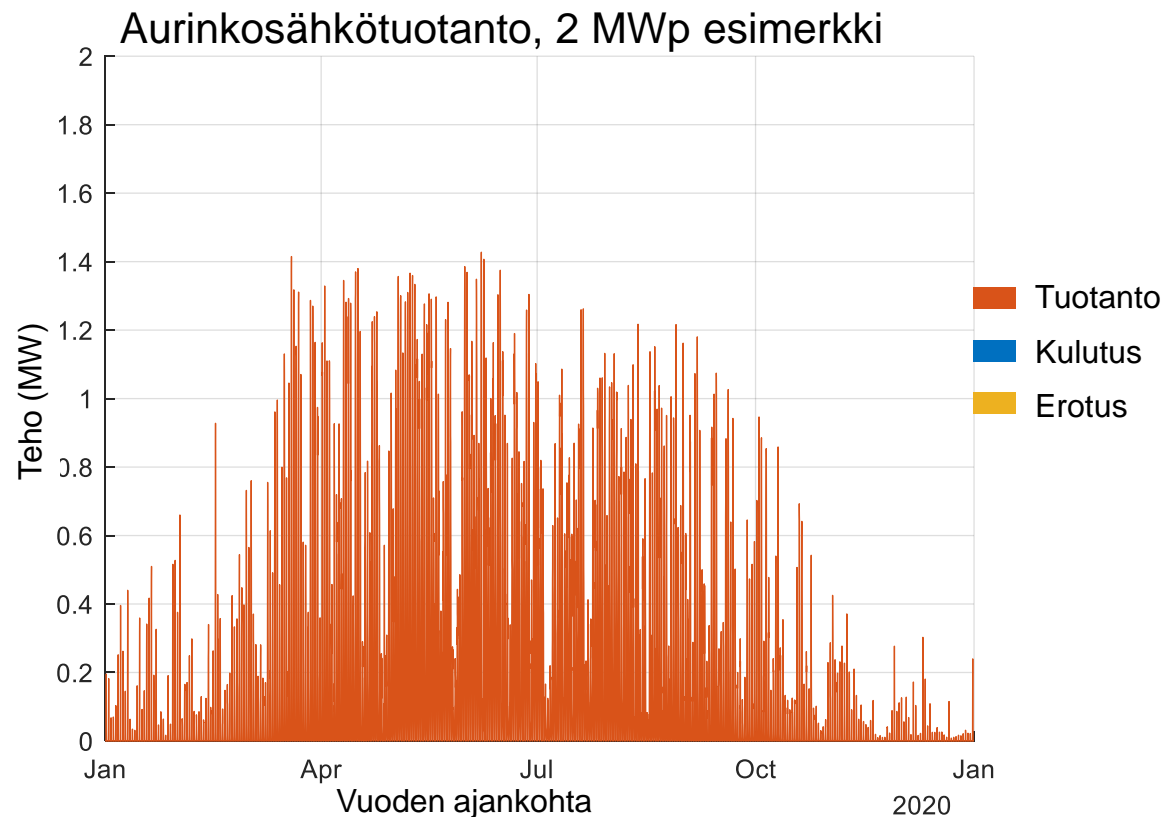
Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



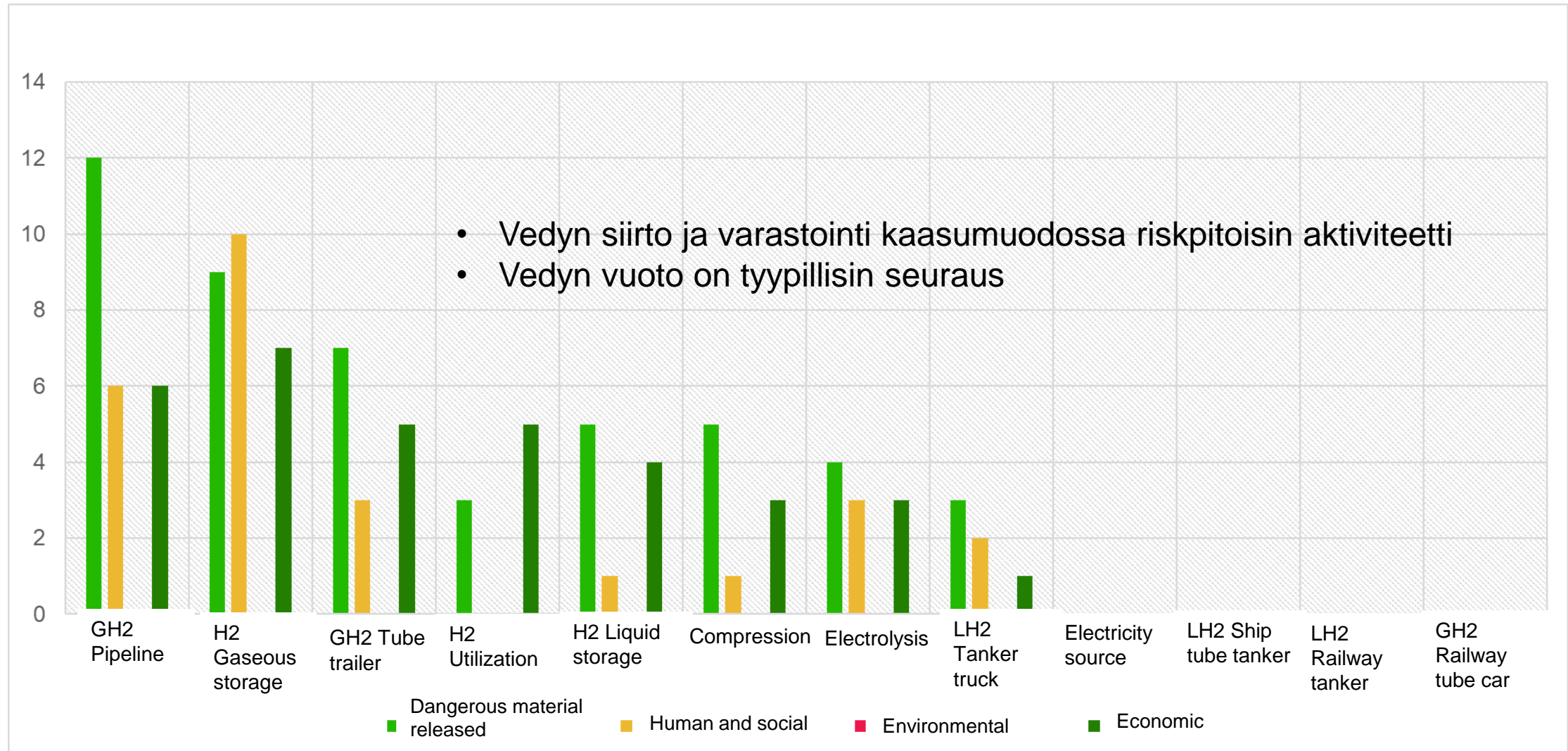
Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

# TOIMENPIDE 2-1.2: ENERGIASIIRTO- INFRASTRUKTUURIN MÄÄRITTÄMINEN

Tarkastelu: Aurinkosähkön tuotanto ja sähkön käyttö, esimerkiasema (Soijoki)



# VETYONNETTOMUUEDET JA -RISKIT



# LAITOSRISKIN ARVIOINTI JA SEN KUSTANNUSTEN OPTIMOINTI

Järjestelmällinen arviointityökalu

| Exposures area                             | Distance in meters | Zone 0                              | Zone 1                   | Distance in meters |
|--|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| • 90 min fire resistive walls              | 2,5                | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 2,5*2              |
| • Technical and unoccupied buildings       | 10                 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | 10*2               |
| • Occupied buildings                       | 20                 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | 20*2               |
| • Air compressor intakes, air conditioning | 20                 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | 20*2               |
| • Any combustible                          | 10                 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10                 |
| • liquids Any combustible solids           | 10                 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | 10                 |

- »» Laajemmat tuloskalvot saatavilla
- »» Tiedustelut [hannu.karjunen@lut.fi](mailto:hannu.karjunen@lut.fi)

