



# LAND OF THE CURIOUS



1.2.2023 - 31.12.2023

# VETYÄ, VIRTAA KAAKKOON

## Mallinnuksesta markkinoille

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

# 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

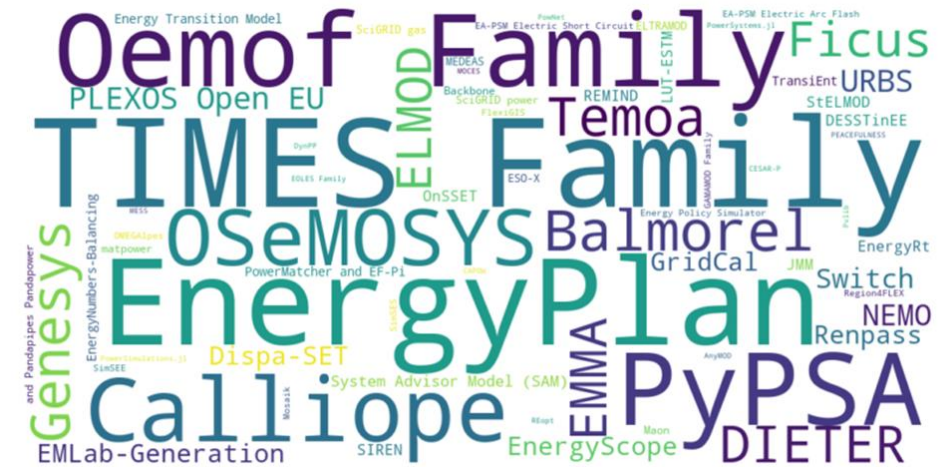


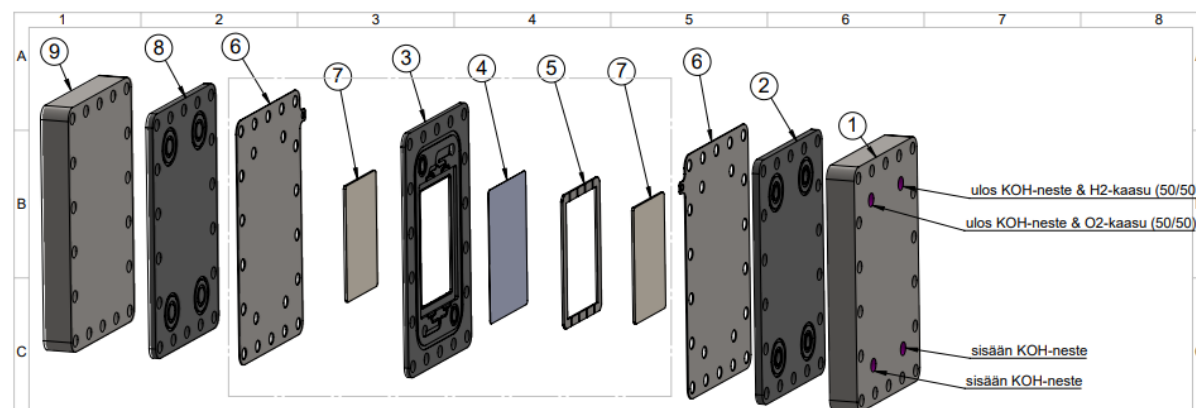
Fig 1: Reviewed energy models

## 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.

Puristusvoimalla tällä hetkellä luokkaa 6700 N. Edetään kuitenkin siten, että säädetään puristus tiivisteiden mukaan sopivaksi eikä toisin päin.

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.	Material
1	V108398-Päätylevy	1	1.4404 (X2CrNiMo17-12-2)
2	V108399-Eristeylevy	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-Eristeylevy	1	PP Copolymer
9	V108488-Päätylevy	1	1.4404 (X2CrNiMo17-12-2)

ulos KOH-neste & H<sub>2</sub>-kaasu (50/50)  
ulos KOH-neste & O<sub>2</sub>-kaasu (50/50)  
sisään KOH-neste  
sisään KOH-neste

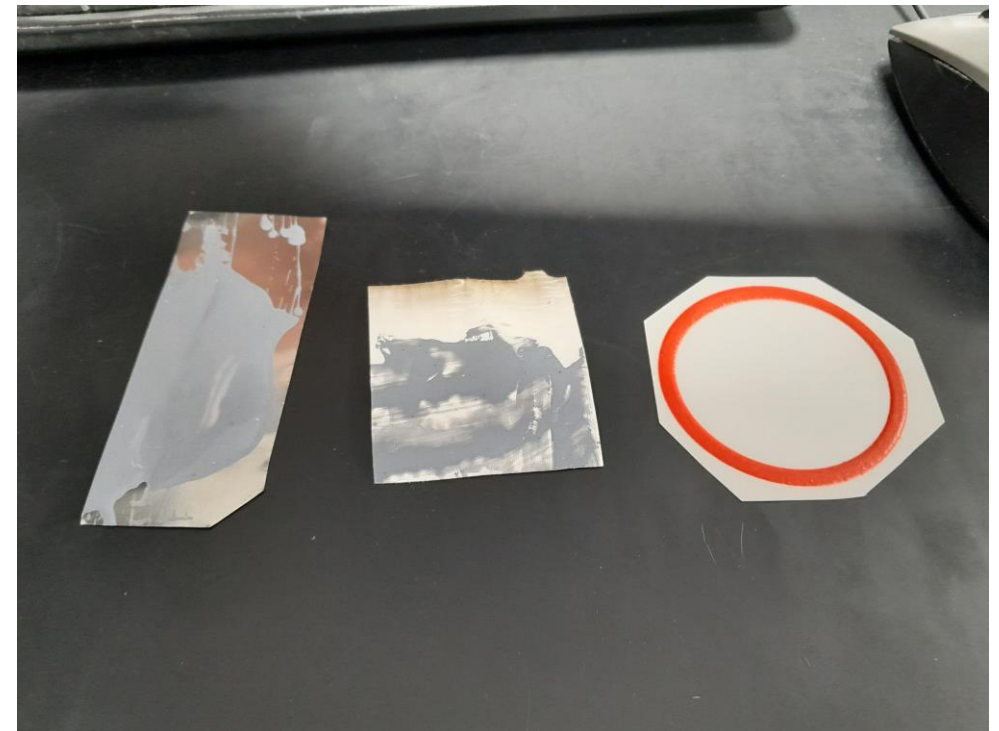
PRELIMINARY

Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

Project name: Elektrolyseri, V10, kokoonpano  
Weight: 12.2 kg  
Item: V108574  
Sheets: 1/1

### 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

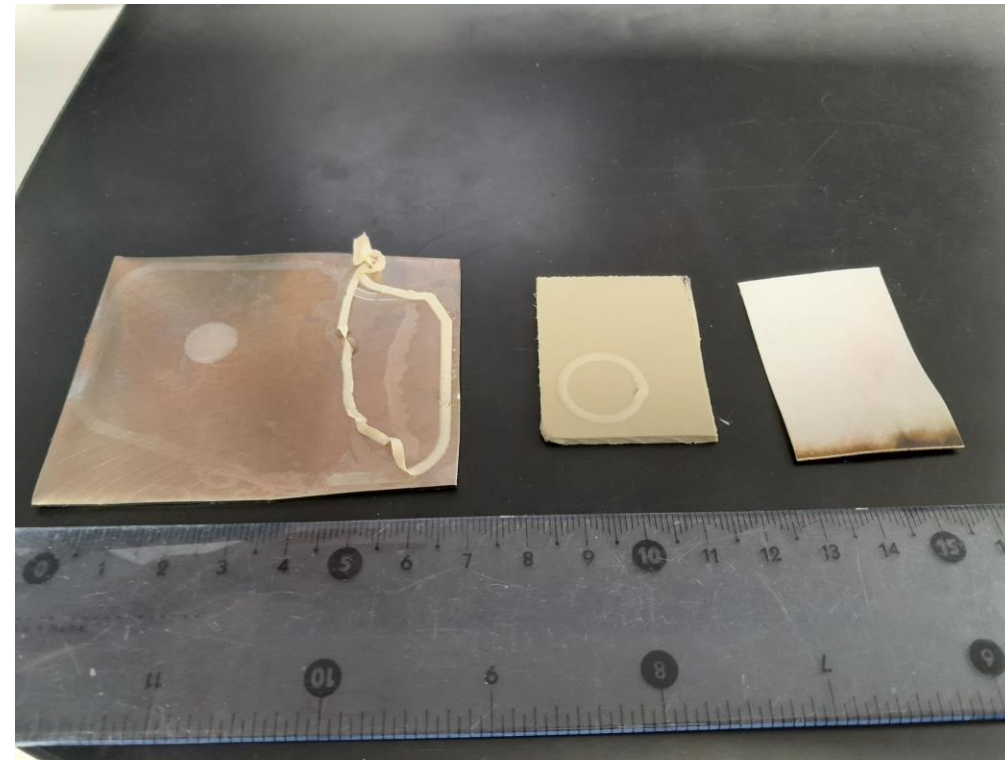
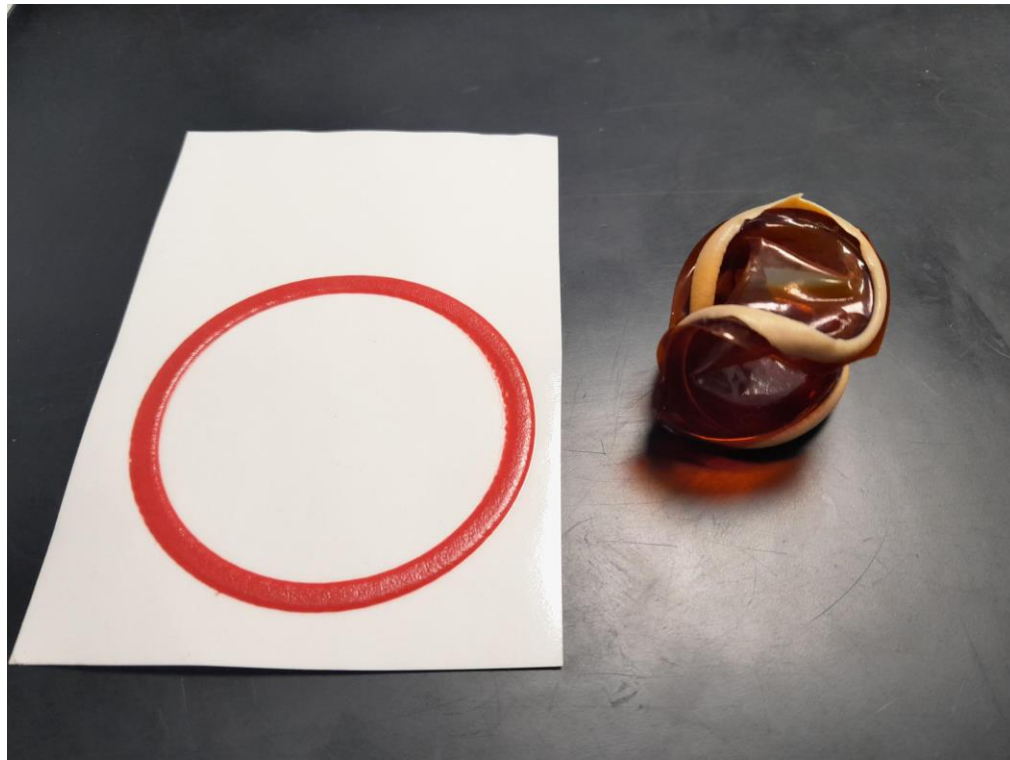


### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

- 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.

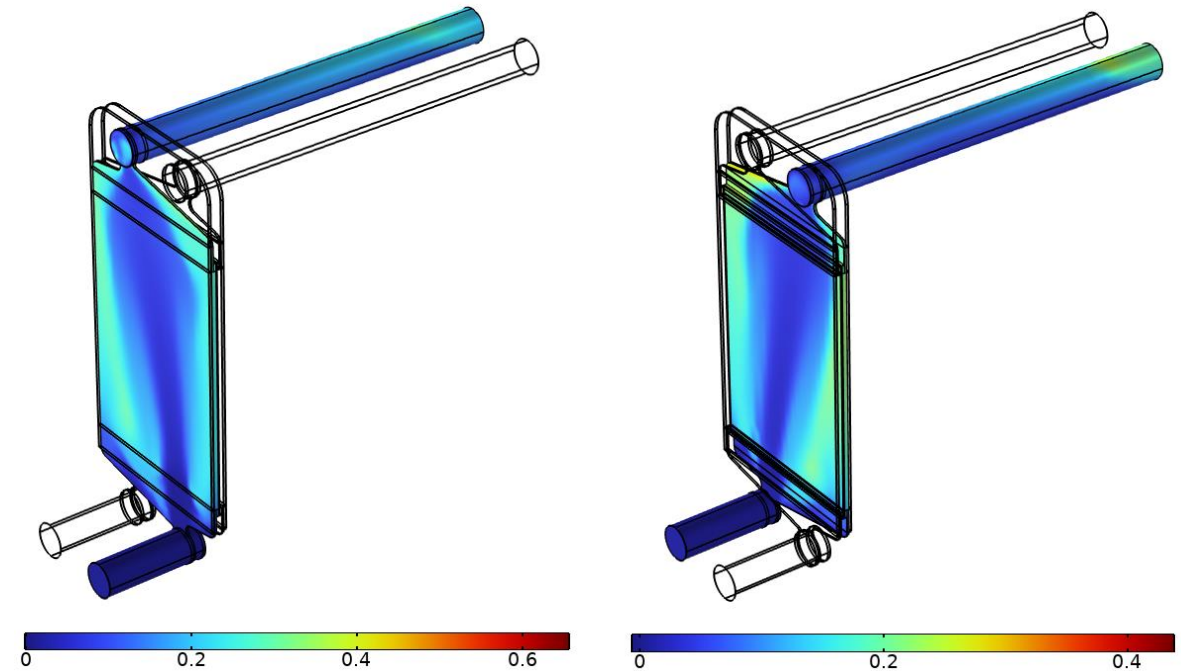


Figure: Contours of gas volume fraction (left) hydrogen gas in cathodic compartment (right) oxygen gas in anodic compartment

### 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

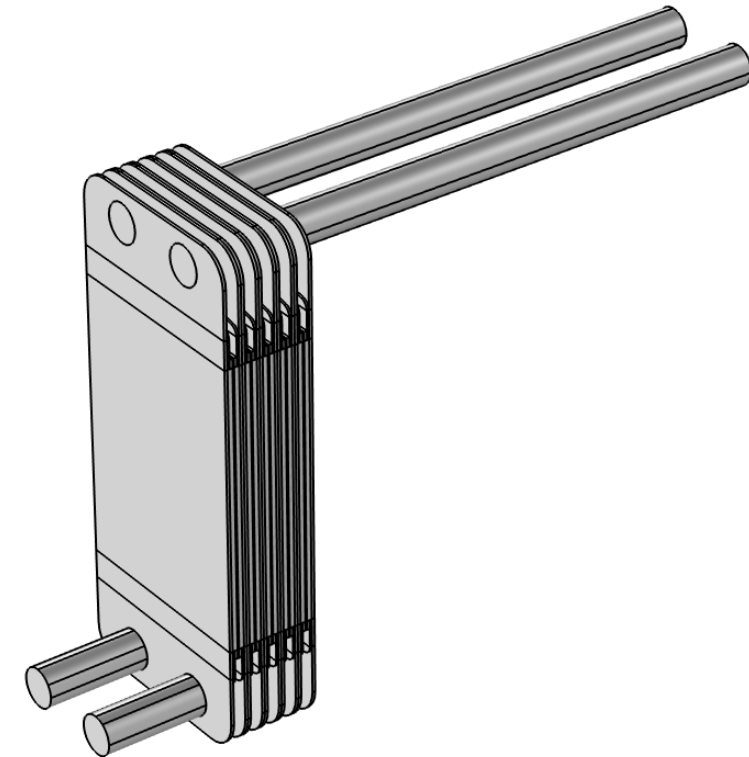
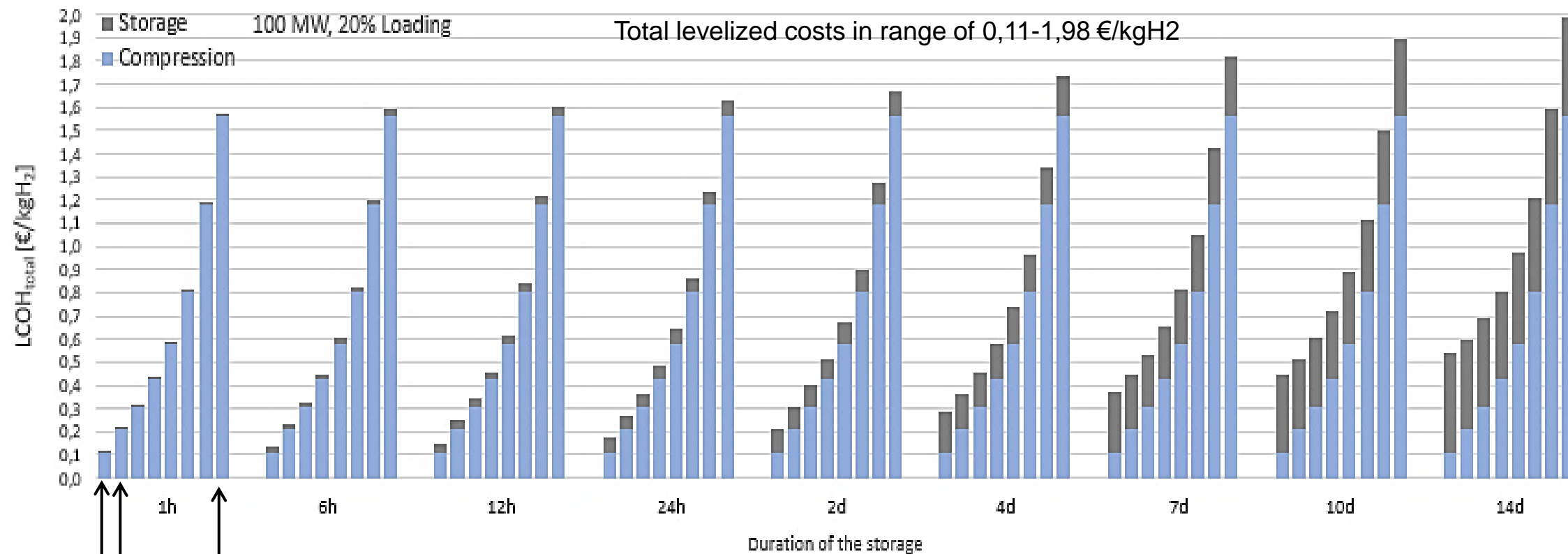


Figure: Computational domain of five cell AWE stack

# 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI



100 bar  
200 bar  
800 bar

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

## 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

➤ Obtained loss distributions for hydrogen and air compressors are shown in Figure 1. The most significant losses, the diffuser loss, the skin friction loss, the tip clearance loss and the blade loading loss, which account for more than 90% of the total losses for both working fluids were studied.

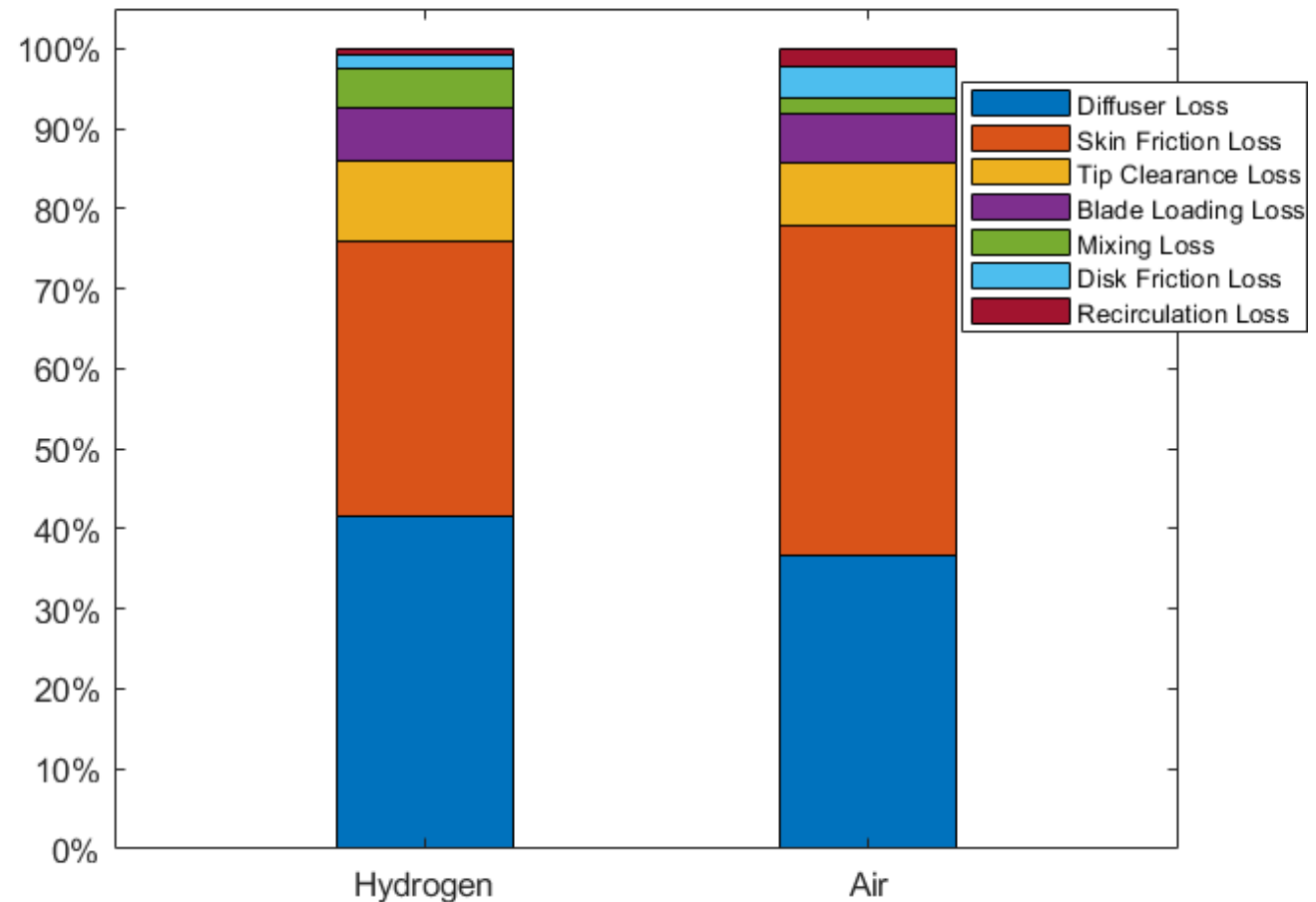
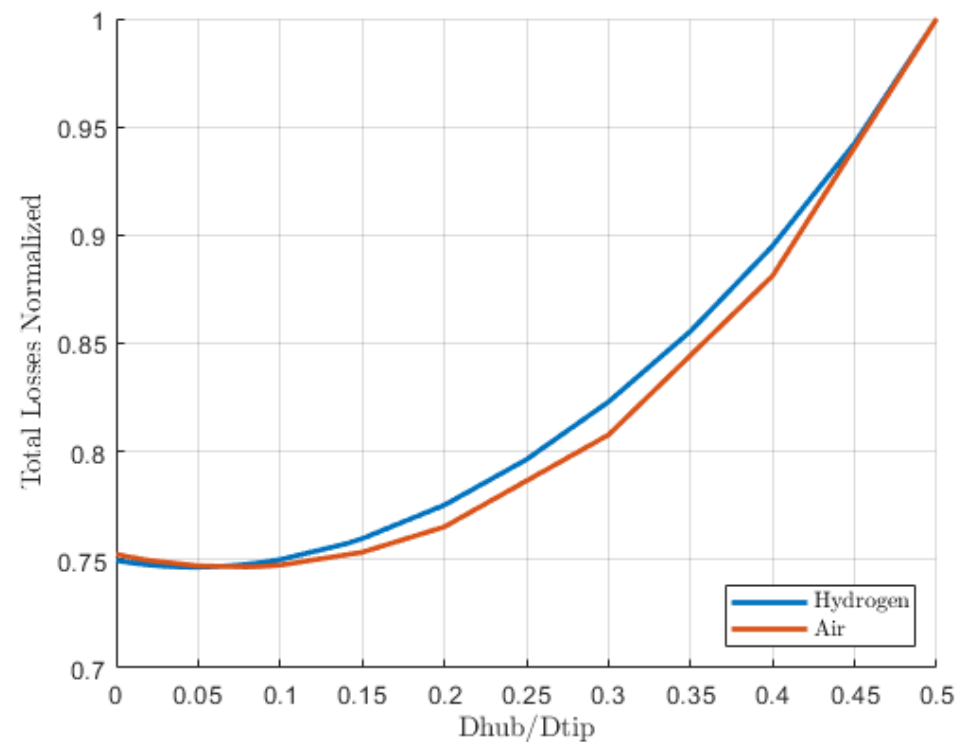


Figure 1. Loss distributions for hydrogen and air

### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

#### LOSS BEHAVIOR WITH VARYING INITIAL PARAMETERS

- Varying inlet hub-to-tip ratio have a similar effect on total losses for both air and hydrogen compressors.

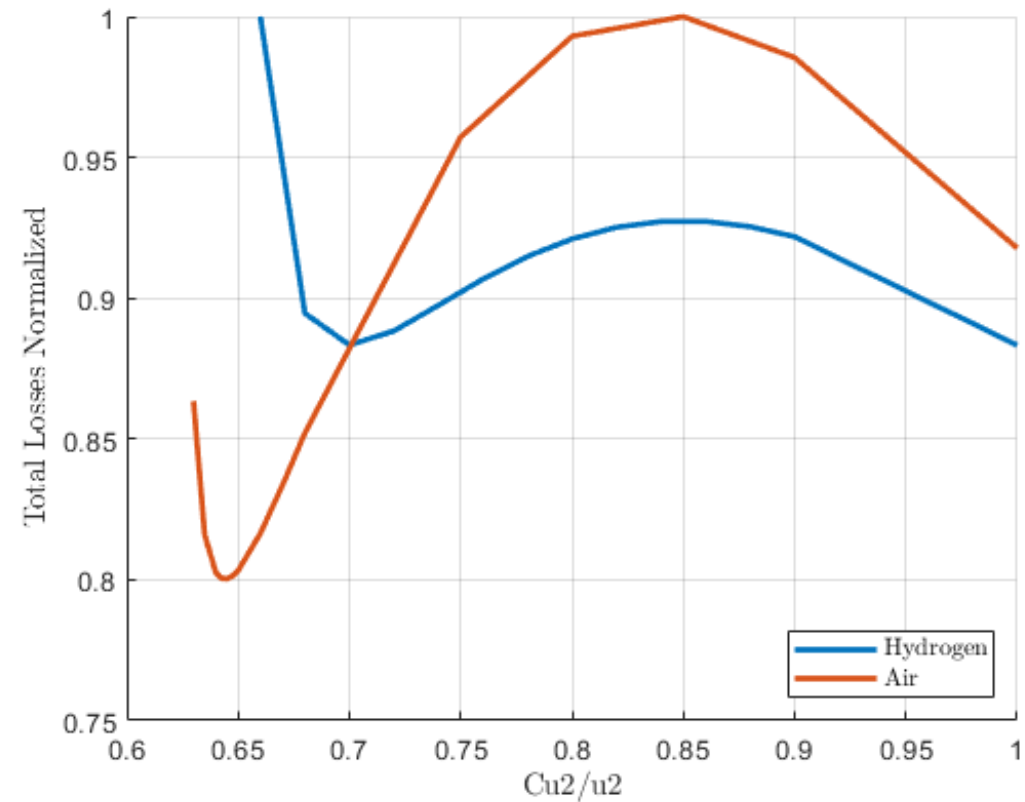


Normalized total losses with varying initial parameters

### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

#### LOSS BEHAVIOR WITH VARYING INITIAL PARAMETERS

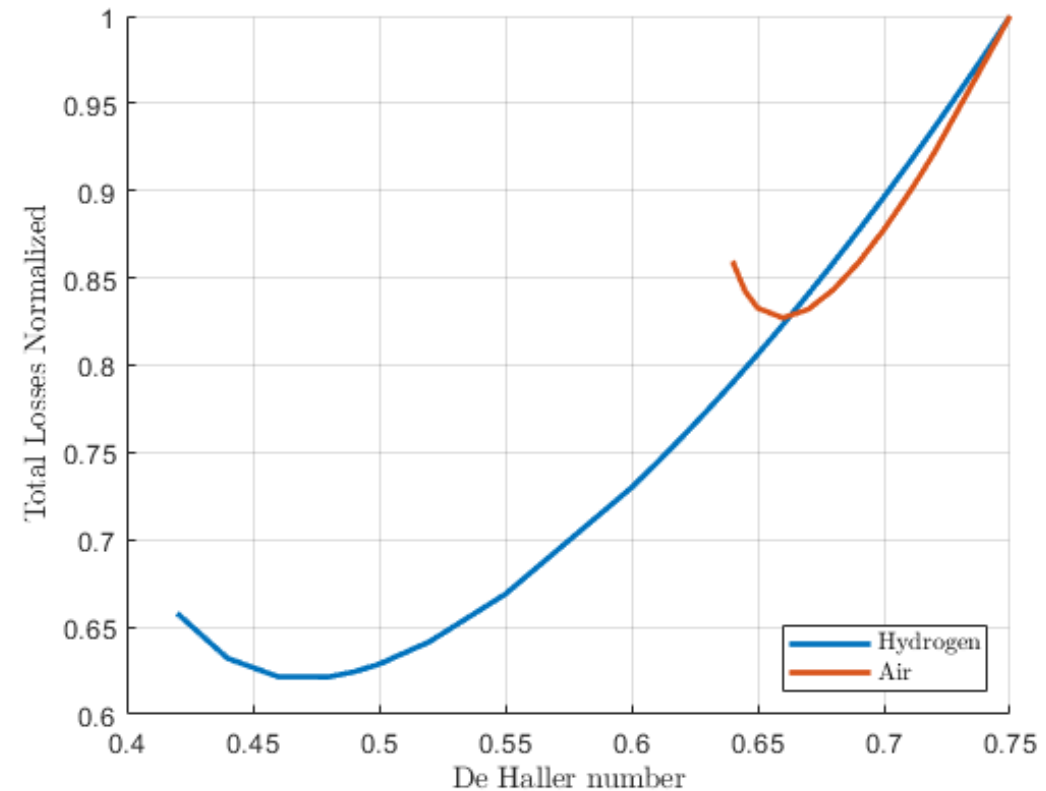
- Varying inlet hub-to-tip ratio have a similar effect on total losses for both air and hydrogen compressors.



### 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

#### LOSS BEHAVIOR WITH VARYING INITIAL PARAMETERS

- When varying the de Haller number, the minimum losses for hydrogen occur at much lower de Haller number values than for air.
- If it would be possible to design hydrogen compressors with lower de Haller numbers, than what commonly are used for centrifugal compressors, the efficiency gains would be much greater than they would be for air.

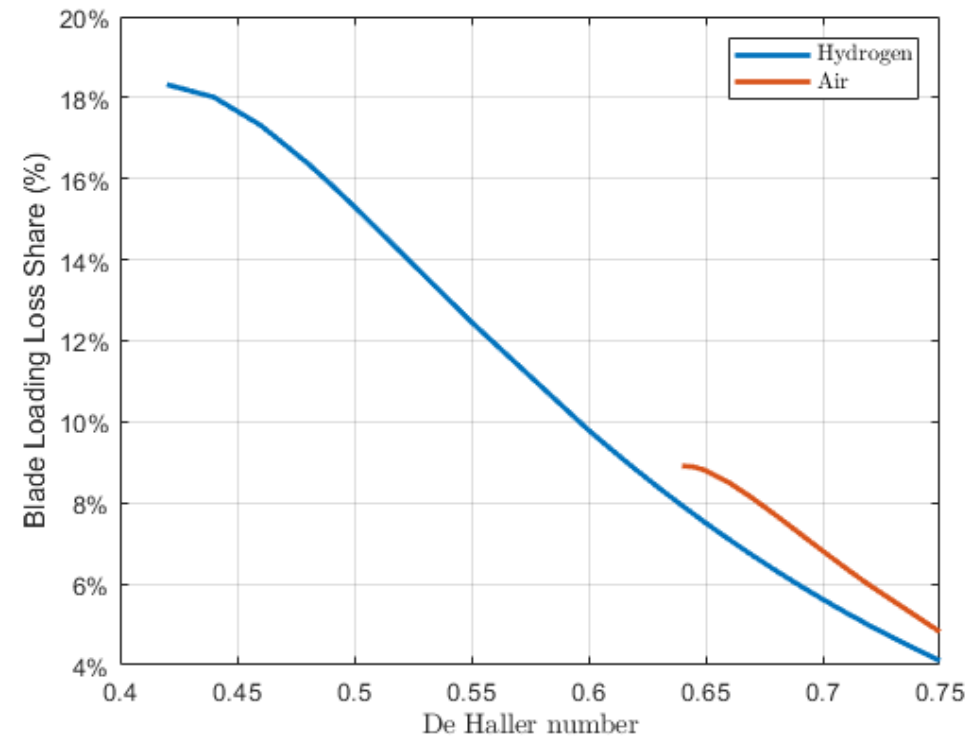




# 3) VEDYN VALMISTUS JA VARASTOINTI

## LOSS BEHAVIOR WITH VARYING INITIAL PARAMETERS

- Blade loading loss significantly increases with the decrease of De Haller number → further studies on reducing blade loading loss would be required.



Blade loading loss with varying De Haller number

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

### Työpaketissa käytetyt menetelmät

- Biogeenisen hiilidioksidin potentiaalisia lähteitä, sekä käyttökohteita etsittiin verkkoselvityksenä, tilastoista ja yhteydenotoilla kohteisiin, joiden toiminnasta ei ollut täyttä varmuutta. Kohteiden vuodessa tuotettu CO<sub>2</sub> määrä koostettiin tilastoista sekä laskennallisesti eri lähteistä keskimääräisillä arvoilla. Tietoa biogeenisen hiilidioksidin käytön sekä käsittelyn sovelluksista haettiin kirjallisuudesta ja alan julkaisuista. Lisäksi hankkeessa selvitettiin hiilidioksidin hyödynnyksen mahdollisuudet biogeenisen metaanin tuotannossa laboratoriomittakaavan demonstraatiokokeella.
- Asiantuntijuus ja tiedonhankinta:  
Verkkoselvitykset, tilastot, alan julkaisut ja haastattelut sekä yhteistyö LABn muiden käynnissä olevien bioCO<sub>2</sub> hankkeiden kanssa.

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

Johtopäätökset selvitystyöstä ja biokaasuprosessin vety- ja hiilidioksidipohjaisesta tehostamisesta:

- Etelä-Karjalan alueella paljon biogeenistä hiilidioksidia. Suurimpia tuottajia on alueen merkittävä sellu- ja paperiteollisuuden keskittymä, mutta alueella on myös paljon potentiaalisia pk- sekä kunnallisia tuottajia.
- 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).
- CO<sub>2</sub> talteenotto on kannattavaa vasta silloin kun pistemäisen lähteen tuotantokapasiteetti on suuri tai materiaalia voidaan käyttää kohteen muihin prosesseihin.
  
- Hyödyntämistä edistäviä ja siinä huomioitavia seikkoja:
  - toimintojen keskittäminen
  - jokaista kohdetta tulee tarkastella tapauskohtaisesti.
  - käyttökohteiden puhtausvaatimukset.
  - Resurssien tehokas käyttö vaatii suunnitelmallisuutta maantieteellisen sijainnin, tavoiteltujen lopputuotteiden sekä tuotannon energia- ja materiaali sivuvirtojen hyödyntämisessä
  - Muiden käyttökohteiden huomiointi
    - Hiilidioksidia voidaan käyttää metaanin valmistuksessa suuressa mittakaavassa biokaasulaitosten tukena tai synteettisen metaanin valmistamisessa yhdessä uusiutuvan energian kanssa.

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

- Johtopäätökset selvitystyöstä ja biokaasuprosessin vety- ja hiilidioksidipohjaisesta tehostamisesta:
  - Biokaasu sisältää suuria määriä hiilidioksidia
    - Hyödynnettävissä pistemäisenä CO<sub>2</sub> lähteenä
    - CO<sub>2</sub>:n talteenotto biokaasulaitoksesta edullisin vaihtoehto toteuttaa
  - Hiilidioksidin käyttö laboratorioimittakaavan 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.

