

# YLIOPISTOJEN JA TUTKIMUSLAITOSTEN VETYTALouden KOULUTUSTARJONTA JA TKI-TOIMINTA

# Johdanto

Kansallinen vetyklusteri H2cluster Finland tilasi loppuvuodesta 2021 selvityksen suomalaisten yliopistojen ja tutkimuslaitosten vetytaloutta eteenpäin vievästä koulutustarjonnasta ja TKI-toiminnasta. Selvityksen toteutti FITech-yliopistoverkosto seitsemän yliopiston yhteistyönä. Mukana projektissa olivat Aalto-yliopisto, Oulun yliopisto, LUT-yliopisto, Tampereen yliopisto, Turun yliopisto, Vaasan yliopisto ja Åbo Akademi. Selvitysprojektia varten nimettiin projektiryhmä, jossa oli 1-3 edustajaa jokaisesta projektiin osallistuvasta yliopistosta. Lisäksi projektiryhmään kuului FITechin edustus.

Jokaisessa projektiin osallistuvassa yliopistossa toimi lisäksi selvitysryhmä, joka keräsi sekä opetusta että TKI-toimintaa koskevat tiedot omasta yliopistostaan ja raportoi tuloksensa projektiryhmälle.

Mainittujen yliopistojen lisäksi vastaavat tiedot kerättiin Jyväskylän yliopistosta, Itä-Suomen yliopistosta, Hankenilta, VTT:ltä sekä Luonnonvarakeskukselta (LUKE). Lisäksi kartoitettiin ammattikorkeakoulujen tutkimusaktiviteetteja.

Kerätyt tiedot linkitettiin vetyklusterin julkaiseman vetyarvoketjun vertikaalisiin osiin Energia, Vedyn tuotanto, Logistiikka sekä Tuotteet & Käyttö, ottaen kuitenkin huomioon systeemitason ja horinsontaaliset teemat.

Suomalaisten yliopistojen lisäksi tehtiin lyhyt katsaus muualta löytyvästä vetytalouteen liittyvästä koulutustarjonnasta.

## SUOMALAINEN VETYARVOKETJU

Uutta teknologiaa, liiketoimintamahdollisuuksia ja ilmastohyötyjä arvoketjun joka osassa



# Tiivistelmä

Yliopistojen koulutustarjonta kattaa laajasti vedyn koko arvoketjun. Vetyyn liittyvä koulutus on hajautettuna eri koulutusohjelmiin yksittäisinä kursseina tai niiden osina. Saatavilla on muutama laajempi moduuli, sisältäen vetyteknologiaa, vetytaloutta ja energian varastointia. Vetytalouden kehittäminen vaatii kuitenkin osaamista useilta eri aloilta, mukaan lukien energiajärjestelmät, sähkötekniikka, energiatekniikka, konetekniikka, rakennustekniikka, metallien tuotanto, prosessimetallurgia, meritekniikka, prosessitekniikka, kemianteekniikka, politiikka, yhteiskuntatieteet, talous ja energiamarkkinat, joihin nykyiset yliopistojen koulutusohjelmat ovat tuottaneet osaajia.

Iso kysymys on eri energiamarkkinat ja niiden yhdistyminen – Sähkömarkkina tulee vaikuttamaan vedyn ja sen johdannaisten markkinoihin ja päinvastoin. Sähköenergiajärjestelmän osalta Suomessa on vahva koulutusperinne, mutta energiajärjestelmän laajeneminen käsittämään sähköverkon ja vetytalouden vuorovaikutuksen sekä samalla sektorikytkennät sähköstä lämpöön ja sähköistettyyn liikenteeseen laajentavat osaamistarpeita ja luovat uusia koulutustarpeita.

Vetyarvoketjun laitteistojen ja järjestelmien toteuttaminen vaatii prosessikoneiden, -laitteiden ja järjestelmien valmistusosaamista sekä rakenteiden suunnitteluosaamista. Järjestelmien luotettavuus ja turvallisuus on myös keskeinen näkökulma.

Erillisten vetyteknikkaa ja -taloutta koskevien koulutusohjelmien sijaan olisi tarkoituksenmukaista kehittää vetyarvoketjuun liittyviä koulutuskokonaisuuksia, joita voitaisiin hyödyntää osana nykyisiä koulutusohjelmia. Luontevinta olisi toteuttaa vetyyn liittyvä uusi koulutustarjonta yhteistyönä eri yliopistojen kesken. Uudet kurssit tulisi mahdollisuuksien mukaan toteuttaa siten, että ne voidaan opiskella etänä ja itsenäisesti, jolloin ne voisivat palvella myös täydennyskoulutusta. *Työryhmä ehdottaa verkostotyyppistä yhteistyötä uusien vetytaloutta koskevien kurssien toteuttamiseksi siten, että yliopistot voivat hyödyntää toistensa tarjoamia kursseja osana koulutusohjelmiaan.*

TKI-toiminnan osalta tutkimuslaitosten ja yliopistojen osaaminen kattaa vedyn arvoketjun varsin hyvin. Suurimmat tarpeet laajentaa tutkimusta liittyvät energiajärjestelmän ja vetyjärjestelmän rajapintaan ja niiden vuorovaikutukseen, vetykaasuun liittyvän infran rakentamiseen, sekä vedyn ja vedystä edelleen kehitettävien ja jalostettavien tuotteiden viemiseen markkinoille.

Energiajärjestelmän ja vetyjärjestelmän rajapinnassa on syytä selvittää erilaisten joustavien resurssien hyödyntämistä eri järjestelmien kesken sekä sektorikytkentöjen sähkö-lämpö-vety vaikutusta järjestelmien dynamiikkaan.

Infran rakentaminen olisi toteutettava tavalla, joka maksimoi vihreästä vedystä saatavan hyödyn ja minimoi sen yksikkökustannukset loppukäyttäjän näkökulmasta. Vastaavasti lopputuotteiden jatkojalostus joutuu kilpailemaan nykyisten fossiilisiin tuotteisiin perustuvan talouden kanssa, mikä tuo omat haasteensa. Tällaisen kokonaisuuden hallinta vaatii markkinoiden seurantaa ja analysointia, sekä politiikan osalta regulaation seuraamista sekä sosioteknistä analyysiä.

Tutkimuslaitosten mielenkiinto kohdistuu myös laajasti erilaisiin tapoihin tuottaa vihreää vetyä. Esi-merkkinä näistä ovat vedyn tuotanto teollisuuden epäorgaanisista sivuvirroista, valokatalyyttinen vedynvalmistus, vedyn tuotanto päästökaasuista, biologinen vedyntuotanto, korkean lämpötilan yhdistetty vesihöyry- ja hiilidioksidielektrolyysi, anioninvaihtokalvoon perustuva elektrolyysi sekä merivesielektrolyysi.

*Työryhmä ehdottaa laaja-alaisen tutkimusohjelman käynnistämistä vetytalouden vaatiman osaamisen varmistamiseksi yhteistyössä yliopistojen, tutkimuslaitosten ja yritysten kesken.*

# Sisälllys

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Vetytalouteen liittyvä koulutustarjonta</b> | <b>5</b>  |
| Aalto-yliopiston koulutustarjonta              | 5         |
| LUT-yliopiston koulutustarjonta                | 8         |
| Oulun yliopiston koulutustarjonta              | 10        |
| Tampereen yliopiston koulutustarjonta          | 12        |
| Turun yliopiston koulutustarjonta              | 15        |
| Vaasan yliopiston koulutustarjonta             | 17        |
| Åbo akademin koulutustarjonta                  | 18        |
| <br>   |           |
| <b>Vetytalouteen liittyvä TKI-toiminta</b>     | <b>21</b> |
| Aalto-yliopiston TKI-toiminta                  | 21        |
| Hankenin TKI-toiminta                          | 24        |
| Itä-suomen yliopiston TKI-toiminta             | 25        |
| Jyväskylän yliopiston TKI-toiminta             | 27        |
| Luke:n TKI-toiminta                            | 30        |
| Lut-yliopistonTKI-toiminta                     | 32        |
| Oulun yliopiston TKI-toiminta                  | 35        |
| Tampereen yliopiston TKI-toiminta              | 39        |
| Turun yliopiston TKI-toiminta                  | 43        |
| Vaasan yliopiston TKI-toiminta                 | 44        |
| VTT:n TKI-toiminta                             | 47        |
| Åbo akademin TKI-toiminta                      | 49        |
| Ammattikorkeakoulujen TKI-toiminta             | 50        |
| <br>   |           |
| <b>Yhteenveto koulutus- ja TKI-toiminnasta</b> | <b>55</b> |

# Vetytalouteen liittyvä koulutustarjonta

## AALTO-YLIOPISTON KOULUTUSTARJONTA

### TAULUKKO: KOULUTUSKOKONAISUUDET AALTO-YLIOPISTOSSA

| Energia   | Vedyn tuotanto        | Logistiikka            | Tuotteet ja käyttö   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysarit       | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähkölpoltoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Aalto-yliopistossa vetyyn liittyvää koulutusta tapahtuu useissa koulutusohjelmissa, joista sähkötekniikkaan painottunut opetus tapahtuu **pääasiassa Sähkötekniikan ja automaation maisteriohjelmassa**. Ohjelman pakolliset kurssit 20 op koostuvat sähkötekniikan perustekniikoista, m.l. sähkökoneet, verkot, tehoelektroniikka ja käytöt. Pääaineen valinnaisiin kursseihin kuuluu ”[Energy Storage and Hydrogen](#)” kokonaisuus 25 op, sekä ”[Renewable Energy](#)” kokonaisuus 25 op. Näistä moduleista on tarjolla myös FITech Energy Storage versio. Myös osa pääaineen muista kursseista soveltuu täydennyskoulutukseen, vaikkakin pääpaino on tutkintokoulutuksessa.

Energiajärjestelmiin ja energiateknologioihin liittyvä koulutus tapahtuu suurelta osin **Aallon yliopistotason yhteisessä koulutusohjelmassa ”Advanced Energy Solutions”**, jonka neljä pääainetta liittyvät energiajärjestelmiin ja markkinoihin, yhdyskuntien energiaratkaisuihin, teollisuuden energiankäyttöön sekä energiamuotojen konversioihin. AAE-ohjelman yleisinä tavoitteina on antaa opiskelijalle perustiedot energiajärjestelmien toiminnasta, sekä kokonaisnäkemys eri energiamuotojen keskinäisistä riippuvuuksista laajoissa energiajärjestelmissä. Tavoitteena on myös antaa opiskelijoille kyvykkyudet analysoida ja arvioida energiaan liittyviä ongelmia ja haasteita, sekä erilaisten prosessien ja teknologioiden roolia näiden haasteiden ratkaisuisissa. Pääaineiden laajuus on 65 op. Pääaineista ensimmäinen antaa perustiedot energiajärjestelmien ja markkinoiden toiminnasta, sekä energiajärjestelmien haasteista siirryttäessä hiilivapaaseen järjestelmään: Sähköverkot, kaukolämpöverkot, energiamarkkinat, älykkäät sähköverkot, sähkön käyttö, sähköinen liikenne, sektorikytkentä sähkö-lämpö, energiajärjestelmien liityntä vetytalouteen. Kysynnän jousto, energiajärjestelmän ja -markkinoiden automaatio ja digitalisaatio. Opetus pääosin luentomuotoista. Osaa kursseista ollaan kehittämässä etäopiskeluun soveltuviksi myös koronan jälkeen.

Energiakonversioiden pääaineen tavoitteena on antaa perustiedot fysikaalisista ilmiöistä sekä tekniikoista muunnettaessa energiaa eri muotoihin. Lisäksi opiskelija tulee ymmärtämään eri energiamuotojen ja niiden välisen konversion roolin energiajärjestelmissä, ja pystyy suunnittelemaan erilaisia energian varastointi ja konversioratkaisuja. Opetus pääosin luentomuotoista. Pääosa kursseista on kehitetty etäopiskeluun soveltuviksi ja tätä on tarkoitus edelleen kehittää myös koronan jälkeen. Useita projektityökurseja, ryhmätöitä, laboratoriomittauksia, simulointiharjoituksia. Pääosassa opin-

tojaksoja ei ole tenttejä. Käsiteltäviä teemoja vetytalouteen liittyen ovat esimerkiksi: tuotanto, varastointi, käyttö, hallittu palaminen, reaktiivisten virtausten 0-3D simulointi, konversioprosessit sähköksi ja lämmöksi. Soveltuuko täydennyskoulutukseen ja miltä osin: sopii.

**Konetekniikan maisteriohjelma** liittyy vetyarvoketjuun mekaanisten koneiden ja rakenteiden sekä materiaalikysymysten kautta. Keskeisiä osa-alueita jotka voivat liittyä vedyn arvoketjuun ovat mekatronikka, meriteollisuus (merituulivoima), sekä materiaalien turvallisuus joka liittyy vedyn vaikutuksiin metallisissa rakenteissa. Ohjelma ei eksplisiittisesti sisällä vetyyn liittyvää erikoistumista, mutta sen kurssit liittyvät edellä mainitulla tavalla vedyn arvoketjuun.

**Georakentamisen maisteriohjelma** sisältää kursseja, jotka liittyvät maarakentamiseen, infrastruktuurien rakentamiseen, kaivostekniikkaan ja metallien tuotantoon. Liitynnän vetyarvoketjuun ovat voimalaitosten rakenteissa, maanalaisissa varastoissa, maanalaisissa infroissa sekä metallien jalostukseen liittyvissä teknologioissa. Osa kursseista soveltuu täydennyskoulutukseen tietyin rajoituksin.

**Tuotantotalouden maisteriohjelma** tuottaa kehittyvän vetytalouden ja vetyarvoketjun investointien, logistiikan ja tukitoimintoimintojen johtamisen kannalta relevanttia opetusta. Opetus kohdistuu erityisesti teknologiapohjaisen liiketoiminnan strategiseen johtamiseen, tuotekehitykseen, toimitusketjujen hallintaan, sekä projektien ja operaatioiden johtamiseen. Erityisesti vetytalouden ja vetyarvoketjun kehittämiseen liittyvää Aallon Tuotantotalouden opetustarjontaa on seuraavissa neljässä teemassa: 1) projektijohtaminen 2) teknologiainnovaatioiden johtaminen, 3) energiajärjestelmien tukitoimintojen sekä niihin liittyvien järjestelmien johtaminen (mukaan lukien arvon luominen ja operaatioiden johtaminen kehittyvässä vetytaloudessa, logistiikka, fyysisen omaisuuden hallinta ja ylläpito), sekä 4) energiateknologioihin liittyvä yhteiskunnallinen ja institutionaalinen muutos ja sen johtaminen. Näiden teemojen mukaisten kurssien sisällöt liittyvät keskeisenä vetyarvoketjuun, vaikka Tuotantotalouden ohjelman kurseja ei ole eksplisiittisesti rakennettu vetyyn ja vetyteknologiaan erikoistumisen näkökulmasta. Projektijohtamisen teeman (teema 1 yllä) ydinkursseja esitetään vetyklusterille 15 op:n koulutuskokonaisuutena. Muista teemoista (3 teemaa, eli teemat 2-4 yllä) esitetään tässä raportissa vain yleiskuvaus (teemoihin sisältyvien Tuotantotalouden ohjelman kurssien nimet); näiden kolmen teeman ja kurssien toteutuksen organisointia vetyklusterille kehitetään lähitulevaisuudessa Tuotantotalouden maisteriohjelmassa.

Tuotantotalouden maisteriohjelman näiden kaikkien vetyklusterille esitettyjen neljän teeman/koulutuskokonaisuuden osalta kontaktihenkilöt ovat Prof. Risto Rajala, Prof. Mikko Jääskeläinen ja Prof. Karlos Arto, joka vastaa myös alla esitetyistä "Aalto Project Management" - Projektijohtaminen -kokonaisuudesta, 15 op.

**Projektijohtaminen** -opetuskokonaisuus (teema 1, katso kokonaisuuden kuvaus jäljempänä). Projektijohtaminen -opetuskokonaisuuden lisäksi Tuotantotalouden maisteriohjelma tarjoaa vetyklusterin kannalta relevanttia opetusta seuraavista teemoista:

**Teknologiainnovaatioiden johtaminen** (TU-E1120 - Strategic Management of Technology and Innovation; TU-EV00013 Leading Innovation and Compatibility by Standardization)

**Energiajärjestelmien tukitoimintojen sekä niihin liittyvien järjestelmien johtaminen**, mukaan lukien arvon luominen ja operaatioiden johtaminen kehittyvässä vetytaloudessa, logistiikka, fyysisen omaisuuden hallinta ja ylläpito (TU-EV00012 - Platform Strategy: creating and executing an industry transcending platform strategy; TU-E2013 - Service Operations Management, TU-E2021 - Advanced Operations Management, TU-E2111 - Innovation in Operations and Services).

**Energiateknologioihin liittyvä yhteiskunnallinen ja institutionaalinen muutos ja sen johtaminen** (TU-EV0004 - Institutions and How to Change Them; TU-E3170 - Facilitating Change; TU-E6150 - Technology and Society)

**Projektijohtamisen koulutuskokonaisuus, yhteensä 15 op**

- » Introduction to Project Management (peruskurssi, myös suomeksi nimellä 'Projektien suunnittelu ja ohjaus'), 5cr
- » Advanced Project-based Management, 5cr
- » Strategic Project Management, 5 cr

**Soveltuuko täydennyskoulutukseen ja miltä osin:** soveltuu

**Tieto maksullisuudesta:** ei maksullisuutta, ilmainen

Muut oleelliset tiedot: Aallon projektijohtamisen opetuksessa erityisenä painotuksena on tuotantotalouden alaan liittyvä projektiliiketoiminnan näkökulma, jossa projekti ja sen johtamista toteutetaan liiketoimintojen muodostamassa laajemmassa ympäristössä. Yritykset toteuttavat ja uudistavat liiketoimintaansa projekteja johtamalla ('a project in business'), ja jokainen projekti on ainutkertainen kokonaisuus joka itsessään sisältää liiketoimintasisällön ('a project as business'). Keskeinen opetuksen ja tutkimuksen alue Aallon projektijohtamisessa on monitoimijaprojektit (projektiverkostot, projektitoimitusketjut), joissa projekti itsessään muodostaa ytimen joka toteuttaa uuden ja ainutkertaisen tuotoksen (innovaatio, uusi teknologia, tuote, palvelu, tai asiakkaalle toimitettava monimutkainen järjestelmä), ja joka projekti organisoidaan siten että lukuisat erilaisia osaamisia omaavat organisaatiot, yksiköt ja toimijat toimivat projektin 'resursseina' (= 'yritys resurssina, liiketoimintafokus projektissa'). Tämä näkökulma täydentää klassisempaa ja laajasti vallalla olevaa näkökulmaa, jonka mukaan projekteja toteutetaan yrityshierarkian sisällä siten, että projektit palvelevat 'resurssina' yhtä emo-yritystä (= 'projekti resurssina, liiketoimintafokus yrityksessä').

# LUT-YLIOPISTON KOULUTUSTARJONTA

## TAULUKKO: KOULUTUSKOKONAISUUDET LUT-YLIOPISTOSSA

| Energia   | Vedyn tuotanto        | Logistiikka            | Tuotteet ja käyttö   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

LUT Sähkötekniikan osaston **Sähköverkot ja markkinat pääaineen** moduuli 53 op käsittää sähkön tuotannon, käytön ja konversioiden osalta liittynän vetyarvoketjuun. Moduulin suoritettuaan opiskelija osaa selittää sähkömarkkinoiden toiminnan pääpiirteet ja pystyy soveltamaan näitä tietoja ja taitoja sähkömarkkinoiden operatiivisessa toiminnassa. Opiskelija osaa suunnitella sähköjako- verkkoja ja johtaa sähköverkkoliiketoiminnan kehittämistä, sisältäen sähkötekniikan suunnittelun, suojausten suunnittelun, verkkojen teknistaloudellisen mitoituksen sekä sähköverkkoliiketoiminnan strategisen suunnittelun ottaen huomioon sähköverkkoihin liittyvän regulaation rajoitteet ja mahdollisuudet. Lisäksi opiskelija osaa hyödyntää alan tuoreinta tutkimustietoa ja tunnistaa keskeiset tekni- sen ja sähkömarkkinakehityksen vaikutukset sähköenergiajärjestelmässä.

Moduulin kurssit on suunniteltu tutkinto-opiskelijoille, mutta suurin osa teoriakursseista on tarjolla sellaisenaan avoimessa yliopistossa. Kurssit ovat pääosin etäopiskeltavia. Avoimen yliopiston kurssit maksavat 15 €/opintopiste.

Edelliselle rinnakkainen moduuli on **”Solar Economy”** 41 op, jonka suoritettuaan opiskelija osaa se- littää sähkömarkkinoiden toiminnan pääpiirteet ja osaa kuvata uusiutuvan energiantuotannon laite- tekniikkaa sekä tunnistaa uusiutuvan energiantuotannon projekteihin ja talouteen liittyviä kysymyk- siä. Lisäksi opiskelija osaa kuvata ja selittää uusiutuvan energian muuntoprosesseja sekä kykenee luotettavaan investointi- ja systeemisuunnitteluun.

Toinen rinnakkainen moduuli on **”Power Electronics Design”** 35 op, jonka suoritettuaan opiskelija osaa kuvata keskeisimpien tasa- ja vaihtosuuntaajien sekä hakkuriteholähteiden toiminta- ja ohjaus- periaatteet. Opiskelija osaa myös suunnitella tehoelektroniikan päävirtapiiriratkaisuja eri sovellus- kohteisiin. Opiskelija ymmärtää perus AC-DC ja DC-AC -konverteritopologioiden säätöperiaatteet ja määrittää niille parametrit.

Vastaavasti **”Energy Conversion”** moduuli 53 op keskittyy erilaisiin energian konversioiden proses- seihin ja valmistaa opiskelijan analysoimaan niitä teknologian, talouden, ympäristön ja sosiaalisten aspektien suhteen.

LUT Energiatekniikan osaston **Bioenergiajärjestelmien maisteriohjelmassa** keskitytään erilaisiin energian konversioprosesseihin teknologiselta, taloudelliselta, ympäristön ja talouden kannalta.

LUT **Konetekniikan** osaston moduulit ”Welding Production and Metallurgy” ja ”Steel Structures” si- sältää vetyarvoketjun konetekniikkaan liittyvää koulutusta 24-25 op edestä.

Edellisen lisäksi on todettava, että LUT-yliopistossa on erittäin vahva koulutuskokonaisuus ydinener- giatekniikasta.



LUT **Kemiantekniikan** verkko-opintojaksolla Membrane Technology yhtenä teemana on kaasuerotus membraaneilla. LUT Kemiantekniikan koulutusohjelmaan tulee lukuvuoden 2022-2023 aikana kaksi uutta verkko-opintojaksoa, joissa teemoina ovat arvoketjun Tuotteet ja Käyttö vaiheen P2L-kemikaalit ja jalostusprosessit.

LUT **Tuotantotalous** ja LUT **Kauppätieteet** tuottavat vetyarvoketjun tukitoimintoihin liittyviä koulutusmoduuleita. Tarjolla on [digitaalisen palveluprosessin](#), [data-analytiikka päätöksenteossa](#), [business analytics](#), [toimitusketjun prosessien](#) ja [hankinnan päätöksenteon](#) koulututusta tuotantotalouden DI ja kauppätieteiden maisteri -ohjelmissa 120 op.

LUT Tuotantotalouden yksittäisistä opintojaksoista vetytalouden arvoketjua tukevia opintojaksoja ovat mm:

[Teollinen internet ja tuotantotalouden sovellukset 6 op](#)

[Kunnossapidon johtaminen ja talous 6 op](#)

[LEAN Leaders -valmennus 6 op](#)

[Investointihankkeiden elinkaarilaskelmat 6 op](#)

Nämä opintojaksot ovat tarjolla avoimessa yliopistossa.

Syksyllä 2023 LUT:ssa käynnistyy **yhteiskuntatieteiden koulutus**, jossa opetuksen painotus on kansainvälisyyteen ja käyttäytymistieteisiin nojaavissa yhteiskuntatieteissä. Opiskelijoistamme kasvaa tulevaisuudentekijöitä, jotka ratkaisevat suuria globaaleja haasteita ja uudistavat yhteiskuntaa vastuullisesti

# OULUN YLIOPISTON KOULUTUSTARJONTA

## TAULUKKO: KOULUTUSKOKONAISUUDET OULUN YLIOPISTOSSA

| Energia   | Vedyn tuotanto        | Logistiikka            | Tuotteet ja käyttö   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Oulun yliopistossa aihealueen koulutus perustuu vetytalouteen kytkeytyvien ilmiöiden ja kokonaisuuksien opettamiseen muun koulutuksen yhteydessä siten, ettei erillisiä vetykoulutusmoduuleja ole vielä käynnissä. Opetus on perustutkinto-opiskelijoille suunnattua, mutta osa kursseista soveltuu sellaisenaan täydennyskoulutukseen. Tarjolla oleva vetytaloutta tukeva koulutus jakautuu seuraavasti:

- » Fysiikan opinnot: 10 kurssia, yhteensä 50 op, liityntäpintaa laajasti koko arvoketjussa; mahdollisuus täydennyskoulutukseen
- » Prosessitekniikan tutkinto-ohjelma prosessimetallurgian moduuli: 6 kurssia, yhteensä 30 op, liityntä 4.4. ja 4.5; sisällöllisesti soveltuu täysin täydennyskoulutukseen
- » Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma: 5 kurssia, yhteensä 25 op, liityntä 1.1-1.5, 2.1, 2.4, 3.5, 4.3 ja 4.8; sisällöllisesti soveltuu täydennyskoulutukseen
- » M.Sc. program in Chemistry "Sustainable processes and materials": 4 kurssia, yhteensä 20 op, liityntä 1.5., 2.2-2.4, 3.5 ja 4.5; sisällöllisesti soveltuu täydennyskoulutukseen
- » Konetekniikan tutkinto-ohjelma, materiaalitekniikka, 8 kurssia, yhteensä 45 op, liityntä 4.5., 4.6., 5.1. Rautametallit – Ferrous metals ja 5.2 Ei rautametallit – Non ferrous metals; sisällöllisesti soveltuu täysin täydennyskoulutukseen
- » Konetekniikan tutkinto-ohjelma, Auto- ja työkonetekniikka, 4 kurssia, yhteensä 20 op, liityntä 3.2-3.5, 4.1-4.2, 4.6-4.9; sisällöllisesti soveltuu täysin täydennyskoulutukseen
- » Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma Project business moduuli: englannin kielinen, 5 kurssia, yhteensä 25op, sisällöllisesti soveltuu täysin täydennyskoulutukseen

Tuotantotalous on toteuttamassa kolmea Strategic project business -kurssia, yhteistyössä TUT, Aalto ja Åbo Akademin kanssa Fitech -kursseina. Tämä on osoittautunut hyväksi toimintatavaksi ja tätä kautta ollaan tarjoamassa kursseja myös vetyarvoketjuun. Lisäksi prosessimetallurgian opintokokonaisuutta ollaan vuoden 2022 aikana uudistamassa siten, että opintokokonaisuus on nykyistä paremmin suoritettavissa ajasta ja paikasta riippumattomasti (mikä tukee mahdollisuutta hyödyntää koulusta osana tutkinnon ulkopuolisia täydennyskoulutuksia), sekä siten, että yhteistyötä Luulajan Teknillisen yliopiston kanssa vetytalouteen liittyvässä koulutuksessa tullaan kasvattamaan merkittävästi mm. yhteisten oppimateriaalien valmistuksen muodossa.

Oulun yliopiston tavoitteena on rakentaa 30op suuruinen *Vetytalous* -moduuli, jossa on "Vetytalouden perusteet, 5op" taustoittava peruskurssi kaikille (ei vaadi taustatietoja, avoimen yliopiston kautta). Moduulin muu sisältö nojaa olemassa olevien arvoketjun eri osiin liittyvien kurssien päivittämiseen 'vety-sisällöllä'.

**Koulutusmoduuli Project business** (Prof. Jaakko Kujala). Oulun yliopisto / tuotantotalouden tutkimusohjelma. Pääaine 20+ 5op. Opetuskieli: Englanti

Moduulin laajuus (op): 20op + 5op

**Luettelo sisältyvistä kursseista:**

- » 555288A Project management, 5op
- » 555393S Capstone project: project management in different industries: 5 op
- » 555382S Management of a project based-firm, 5op
- » 555391S Advanced course in project management, 5op
- » 555393S Change project management (5op)

Kurssit toteutetaan vuosittain, kaikilla kursseilla luento-opetusta ja painopiste itsenäisessä työskentelyssä. Koko moduulin tavoitteena on tarjota mahdollisimman pitkälle ajasta ja paikasta riippumaton opetus. Opetus on pyritty suunnittelemaan siten, ettei toteutus ole sidottu opiskelijamäärään. Kaikki kurssit on suunniteltu siten, että niihin osallistuminen olisi mahdollista myös työelämässä oleville opiskelijoille ja pääosa oppimiseen käytetystä ajasta tehdään itsenäisesti tai ryhmissä omalla aikataululla.

Tieto maksullisuudesta: Kurssit ovat osa perusopetuksen tarjontaa, ja suunnitelma on mahdollistaa myös kokonaisuuden opiskelu avoimen yliopiston (ja/tai muiden vastaavan tyyppisten järjestelyiden kautta).

# TAMPEREEN YLIOPISTON KOULUTUSTARJONTA

## TAULUKKO: KOULUTUSKOKONAISUUDET TAMPEREEN YLIOPISTOSSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIIKKA            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysarit       | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           | Valosähkökemillinen   | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Tampereen yliopisto tekee nyt laaja-alaista ja monitieteistä vetyyn liittyvää koulutusta. Aihepiiri nähdään niin tärkeäksi, että yliopisto on tekemässä siitä omaa strategiaansa. Tämän hetken painopisteet vetyyn liittyvässä koulutuksessa ovat:

- » **Aurinko:** [mika.valden@tuni.fi](mailto:mika.valden@tuni.fi) (fotoniikka, pintatieteet, valosähkökemiallinen vety, PREIN lippulaiva), [nikolai.tkachenko@tuni.fi](mailto:nikolai.tkachenko@tuni.fi) (valoherkät yhdisteet ja materiaalit), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, aurinkosähkö, aurinkokennot), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena)
- » **Tuuli:** [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, tuulisähkö, tuulivoimatekniikka), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena)
- » **Vesivoima:** [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena)
- » **Biokaasut:** [marika.kokko@tuni.fi](mailto:marika.kokko@tuni.fi), [jukka.rintala@tuni.fi](mailto:jukka.rintala@tuni.fi) (bioreaktorit), [mikko.hokka@tuni.fi](mailto:mikko.hokka@tuni.fi) (bio-based materials), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena)
- » **Elektrolyysarit:** [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, water splitting), [mika.valden@tuni.fi](mailto:mika.valden@tuni.fi) (fotoniikka, pintatieteet, valosähkökemiallinen vety), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (keraamiset materiaalit mm. katalyysissa)
- » **Termokatal. hajottaminen:** [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (keraamiset materiaalit mm. katalyysissa,
- » energiatekniikan materiaalit, energiankonversion periaatteet, uusiutuva energia, energian varastointi), [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (vetyteknologia, biojalostamot), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, polttokennot ja vetyteknologia)
- » **C talteenotto/varasto ja C talteenotto/käyttö:** [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (polttokennot, vetyteknologia, biojalostamot), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (keraamiset materiaalit mm. katalyysissa,
- » energiatekniikan materiaalit, energiankonversion periaatteet, uusiutuva energia, energian varastointi)
- » **Tehoelektroniikka:** [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, aurinkosähkö, aurinkokennot, tuulienergia, vetypolttokennot, Dynamic Analysis of Power Electronics Converters), [tomi.roinila@tuni.fi](mailto:tomi.roinila@tuni.fi) (Hydrogen related DC-DC + DC-AC conversions, hydrogen related converter control solutions)

- » **Valosähkökemillinen vedyn tuotanto:** [mika.valden@tuni.fi](mailto:mika.valden@tuni.fi) (fotoniikka, pintatieteet, valosähkökemiallinen vety), [nikolai.tkachenko@tuni.fi](mailto:nikolai.tkachenko@tuni.fi) (valoherkät yhdisteet)
- » **Sähkö/vetyverkosto:** [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [pertti.jarventausta@tuni.fi](mailto:pertti.jarventausta@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena), [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi), [pertti.jarventausta@tuni.fi](mailto:pertti.jarventausta@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähköverkot ja jakelu, energian joustot)
- » **Nesteyttäminen:** [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (polttokennot, vetyteknologia, biojalostamot)
- » **Varastointi:** [essi.sarlin@tuni.fi](mailto:essi.sarlin@tuni.fi) (vetyä läpäisemättömät materiaalit, komposiitit, polymeerit)
- » **Toimitusketju, liikenne:** [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (Electric Energy Storage and Electric Vehicles)
- » **Polttokennot:** [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (polttokennot, vetyteknologia, biojalostamot), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (polttokennot ja vetyteknologia), [stephen.wright@tuni.fi](mailto:stephen.wright@tuni.fi) (lentäminen ja polttokennot), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (energiatekniikan materiaalit, energiankonversion periaatteet, uusiutuva energia, energian varastointi)
- » **Infra luonnonkaasulle:** [essi.sarlin@tuni.fi](mailto:essi.sarlin@tuni.fi) (vetyä läpäisemättömät materiaalit, komposiitit, polymeerit), [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (vetyteknologia, biojalostamot)
- » **Integroitu verkosto:** [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähköverkot, jakelu, varastointi, energiajoustot, Distributed Energy Resources in Electric Networks)
- » **Polttokennot:** [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (polttokennot, vetyteknologia, biojalostamot), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (polttokennot ja vetyteknologia), [stephen.wright@tuni.fi](mailto:stephen.wright@tuni.fi) (lentäminen ja polttokennot), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (energiatekniikan materiaalit, energiankonversion periaatteet, uusiutuva energia, energian varastointi), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena)
- » **Sähköpolttoaineet:** [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (polttokennot ja vetyteknologia), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (Energiatekniikan materiaalit, energiankonversion periaatteet, uusiutuva energia, energian varastointi), [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena), [topi.ronkko@tuni.fi](mailto:topi.ronkko@tuni.fi), [jorma.keskinen@tuni.fi](mailto:jorma.keskinen@tuni.fi) (sähköpolttoaineet maa, meri, ilma, monipuolinen ja mobiili kaasujen ja hiukkasten karakterisointi-infrastruktuuri)
- » **Jalostusprosessit:** [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi) (systeemien hallinta), [marika.kokko@tuni.fi](mailto:marika.kokko@tuni.fi), [jukka.rintala@tuni.fi](mailto:jukka.rintala@tuni.fi) (bioreaktorit), [mikko.hokka@tuni.fi](mailto:mikko.hokka@tuni.fi) (energiatekniikan materiaalit),
- » **Metallien tuotanto:** [pasi.peura@tuni.fi](mailto:pasi.peura@tuni.fi) (vedyllä pelkistetyn teräksen käyttö fossiilivapaiden ohutlevyterästen valmistuksessa), [mikko.hokka@tuni.fi](mailto:mikko.hokka@tuni.fi) (energiatekniikan materiaalit)
- » **Ventt.Turb.moottorit:** [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (energiatekniikan materiaalit)
- » **Voimakoneet:** [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi), [tatiana.minav@tuni.fi](mailto:tatiana.minav@tuni.fi), [jouni.mattila@tuni.fi](mailto:jouni.mattila@tuni.fi) (liikkuvat työkonet ja niiden voimansiirto sekä koneet sähköntuotantoon), [kalevi.huhtala@tuni.fi](mailto:kalevi.huhtala@tuni.fi) (laivamoottorit), [stephen.wright@tuni.fi](mailto:stephen.wright@tuni.fi) (lentävien laitteiden voimanlähteet)
- » **CHP:** [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (energian tuotanti ja energiaverkot), [tatiana.minav@tuni.fi](mailto:tatiana.minav@tuni.fi) (Zero-Emission Hybrid Mobile Machinery), [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi) (systeemien hallinta)
- » **Sähköistäminen:** [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi), [tatiana.minav@tuni.fi](mailto:tatiana.minav@tuni.fi) (liikkuvien työkonien sähköistäminen), [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena)

**Horisontaalialueet:**

- » Energiamarkkinat, energijoustot energiavarannot: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi)
- » Energiapolitiikka (vihreä siirtymä, verotus, energiatuet): [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi)
- » Laki ja regulaatio: [pertti.jarventausta@tuni.fi](mailto:pertti.jarventausta@tuni.fi)
- » Energia- ja siirtotariffit: [pertti.jarventausta@tuni.fi](mailto:pertti.jarventausta@tuni.fi)
- » Liiketoimintamallit: [saku.makinen@tuni.fi](mailto:saku.makinen@tuni.fi) (fuel value chains, off-grid value chains, earning models, business models)
- » Ohjelmistot: [david.hastbacka@tuni.fi](mailto:david.hastbacka@tuni.fi), [kari.systa@tuni.fi](mailto:kari.systa@tuni.fi) (computing infrastructure (Edge+ data centers), communication infrastructure, emerging ICT technologies (standards, adoption))
- » ympäristökasvatus: [mika.a.koponen@tuni.fi](mailto:mika.a.koponen@tuni.fi) (opettajien koulutus vetykoulutuksen valmiuksiin), [kirsipauliina.kallio@tuni.fi](mailto:kirsipauliina.kallio@tuni.fi) (ympäristökasvatus)

**Tulevaisuudessa:**

- » lisätään painopisteiden välistä monitieteistä yhteistä tutkimustekemistä
  - yhteiset rahoitushakemukset
  - mahdollinen oma tutkimusalusta
- » vahvistetaan strategisesti valittuja alueita
- » linkitetään tutkimus ja koulutus keskeisiin aloitteisiin, erityisesti SIX Moving Machines

# TURUN YLIOPISTON KOULUTUSTARJONTA

## TAULUKKO: KOULUTUSKOKONAISUUDET TURUN YLIOPISTOSSA

| Energia   | Vedyn tuotanto        | Logistiikka            | Tuotteet ja käyttö   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           | Fotosynteesi          | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Moduuli **”Energiateknologian materiaalien opinnot”**, 20 op. Turun yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Kone- ja materiaalitekniikan laitos, pääaine. Opetuskieli: englanti. Moduulin osaamistavoitteet: Moduulin suoritettuaan opiskelija osaa kuvata uusiutuvat energiantuotantotavat ja osaa soveltaa materiaalitekniikan osaamistaan energiajärjestelmien mallinnukseen ja materiaalivalintoihin. Hän osaa myös analysoida ainakin yhden tulevaisuuden energiantuotantomenetelmän toimintaa ja osaa arvioida sen käytettävyyttä. Luettelo sisältyvistä kursseista, sisältäen seuraavat tiedot: nimi, laajuus, osaamistavoitteet, suoritustapa (luento, labra, verkko-opetus, itseopiskelu), toteutustapa (kuinka usein, opiskelijamäärän rajoitteet).

### Pakolliset opinnot:

Electrical Energy Storage Systems - Solar Energy Engineering - New Energy Technologies

### Valinnaiset kurssit:

Towards Bio-based Finland  
Semiconductors  
Functional Materials  
Materiaalitekniikan erikoiskurssi  
Applied Photosynthesis Research - Theory  
Applied Photosynthesis Research - Practice  
Nanomaterials in Energy Technology  
Chemistry in the Energy Technology  
Electrical Transport in Solids and Interfaces  
Machine Learning for Materials Science

Suoritustapa kaikille kursseille on kontaktiopetus (luento/hybridi), toteutus tyypillisesti kerran vuodessa, opiskelijamääriä ei vielä ole ryhdytty rajoittamaan. Voisi soveltua täydennyskoulutukseen, mutta vaatisi hiukan muokkausta. Tieto maksullisuudesta: ei tarjota tällä hetkellä Turun yliopistojen ulkopuolisille opiskelijoille.

**Kemian** laitoksen puolella monet kemian kurssit liittyvät tietenkin vetytalouteen ihan perustasolla, lisäksi **fysiikan** laitoksella tarjotaan menetelmäkursseja, joilla on osittaista relevanssia vetyarvoketjuun liittyen:

Elektroni- ja ionispektroskopia

Experimental Methods in Condensed Matter Physics  
FEM-mallinnus  
Fysiikan mittausmenetelmät  
Klassiset simulaatiomenetelmät fysiikassa  
Materiaalien kuvantamismenetelmät (syventävät opinnot)  
Sähköstatiikka  
X-Ray Methods for Materials Characterization

Lisäksi biotekniikassa opetetaan vetyyn liittyvää kurssia Applied photosynthesis research.

Opetus tapahtuu osana normaalia vuosittaista opetustoimintaa, pääosin kontaktiopetuksena. Täydennyskoulutukseen soveltuvuus vaatisi muutosta etäopetukseen.



# VAASAN YLIOPISTON KOULUTUSTARJONTA

## TAULUKKO: KOULUTUSKOKONAISUUDET VAASAN YLIOPISTOSSA

| Energia   | Vedyn tuotanto        | Logistiikka            | Tuotteet ja käyttö   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Energia ja kestävä kehitys on yksi Vaasan yliopiston kolmesta vahvuusalasta. Vetyarvoketjua koskeva koulutus ja tutkimus nojaavat erityisesti tähän vahvuusalaan.

Yliopiston vetyarvoketjua koskeva koulutus sisältyy pääosin energiatekniikan oppiaineen syventäviin ja niitä tukeviin opintoihin, joissa vetyyn liittyviä asioita opetetaan useassa kurssissa läpäisyperiaatteella. Pääpaino on vetyä hyödyntävissä tuotteissa ja vedyn käytössä.

Arvoketjuun sovitettuna koulutus painottuu kohtiin 4.6-4.8 ja näissä erityisesti vetymootoreihin, muihin voimakoneisiin, yhdistettyyn lämmön- ja sähköntuotantoon (CHP) sekä sähköpolttoaineisiin (4.2). Jossain määrin opinnoissa käsitellään myös vetyarvoketjun kohdan 1 asioita, aurinko-, tuuli-, ydin- ja vesivoimaa sekä biokaasua. Perusteita opetetaan kohdista 2.1. elektrolyysit, 3.2. nesteyttäminen ja 3.3. varastointi.

Opetus keskittyy **Energiatekniikan DI-tutkinnon pääaineeseen**, ja siellä syventävään moduuliin 40 op. Osaamistavoitteet: moduulin suoritettuaan opiskelijalla on sellaiset tiedot, taidot ja asenteet, että hän osaa

- » kuvata globaalia ja paikallista energiahuoltoa
- » arvioida ja verrata energiantuotantotapoja teknisesti ja talouden näkökulmasta sekä punnita energiantuotannon vaihtoehtoja
- » laskea energiataseita ja päästömääriä
- » suunnitella ja tutkia energiatekniikan laitteita, prosesseja ja järjestelmiä, mukaan lukien päästöjenvähentämisyjärjestelmät
- » soveltaa energiatekniikan menetelmiä teollisuuden ja muiden alojen sovelluksissa
- » johtaa energiatekniikan tuotanto-, tuotekehitys- ja suunnitteluhankkeita ja projekteja
- » kehittää energiatekniikan menetelmiä, mm. tietokonemalleja, mittaus-, tiedonkeruu- ja -siirto-menetelmiä
- » käyttää tiedonlähteitä kriittisesti ja tuottaa uutta energiatekniikan tietoa.

Syventymiskohteita ovat edellä mainitun mukaisesti erityisesti uusiutuvat polttoaineet ja energianlähteet, hajautettu energiantuotanto, polttomoottorit ja niihin perustuvat hybridit energialaitokset, pako- ja savukaasujen puhdistus, sekä näihin liittyvät tiedonkeruu- ja -siirtotekniikat. Opinnot soveltuvat täydennyskoulutukseen kaikilta osin, mutta fysiikan, kemian, matematiikan ja termodynamiikan perustiedot on oltava.

# ÅBO AKADEMIN KOULUTUSTARJONTA

## TAULUKKO: KOULUTUSTARJONTA ÅBO AKADEMISSA

| Energia   | Vedyn tuotanto        | Logistiikka            | Tuotteet ja käyttö   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähkölpoltoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Åbo Akademin toiminta liittyy pitkälti hiilidioksidin talteenottoon sekä vedyn käsittelyyn, jakeluun ja käyttöön. Aihepiiriin liittyy myös biomassan kaasutus sekä sen ja vedyn käyttö CHP-voimalassa. Arvoketjuun liittyviä koulutuskokonaisuuksia ovat:

### “Energy and Environment”, 20 op. Valittava neljä kurssia kuuden joukosta:

1. Gas Technology
2. Energitransition och hållbar utveckling
3. Biofuels Engineering and Energy Technology
4. Fluids, particles and CFD
5. Environmental Engineering and Design
6. Chemistry in energy technology

Kurssit ovat osa ÅA:n normaalia opetustarjontaa ja tarjolla vuosittain, ja suurelta osin myös osallistuttavissa etänä. Ne soveltuvat täydennyskoulutukseen, koska luennot ovat tarjolla myös verkon kautta. Osa kursseista luettavissa FITech Energy Storage -hankkeen puitteissa.

### “Sustainable Energy Technology”, 20 op. Valittava neljä kurssia seitsemän joukosta:

- » Energy Technologies in Process Industry
- » Refrigeration
- » Transport processes (joka toinen vuosi)
- » Advanced process thermodynamics (joka toinen vuosi)
- » New energy technologies
- » Combustion chemistry
- » Chemistry in energy technology

Kurssit ovat osa ÅA:n normaalia opetustarjontaa ja tarjolla vuosittain, ja suurelta osin myös osallistuttavissa etänä. Ne soveltuvat täydennyskoulutukseen, koska luennot ovat tarjolla myös verkon kautta. Osa kursseista luettavissa FITech Energy Storage -hankkeen puitteissa.

### “Process Design”, 20 op. Valittava neljä kurssia seitsemän joukosta:

- » Process Plant Design

- » Fluids, particles and CFD
- » Reaction kinetics
- » Production Optimization
- » Avancerade Reaktorsystem
- » Modelling of Dynamic Systems (Joka toinen vuosi)
- » Multivariabel reglering (Joka toinen vuosi)

Kurssit ovat osa ÅA:n normaalia opetustarjontaa ja tarjolla vuosittain, ja suurelta osin myös osallistuttavissa etänä. Ne soveltuvat täydennyskoulutukseen, koska luennot ovat tarjolla myös verkon kautta. Osa kursseista luettavissa FITech Energy Storage -hankkeen puitteissa.

”Project & Industrial Management”, 20 op. Kurssit ovat osa ÅA:n normaalia opetustarjontaa ja tarjolla vuosittain, ja myös osallistuttavissa etänä (pl. Projektinjohtamiskurssiin kuuluva sertifiointikoe). Kurssit soveltuvat täydennyskoulutukseen, koska luennot ovat tarjolla myös verkon kautta. Kurssit ovat osa FITech tarjontaa, myös FITech Energy Storage hanketta, eli tarjolla maksuttomasti ainakin 2023 loppuun (mahd. kevääseen 2024).

Tuotantotalouden sivuaine (Prof. Kim Wikström ja Magnus Hellström). Laajuus 5-20 ov. Osaamistavoitteet: This minor gives students skills needed in how to successfully conduct projects in industries and infrastructure, as for example energy, shipbuilding and innovative start-ups. Participating in these courses gives the student excellent capabilities in how projects are conducted and the requirements in international project business. Students are also trained in how projects are planned through feasibility studies and business ecosystem studies. **Luettelo sisällyvistä kursseista:**

- » Project management, 5 ECTS
- » Industrial value creation, 5 ECTS
- » Advanced Project-based Management, 5 ECTS
- » Business Models and Ecosystems, 5 ECTS
- » Soveltuu kokonaisuudessaan täydennyskoulutukseen. Maksuton yliopisto-opiskelijoille.

## KOULUTUSTARJONTA MUISSA MAISSA

Vetyyn liittyvää koulutustarjontaa muissa maissa kartoitettiin tekemällä Internet-hakuja yliopistojen maisteriohjelmista ja vetytaloudesta. Suoraan vetytalouteen liittyviä kokonaisuuksia löytyi tällä tavoin hakemalla yllättävän vähän:

### **Master's Program in the Department of Hydrogen Energy Systems, Kyushu University**

Englanninkielinen maisteriohjelma hakee opiskelijoita konetekniikan taustalla. Ohjelma keskittyy seuraaviin osa-alueisiin. Vedyn käyttö: vetyä hyödyntävät prosessit, polttokennojärjestelmät, vedyn tuotannon prosessit, vety ja energijärjestelmä. Vedyn varastointi. Materiaalit ja koneensuunnittelu: kiinteän aineen mekaniikka, tribologia, materiaalit. Virtausmekaniikka.

**Master Program "Energy Engineering" specialization "Fuel cells and hydrogen technology", Aalborg University.** Vetyteknologia on yksi pääaine energiatekniikan maisteriohjelmassa. Opetus on ongelmalähtöistä, ja se keskittyy hyvin voimakkaasti polttokennojen ympärille, käsittäen virtausmekaniikkaa, stokastisien prosessien hallintaa, todennäköisyyslaskentaa, laskennallista virtauksen mallintamista, polttoaineiden konversiotekniikkaa, kemiallisia reaktoreita ja prosesseja sekä polttokennosysteemien mallintamista ja optimointia. Merkittävä osa opiskelusta tapahtuu jatko-opiskelijoiden ohjaamissa projekteissa.

### **Fuel Cell and Hydrogen Technologies Masters Programme, University of Birmingham.**

Ohjelma on voimakkaasti fokuoitunut polttokennojen ympärille. Ydinkurssit sisältävät seuraavia teemoja: Polttokennojen teknologia, mallintaminen ja ohjaus. Vety ja vedystä johdetut polttoaineet. Vetyturvallisuus. Lisäksi valitaan neljä kurssia listalta, jolla on seuraavia aiheita: sähkökemian, energiavarastot, polttokennot ajoneuvoissa, korkealämpötilapolttokennot, matalalämpötilapolttokennot, uusiutuva energia.

**Master Programme in Sustainable Energy, study line "Energy Conversion and Storage", DTU.** DTU:n energiamaisteriohjelmassa yksi erikoistumisvaihtoehto on energian konversiot ja varastointi. Erikoistumisosio sisältää 30 op verran kursseja seuraavista aiheista: toiminnalliset materiaalit, uusiutuvan energian fysiikka, fysikaalinen kemia, katalyyysi, vihreät polttoaineet ja power-to-x, vety ja polttokennot, sähkökemian, akut, laskennalliset tekniikat energiasovelluksissa.

# Vetytalouteen liittyvä TKI-toiminta

## AALTO-YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

### TAULUKKO: VETYTALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS AALTO-YLIOPISTOSSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIIKKA            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähkölpoltoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L – kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Sähkökäyttöjen tutkimusryhmä (Prof. Marko Hinkkanen). Tutkimusryhmän tavoitteena on kehittää älykkäästi ohjattuja **tehoelektronisia, sähkömekaanisia ja sähkökemiallisia järjestelmiä** tulevaisuuden monimuotoisen energiajärjestelmän tarpeisiin. Tutkimusryhmän erityisosaamista on reaaliaikaisten säätö-, identifiointi- ja monitorointimenetelmien kehittäminen sekä epälineaaristen järjestelmien dynaaminen mallinnus ja analyysi. Tutkimusryhmä on mukana Suomen Akatemian huippuyksikössä *High-Speed Electromechanical Energy Conversion Systems (HiECSs)*, jossa tavoitteena on kehittää sähkökonekäyttöjä vetyteknologian tarpeisiin aikavälillä 2022–2029. Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: Noin 6 tohtorikoulutettavaa, 600 k€/vuosi. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: Aalto ePower Hub ja muut Aallon infrat.

Laskennallisen sähkömekaniikan tutkimusryhmä (Prof. Anouar Belahcen). **Suurnopeus-energian muunnosjärjestelmät osana vedyn siirtoa ja käyttöä.** Laajuus 500 k€ /v. Mukana HiECS:ssä, jossa muut jäsenet VTT, LUT ja TAU. CoE rahoitus AKAlta aloittamassa 2022. Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Miten saadaan vetyturbiinit toimimaan yhdessä suurnopeus koneiden kanssa ja missä sovelluksissa.

Sähköenergiajärjestelmien tutkimus (Prof. Mahdi Pourakbari. Prof. Matti Lehtonen). Vihreä siirtymä ja **hiilivapaa energiajärjestelmä. Sähköverkon ja vetytalouden integrointi ja vuorovaikutus.** Vetytaloudelle keskeiset tutkimusteemat ja niiden liittyminen vetyarvoketjun osiin: Älyverkot, kysynnän jousto, siirtoverkot, jakeluverkot, sähkö-lämpö-sektorikytkentä, liikenteen sähköistäminen, kysyntäjousto ja järjestelmän tasapainon hallinta, energiavarastojen integrointi energiajärjestelmiin.

Energiajärjestelmän kokonaisoptimointi, energiajärjestelmän operoinnin hallinta ml varastot ja joustavat kuormat, sektorikytkentä ja sen vaikutukset energiajärjestelmän käyttöön ja laajennusten suunnitteluun. Sähkö-lämpö-sähköinen liikenne-vetytalous yhdessä järjestelmässä. Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: noin 12 htv/vuosi. Yhteistyötä m.m. LUT,UVA,TUNI,VTT. Edinburgh, TU Dresden, sekä sähkö- ja energiateollisuus.

Metallurgian tutkimusryhmä (Prof. Ari Jokilaakso). **Fossiilisen koksen korvaaminen vedyllä metallien valmistuksessa.**1 htv/a, 100 000 €/a. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: RAMI (laboratoriomittakaavan korkealämpötilauunit oheislaitteineen) Yhteis-

työkumppani Boliden Harjavalta Oy. Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Vedyn tarve, syöttötapa ja optimaalinen kaasuseos eri prosesseissa tarvitta-vaan maksimaaliseen metallien talteen saantiin lähinnä värimetallien valmistusprosesseissa.

Kalliorakentaminen ja kaivostekniikka (Prof. Mikael Rinne, Jussu Leveinen). Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: **Vedyn maanalainen varastointi ja kuljetus.**

Sähkökemian tutkimusryhmä (Prof. Tanja Kallio). Ekologisesti kestävämmän **sähkökemiallisen vety- ja CO<sub>2</sub>-konversioteknologian kehittäminen.** Laajuus 7 htv/vuosi. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: RAMI ja Otanano. Yhteistyökumppanit: ABB, Neste; Seldeon, Beneq, ITM Power, Advent, DeNora, tutkimusorganisaatiot: JÜlich, Technion, J. Heyrovsky Institute, ICIQ, CNRS.

**Energiakonversion tutkimusryhmä** (Prof. Martti Larmi, Prof. Ville Vuorinen, Prof. Annukka Santasalo-Aarnio ja Prof. Mika Järvinen). Keskeinen **tutkimusteema on hiilineutraali energia.** Arvio volyymistä noin 50 htv/vuosi, 2.8 M€/vuosi. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: CSC laskentapalvelut, virtaus- ja prosessisimulointiohjelmistot (OpenFoam, STAR-ccm+, AspenPlus, TRNSys), palamis- ja suihkukammiot, optinen moottori, 1-sylinterinen tutkimusmoottori, metanolin reformerilaitteisto, CCS tutkimusinfra. Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: Wärtsilä, NESTE, AGCO Power, Andritz, Meyer Turku, Fortum, ST1, SSAB, Outotech ja muita kv. suuryrityksiä. Tutkimusyhteistyötä Lund, KTH, Chalmers, DTU, NTNU, ETH, Leiden, UNSW, ANL, TU-Eindhoven/Delft, DLR, sekä Suomessa ÅA, LUT, UVA, VTT, Oulun yliopisto. Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta: Engine Research Initiative ERI. Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

Larmi: 1) Vety ja muut e-polttoaineet, 2) Tehokkaan palamisen ilmiöt, 3) Kompressointi, varastointi, kuljetus ja käyttö sekä 4) Turvallisuuskohdat. Vuorinen: 1) Vety-ammoniakki seosten tehokkaan palamisen 3D suurteholaskenta (virtauslaskenta) sisältäen happipalamisen. NO<sub>x</sub> päästöjen minimointi. 2) 3D laskennallinen malli synteettisten polttoaineiden tuotantoreaktorille esim. metanolireformointi. Järvinen: 1) CCUS ja kiertotalous, 2) Uusiutuvat energiajärjestelmät ja niiden ajasta riippuva mallinnus 2) Tuulivoima. Santasalo-Aarnio: 1) kemikaalit energian varastoinnissa, 2) power to Methanol, 3) Vedyn varastointi, 4) sininen ja vihreän vedyn valmistus.

**Palvelujen suunnittelu ja johtaminen - tutkimusryhmä**, Tuotantotalouden laitos, Aalto-yliopisto. (Professori Risto Rajala, Työelämäprofessori Pekka Töytäri, Tutkijatohtori Esko Hakanen). Tutkimusryhmä tuottaa uutta tutkimuspohjaista tietoa kiertotaloudesta, kestävästä liiketoimintakäytännöistä Suomen energiaekosysteemissä sekä yhteistyöhön perustuvista liiketoimintamalleista teollisuuden arvoketjuissa. Tutkimus tarkastelee mm. institutionaalisten tekijöiden ja regulaation vaikutuksia uusien toimintatapojen muodostumiseen sekä energiatoimialan muutokseen ja estimoi uusien energiaratkaisujen liiketoimintapotentiaalia. Arvio volyymistä htv 3-5 htv ja 300 – 600 k€/v. Yhteistyökumppanit: Aktiivinen yhteistyö Aalto-yliopiston kemiantekniikan korkeakoulun ja Circular Raw Materials Hubin kanssa, johtava rooli BATCircle-tutkimushankkeen luomisessa ja liiketoimintapotentiaalilin mallinnuksessa. Jatkuvaa yhteistyötä alan johtavien yritysten kanssa ja uusien tutkintaprojektien aktiivista suunnittelua (mm. Wärtsilä, ABB, Rolls-Royce).

Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta: Tutkimusryhmä on tuottanut uutta tietoa mm. metalliteollisuuden digitaalisen tunnistus- ja seurantaratkaisujen kehittämiseksi: <https://www.ssab.fi/tuki/calculators-and-tools/smartsteel>. Tuoreimpana esimerkkinä on akuteollisuuden kiertotalouden ekosysteemin periaatteiden arviointi.

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

Vedyn kokonaisvaltaisen jakeluverkon rakentamista ja käytön kehittämistä tukevan tutkimuksen tarve on huomattava. Yritykset tarvitsevat tukea vetytalouteen siirtymiseen liittyvissä liiketoimintapäätöksissä. Tutkimuksen tulee myös tarjota uusia näkemyksiä optimaalisten palvelujärjestelmien suunnittelusta ja toiminnasta. Uusia yhteistyömuotoja on kehitettävä, jotta voidaan siirtyä kahdenvälisistä sopimuksista ja yksisuuntaisista toimitusketjuista monenvälisiin, verkottuneisiin liiketoimintamalleihin. Esimerkiksi suoritusperusteisten sopimusmallien ja palvelujen käyttöarvoon perustuvien liiketoimintamallien kehittäminen ovat keskeisiä haasteita. Digitaalisten teknologioiden mahdollistamat työkalut (esim. digitaaliset kaksoiset, tietopohjainen päätöksenteko, tuote- ja materiaalitiedon hyödyntäminen arvoketjussa, tiedon rajaton toistettavuus) tuovat uusia mahdollisuuksia yhteistyön perustaksi. Tulevat vedyn muunnokset (power-to-X) ja vaihtoehtoiset energian varastointi- ja konvertointitavat edellyttävät uusia ratkaisuja jakeluinfraktuurin kehittämiseen ja hallintaan. Lisäksi tutkimuksen tulee antaa uusia näkemyksiä hajautettujen teknologioiden vaikutuksista toimitusketjun toimintojen muodostumiseen, mukaan lukien mahdollisuudet toteuttaa vetylogistiikan palveluita ilman keskitettyä koordinaointia.

# HANKENIN TKI-TOIMINTA

## H2 Ecosystem Roadmap for Ostrobothnia

Projekti ei ole varsinaisesti tutkimushanke vaan enemmänkin alueellinen kehittämishanke, jonka teemana on vetytalous. Hankkeen sisällä tehdään enimmäkseen kirjallisuuskatsauksia olemassa olevaan vetytutkimukseen liittyen, jotta voidaan luoda pk-yrityksille, korkeakouluille ja julkisen puolen toimijoille vahvempi tietopohja vetytalouden mahdollisista vaikutuksista nykyiselle liiketoiminnalle ja alueemme elinkeinoelämän osaamistarpeisiin liittyen. Projekti-aika: 1.9.2021-31.8.2022

Tutkimusryhmän johtaja ja avainhenkilöt: Ossi Koskinen, VAMK, Kaisa Penttilä, Hanken, Shiva Sharma, Novia, Seppo Mäkinen, VAMK ja Ashkan Fredström, Hanken

Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: Projektin htv: 2,6 htv/vuosi

Budjetti: 196 500 €/vuosi

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: Vaasan Yliopisto (Suvi Karirinne, Vebic) sekä Åbo Akademi (Margareta Björklund-Sänkiaho). Yrityksiä mukana verkostotoiminnassa (7.1.22 mennessä) 35 (56 henkilöä). Korkeakoulujen edustajia 27 hlö. Kuntien 10 hlö. Aluekehityksen edustajia 28.

### **Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta:**

Verkoston toimintaan tähän mennessä osallistuneiden henkilöiden lukumäärä yli 120. Tämä verkosto ei vielä ole synnyttänyt omia uusia ratkaisuja, mutta tunnistettuja mahdollisia uusia pilotti-/ demonstraatioprojekteja on n. 4.

### **Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:**

Tarkoituksena vahvistaa Pohjanmaan alueen vety-toimijoiden yhteistyötä erilaisten verkostoitumislaisuuksien järjestämisen kautta ja yhteisten projektiaihoiden tunnistamisen ja eteenpäin auttamisen kautta.



## ITÄ-SUOMEN YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

Tutkimusryhmä Sustainable Materials Group / Pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorio (Prof. Anna Lähde). Vedyn tuotanto: Akatemian tutkijatohtoriprojekti (321916), "Photoactive graphitic nano carbons from sustainable precursors for renewable energy production" tutkii materiaaliratkaisuita, joiden avulla voidaan saavuttaa **vedyn tuotanto veden fotokatalyyttisen hajotuksen avulla**, FT Sara Mesceriakove. **Hiilen talteenotto ja käyttö**: Akatemia ohjelmahanke (329563), "C1 yhdisteiden konversio suoraan kaasufaasissa MOF katalyyttien avulla", hankkeen koordinaattori apulaisprofessori Anna Lähde. Teemojen tki-toiminnan tavoitteet: Kestävän kehityksen mukaiset materiaaliratkaisut, joita voidaan hyödyntää mm. veden katalyyttisessä hajotuksessa, hiilidioksidin katalyyttisissä reaktioissa uusiksi materiaaleiksi. Arvio teemojen volyymistä 2 htv /vuosi.

Yhteistyökumppanit: Sustainable Materials Group/ Anna Lähde on mukana Nordisk Energy Research rahoittamassa CCU-NET liikkuvuusyhteistyössä (<https://www.ccu-net.eu/about>), joka keskittyy erityisesti hiilidioksidin kaappaamiseen ja hyödyntämiseen. Hankeessa ovat mukana Technical University of Denmark (DTU), Luleå University of Technology (LTU), University of Oslo (UiO) and University of Eastern Finland (UEF). University of Rostock, Dr Christopher Rüger, massaspektrometria, termiset analyysit, jne. Universite Claude Bernard Lyon 1 Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement de Lyon (IRCELYON), Dr Chantal Guillard, veden katalyyttinen hajottaminen ja vedyn tuotanto. Oulun yliopisto, Prof. Ulla Lassi, katalyyttisten materiaalien karakterisointi ja testaus. Jyväskylän Yliopisto, Prof. Kari Rissanen, katalyyttien kehitys ja rakenneanalyysit.

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Tällä hetkellä tutkimus keskittyy vielä laboratoriomittakaavan kehitykseen, mutta tavoitteena on tulevaisuudessa testata kehitettyjä ratkaisuita myös pilot-mittakaavassa edellä mainittujen yhteistyötahojen kanssa.

Tutkimusryhmä Toiminnalliset pinnat, materiaalikemia (Prof. Jarkko J. Saarinen, Prof. Mika Suvanto): Akatemiahanke *nanorakenteiset monikomponenttiset stimulivasteiset fotokatalyyttisesti aktiiviset materiaalit (nSTAR)* ajalla 1.2.2022 – 31.8.2024 tutkii fotokatalyyttisiä materiaaleja, joiden yksi sovelluskohde on **vedyntuotanto suoraan auringonvalon avulla**. Arvio teemojen 2,5 htv/v.

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: PREIN (Fotoniikan tutkimuksen ja innovaatioiden lippulaiva) -verkosto, erityisesti UEF Fotoniikan instituutti ja Tampereen yliopiston kanssa tutkimusyhteistyö Tähän mennessä saavutetut kansainväliset meriitit: Korkeatasoinen tieteellinen julkaisu TiO<sub>2</sub>-käänteisopaalirakenteiden vedyntuotannosta:

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: nSTAR-konsortiossa tutkitaan fotokatalyyttistä aktiivisuutta ja vedyntuotantoa erilaisissa puolijohdekäänteisopaalirakenteissa, joiden sähköisiä ja optisia ominaisuuksia voidaan helposti muokata.

Tutkimusryhmä Environmental Informatics – Ympäristöinformatiikka (Prof. Mikko Kolehmainen, FT Harri Niska) Tki-toiminnan tavoitteet: **Data-analytiikan ja tekoälyn menetelmien kehittäminen kestävien, älykkäiden energiaratkaisujen suunnitteluun ja hallintaan**. Liittyvät hankkeet: Akatemiahanke (324677) *Adaptiivinen analytiikka ja mallinnus joustavalle sähköjärjestelmälle (Analytics)*, 2019-2023, UEF:n osaprojektin vetäjä: FT, Harri Niska.

Projekti kehittää adaptiivista analytiikkaa sähköjärjestelmille. Se tutkii hybridimallien käyttöä operatiivisiin sovelluksiin kuten aggregoitujen kuormien, aktiivisen kysyntäjoukon, paikallisen sähköntuotannon ja varastoinnin ennustamiseen sekä kysyntäpuolen energian hallintaan. Projektin toteuttavat osapuolet ovat Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Tampereen teknillinen yliopisto ja Itä-Suomen yliopisto. Koneoppimisen menetelmillä, mukaan lukien syväoppiminen, on paljon mahdollisuuksia sähköntuotannon ja tuotannon mallinnuksessa, mutta vaikeuksia seurata niitä nopeita muutoksia, joita parhaillaan tapahtuu sähköjärjestelmien kulutuksen ja tuotannon käyttäytymisessä. Projekti ke-

hittää analytiikkaa havaitsemaan muutoksia ja jatkuvasti päivittämään malleja mutta silti hyötymään koneoppimisesta. Arvio teemojen volyymistä 1-2 htv/v.

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: Suurteholaskenta CSC.

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: VTT, Tampereen yliopisto, LUT, Aalto, Oulun yliopisto (Smart Grids, verkostolaskenta ja -simulointi, jne), Savonia AMK (pilotointiyhteistyö mm. mobiilibiokaasu- ja biojalostuslaitokset), ICT-yritykset, energia- ja sähköverkkoyhtiöt, Clic Innovation Oy, Energycluster North Savo (energia-alan ekosysteemiyhteistyö), Mälardalen University (Energy Engineering), Thessaloniki University (Informatics), Reshetnev Siberian State Aerospace University (Data Science), Univ. of Coimbra (Lab. of Neural Networks).

## JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

Laskennallinen sähkökemian - Computational electrochemistry, CompEL (Prof. Marko Melander). Ryhmä tutkii elektrokatalyyysin peruseriaatteita teoreettisen ja laskennallisen kvanttikemian avulla tavoitteena ymmärtää nykyisiä elektrokatalyyttejä ja löytää uusia katalyyttimateriaaleja. Tutkii katalyyttejä muun muassa hapen pelkistysreaktiota (polttokennon keskeinen reaktio) sekä vedyn tuottoa, veden hajoamista, hiilidioksidin pelkistämistä polttoaineiksi, ammoniakkin valmistusta, biomassan hapetusta kemikaaleiksi yms. Lisäksi tutkii erilaisten reaktio-olosuhteiden (pH, liuotin, elektrodipotentiaali, elektrolyytti) vaikutusta näihin reaktioihin. Uusia teoreettisia/laskennallisia malleja elektrokatalyyttisille reaktioille. **Tutkimustoiminnan tavoitteet:**

1. Ymmärtää nykyisten katalyyttien (kulta, platina, palladium) toiminta y.m. reaktioille
2. Ennustaa uusia tehokkaampia ja halvempia katalyyttejä yllä mainituille reaktioille
3. Reaktio-olosuhteiden ymmärtäminen ja optimointi
4. Sähkökemiallisten ja elektrokatalyyttisten reaktioiden teoria ja mallintaminen

Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi:

Uusi tutkimusryhmä perustettu syyskuussa 2021. Akatemiaturvituksen rahoitus n. 800 000€ seuraavalle viidelle vuodelle. Rahoituksesta riippuen ryhmä tulee kasvamaan.

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt:

CSC – Tieteen tietotekniikan keskus Oy:n tarjoamat suurteholaskentaresurssit

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio:

NIMS – National Institute of Materials Science, Japani. Yhteistyökumppanini kehittävät uusia katalyyttejä sekä karakterisoivat niiden elektrokatalyyttisiä ominaisuuksia, jotka muodostavat vertailukohdan myös teoreettisten/laskennallisten mallien ennustuksille.

Yale University, Yhdysvallat. Teemme yhteistyötä johtavan elektrokatalyysiteoriaryhmän kanssa liittyen teoreettisten/laskennallisten mallien kehittämiseen.

Sorbonne Université, Ranska. Teemme yhteistyötä elektrolyytti- ja liuosmallien kehittämiseksi.

DTU, Tanska. Teemme yhteistyötä uusien katalyyttimateriaalien löytämiseksi sekä parempien laskennallisten mallien kehittämiseksi.

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

Elektrokatalyysiin liittyvä perustutkimus: katalyyttien ja reaktio-olosuhteiden vaikutus reaktioon. Tutkimme etenkin **hapen pelkistystä, vedyn kehitystä ja veden hajottamista elektrokatalyyttisesti**.

Laskennallinen katalyyssi - Computational Catalysis (Prof. Karoliina Honkala). Ryhmän ydinosoamis-alueetta on ollut heterogeeninen termokatalyyssi mutta viimeisten vuosien aikana tutkimus on laajentunut ensin **elektrokatalyyssiin** ja viimeksi **valokatalyyssiin**. Käytämme laajasti erilaisia laskennallisia menetelmiä (tiheysfunktionaaliteoria, molekyyliidynamiikka, kineettinen Monte Carlo, mikrokineettinen analyysi) ymmärtämään katalyyssikemiaa ja katalyyttimateriaaleja atomitasolla. Termokatalyyssissä yksi keskeisistä teemoista on erilaiset vedytysreaktiot ja hiilidioksidin muuntamisen korkeamman jalostusarvon tuotteiksi kuten metanoliksi tai synteettisiksi lentopolttoaineiksi ja kemikaaleiksi. Hiilidioksidin muuntamista on laajennettu viime vuonna myös valokatalyyssin puolelle. Elektrokatalyyssissä olemme olleet kiinnostuneita ymmärtämään glyserolin elektro-oksidaatiota sekä uutena teemana elektrokatalyyttistä vedyn muodostumista. **Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi:**

- » Hiilidioksidin valokatalyyttinen muuntaminen, 2021-2024, Erkon säätiö, 3 htv 89 k€/vuosi (vetyarvoketju 2.4)
- » Hiilidioksidin vedytys metanoliksi oksidituetuilla metallikatalyyteillä, 2020-2023, Suomen Akatemia, 7htv. 148 k€/ vuosi (vetyarvoketju 2.4)
- » Glyserolin elektro-oksidaatio Au ja Pt katalyyttipinnoilla, 2018-2022 Suomen Akatemia, 6 htv 174 k€ /vuosi (vetyarvoketju 2.4)
- » Elektrokatalyyttinen vedyn valmistus 2022-2024, Suomen Akatemia. 3 htv. 110 k€/vuosi (vetyarvoketju 2.1)
- » Synteettiset lentopolttoaineet 2022-2024, Business Finland, kumppanuusrahoitus, 4 htv, 200 k€/vuosi (vetyarvoketju 2.4)

Yhteistyökumppanit: Valokatalyyssi: Prof. Nikolai Tkachenko TAU, Kokeellinen tutkimus, Hiilidioksidin konversio metanoliksi: Prof. Riikka Puurunen Aalto yliopisto, Synteettiset lentopolttoaineet ja kemikaalit hiilidioksidista: Prof. Juha Lehtonen, VTT, Prof. Dmitry Murzin, Åbo Akademi yliopisto, Neste ja useita muita yrityksiä, yhteinen rahoitus Business Finland kumppanuushaku. Vedyn elektrokatalyyttinen tuotto Prof. Tommi Kärkkäinen (koneoppiminen) YU, Prof. Hannu Häkkinen (klusterimallinnus) JYU. Tässä hankkeessa tehdään yhteistyötä Prof. Yuichi Negishin Tokion yliopisto kokeellinen tutkimusryhmän kanssa.

Käytämme tutkimuksessa suurteholaskennan resursseja, joista tärkeimmät infrastruktuurit ovat CSC:n tarjoamat supertietokoneet, Suomen kansallinen FGCI klusterilaskentaympäristö ja eurooppalaisen PRACE-organisaation kautta saatavat laskentaresurssit.

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

Tavoitteena on syventää ymmärrystä elektrokatalyyttisestä vedyn tuotannosta klusteripohjaisilla mallikatalyyteillä käyttäen hyväksi koneoppimista. Keskitymme myös ymmärtämään sekä valokatalyyttisten hiilidioksidin muuntamisen perusteita että eri mikroskooppisten tekijöiden vaikutusta hiilidioksidin termokatalyyttiseen muuntamiseen korkeamman jalostusarvon tuotteiksi yhteistyössä useiden kokeellisten ryhmien kanssa käyttäen erilaisia laskennallisia työkaluja.

Laskennallinen nanotiede - Computational nanoscience (Prof. Hannu Häkkinen). Ryhmä tutkii nanometrikokoisia metallipartikkeleja, jotka on päällystetty metallia suojaavilla orgaanisilla molekyyileillä. Tällaiset partikkelit ovat potentiaalisia seuraavan sukupolven **katalyyttejä** (sekä termokatalyyssissä että elektrokatalyyssissä) joita voitaisiin hyödyntää myös **vihreän vedyn tuotannossa**. Käytämme suurteholaskennan ja koneoppimisen menetelmiä, jotta voimme "räätälöidä" optimaalisia katalyyttejä partikkelien kokoa, metallien koostumusta ja molekyylikerroksen kompositiota muuttelamalla. Tutkimusta tehdään yhteistyössä prof. Karoliina Honkalan, akatemiatutkija Marko Melanderin ja prof. Tommi Kärkkäisen kanssa. Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: Ryhmälläni on ollut Suomen Akatemian rahoittama yhteistyöprojekti "Hybridinanopartikkelien rakenteiden ennus-

taminen tekoälyä hyväksi käyttäen” prof. Kärkkäisen kanssa vv. 2018-2022. Projektin volyymi on n. 655 k€. Lisäksi olemme juuri saaneet Kärkkäisen ja prof. Honkalan kanssa rahoitusta uuteen konsortioprojektiin vuosille 2022-2024 otsikolla ”Suuritehoista koneoppimista uusien katalyyttien suunnitteluun”. Ryhmäni osuus tästä rahoituksesta on n. 327 k€. Htv-panostus tähän tutkimukseen ryhmässäni on n. 3 htv/vuosi.

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: Käytämme tutkimuksessa suurteholaskennan menetelmiä, ja tärkeimmät infrastruktuurit ovat Suomen kansallinen FCCI-laskentaympäristö, CSC: n ylläpitämät supertietokoneet ja Eurooppalaisen PRACE-organisaation kautta saatavat laskentaresurssit (esim. Barcelonan supertietokonekeskuksesta).

Yhteistyökumppanit: Seuraavien vuosien ajan tieteellinen pääyhteistyökumppani on prof. Yuichi Negishin tutkimusryhmä (Tokyo University of Science), joka valmistaa jalometalleista koostuvia nanopartikkeli-katalyyttejä, joitten ominaisuuksia ryhmämme tutkii simulointien ja koneoppimis-menettelmien avulla.

## LUKE:N TKI-TOIMINTA

### TAULUKKO: VETYALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS LUKE:SSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIIKKA            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähkölaitteet        |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Tutkimusryhmä Biojalostusteknologiat ja tuotteet (Riitta Laitinen, ryhmäpäällikkö, Saija Rasi, Johtava tutkija ja Jyri Maunuksela, Johtava asiantuntija).

Tavoitteena Luonnonvarakeskuksen hankkeissa on hyödyntää tehokkaasti **sivuvirtoina syntyviä vetykaasuja, pääsääntöisesti metaanina biologisen metanoinnin kautta** (arvoketju 1.5). Hankkeiden prosesseissa vetyä syntyy mm. orgaanisten happojen mikrobiologisen tuotannon sivutuotteena sekä prosessissa, jossa orgaanisia happoja käytetään arvokkaiden metallien talteenotossa. Myös muita teollisuuden epäpuhtaita vety virtoja sekä sähköntuotannon kautta tuotettua vetyä voidaan hyödyntää prosessissa. Biologinen metanointi toimii myös vedyn varastointina (arvoketju 3.3), sillä ylimääräinen uusiutuva sähkö voidaan tarvittaessa varastoida metaanina.

Arvio teemojen volyyminä htv, euroa per vuosi: Ensi vuonna käynnissä olevia hankkeita on kaksi, joissa aihetta käsitellään. Yhteensä hankkeissa on käytettävissä noin 3 htv vuodelle 2022.

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: Biomassojen prosessointiin keskittyy Biopaja on Luken Jokoisilla sijaitseva tutkimusinfrastruktuurisuus, jossa infraa on myös biologiseen vedyn tuotantoon ja biologiseen metanointiin sekä laboratorio että pilot -mittakaavassa

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio:

- » Jyväskylän yliopisto: metallien talteenotto orgaanisilla hapoilla, prosessi on samalla sivuvirtavedyn lähde; prosessien yhteensovittaminen
- » VTT: Vedyn syöttötekniikat biologiseen prosessiin, vedyn tuotanto (arvoketju 2.1)
- » Berliinin teknillinen yliopisto, TUB: biologinen vedyntuotanto & mittaustekniikan kehittäminen anaerobiprosessissa
- » Hankkeissa mukana olevat yritykset ja muut tahot: Mustankorkea, HSY, Doranova, Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy, ALVA, St1, Betolar, Stora Enso, Gasum, Pirkanmaan Jätehuolto, Vantaan Energia, Carbon ReUse, Elonen ja Jyväskylän kaupunki

Tähän mennessä saavutetut kansainväliset meriitit: Kaksi kv-hanketta, joiden tuloksia esitelty kansainvälisissä konferensseissa ja tieteellisissä artikkeleissa

#### Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta:

Kiertotalouden ekosysteemi (KIRE) hanke, jossa kehitetään menetelmä, jolla biojätteestä tuetaan orgaanisia happoja sekä vetyä. Orgaanisilla hapoilla voidaan irrottaa harvinaisia maametalleja elektroniikkajätteestä hydrometallurgisessa prosessissa. Sen lisäksi prosessissa tuotetaan biokaasua

(mm. edellisten prosessien sivuvirtavedystä) ja hyödynnetään mädätejäännös lannoitteena tai maanparannusaineena.

**Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:**

Prosessien kehittäminen edelleen liiketoimintaa edistäviksi kokonaisuuksiksi.

Hankehaku menossa Bio-CCU:sta, jossa hiilidioksidin ja vedyn yhteiskäyttöä katsotaan.

# LUT-YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

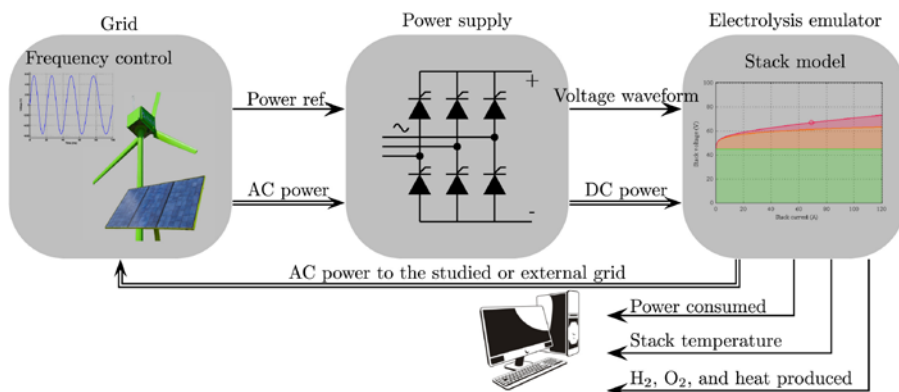
## TAULUKKO: VETYTALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS LUT-YLIOPISTOSSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIIKKA            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

LUT Greenrenew, sähkötekniikka (Prof. Jero Ahola, Pertti Kauranen, Antti Kosonen). **Elektrolyysien ja tehoelektroniikan yhteistoiminta, korkean lämpötilan ja jännitteen alkalielektrolyysit, elektrolyysin ja uusiutuvan tuotannon optimointi saarekekäytöissä.** Volyymi noin 1 M€/v. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilointiympäristöt: Testiasemat alkali- ja PEM-kennoille ja alkalikennostoille. Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: FZ Jülich, virran laadun vaikutus PEM kennoihin DTU, virran laadun vaikutus alkalikennoihin. KIT, laitostason simulointi. ABB, tehoelektroniikkaa korkean jännitteen alkalielektrolyysiin. Woikoski, alkalijärjestelmän mallinnus ja hyötysuhteen parantaminen. Wärtsilä, veden elektrolyysi P2X-sovelluksissa. Fortum, vihreän vedyn tuotanto. Eurooppalaista yhteistyötä tehdään Hydrogen Europe Research ja European Energy Research Alliance Energy Storage Joint Programme puitteissa.

**Tähän mennessä saavutetut kansainväliset meriitit:** Soletair-demonstraatio (VTT:n kanssa), Neo-Carbon Food demonstraatio (VTT:n kanssa). Johtavia tutkimusryhmiä liittyen virran laadun vaikutukseen elektrolyysin toimintaan julkaisujen määrällä mitattuna. Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta: Spin-off yritykset: [Soletair Power](#), [Solar Foods](#), [Neovolt](#).

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Virran laadun vaikutus elektrolyysikennojen ikääntymiseen. Alkalielektrolyysin jännitteen nosto ja hajavirtojen minimointi. Alkalielektrolyysin lämpötilan nosto. Mallinnustyökalujen ja analyttisten mallien kehitys hajavirtojen osalta. Laitostason optimointi. Energian tuotannon, varastoinnin ja elektrolyysin kapasiteettien ja ohjauksen optimointi. Muut oleelliset tiedot: P2X-tutkimus (CO2 kaappaus, metanolisynteesi ja CO2 elektrolyysi) LUT Kemian (Prof. Tuomas Koiranen) kanssa.



Tehoelektroniikan optimointi elektrolyysin virransyöttöön.



Sähkökäyttötekniikka ja konedynamiikka (Prof. Juha Pyrhönen ja Jussi Sopenen). **Vedyllä toimiva korkean hyötysuhteen mikrokaasuturbiini** sähköisten työkoneiden sähköntuotantoon. Arvio teemojen volyymistä: Haettu EU-rahoitusta useiden partnerien kanssa. Jos se toteutuu, on koko hankkeen koko 3 Meuro, jos se ei toteudu, tehdään asiaa pienemmällä volyymillä. LUT osuus hankkeesta kerrannaisineen noin 1 Meuro. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: LUTin omat infrat sähkö- ja turbokoneiden mittauksiin, EU-hankkeen toteutuessa TU Berlinin vetykopolttolaitos ja TU Delftin turbokonelaboratoriot sekä HiETA Technologies yhtiön laboratoriot. Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: TU Berlin, vetykopolttokammio, TU Delft, virtauskoneet, HiETA Technologies, lämmönvaihtimet.

Termodynamiikan laboratorio (Prof. Tero Tynjälä). **Hiilen talteenotto** ja varastointi, hiilen talteenotto ja käyttö, logistiikka, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> kuljetus ja varastointi-infrastruktuurit, P2X **sähköpoltoaineiden ja kemikaalien valmistusprosessit** ja niiden dynaaminen mallinnus. Energian tuotantoprosessit ja sektori-integraatio (sähkö, lämpö, kaasu ja muut polttoaineet). Volyyymi 3 htv ~300 k€/v. Yhteistyökumppanit: EERA JP CCS (CO<sub>2</sub> talteenottoon ja hyötykäyttöön liittyvä eurooppalainen tutkimuslaitosverkosto). Fortum (Vetyinfrastruktuuri ja vedyn tuotanto). Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (P2X logistiikkatarkastelut, kaasuverkot, kaasun käyttö ja tuotanto). Politecnico Milano (Energiajärjestelmien mallinnusyhteistyö). ST1 (P2X polttoainetuotanto). Wärtsilä (CO<sub>2</sub> talteenotto ja polttomootorivoimalaitokset). Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Sektori-integraatio, sivuvirtojen hyödyntäminen (lämpö, happi), dynaamisen toiminnan mallinnus, joustomekanismeihin liittyvät liiketoimintamallit, CO<sub>2</sub> talteenoton ja hyödyntämisen ansaintamallit ja teknisiin hiilinieluihin ja sähköpolttoaineisiin liittyvä lainsäädäntö.

Sustainability Science (Prof. Mika Horttanainen). **Elinkaarianalyysit ja kestävyystutkimus** eri näkökulmista. Hydrogen and Carbon Value Chains in Green Electrification (HYGCEL) projekti 2021 – 2023. Sustainability science is guiding the environmental performance of the development. Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: 1-2. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: GaBi-LCA ohjelmistot ja tietokannat.

**LUT Tuotantotalouden tutkimusryhmä C<sup>3</sup>M** (Prof. Timo Kärri) on tutkinut vetytaloutta teollisen omaisuuden hallinnan ja investointien näkökulmasta hankkeessa Feasibility Study for Industrial Pilot of Carbon-Neutral Fuel Production – P2X: Final Report, jonka tulokset ovat luettavissa <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-668-9> Hankkeessa tuotetaan ensin metanolia, joka jalostetaan bensiiniksi tai yhdistelmäksi eri hiilivetyjakeita. Hankkeen aikana tutkimusryhmä on tarkasteltu erityyppisiä liiketoimintamalleja, investointien kannattavuutta ja muodostuvaa yritysekosysteemiä.

C<sup>3</sup>M tutkimusryhmän muu tutkimus kohdistuu vetyarvoketjun poikkileikkaaviin teemoihin. Näistä vetytalouden kannalta mielenkiintoisia ovat teollinen kunnossapito osana omaisuuden hallintaa esimerkiksi [Maintenance Services Management](#) ja [Service solutions for fleet management](#) hankkeet. Tutkimusryhmä on kartoittanut uusien tuotteiden liiketoiminnan palveluratkaisuja erityisesti autoteollisuudessa. Viimeisimmät väitöskirjatutkimukset ([Kinnunen 2020](#) ja [Rissanen 2021](#)) ovat painottaneet integroitujen verkostojen / ekosysteemien tarkasteluun.

**LUT Kemiantekniikan tutkimusryhmä** Chemical Process Systems engineering/Biorefineries/Gas Separation in Separation Science (Prof. Tuomas Koironen) tutkii laajasti vetytalouden arvoketjua. Arvoketjun teemoittain tutkimusryhmä tekee tutkimusta seuraavissa teemoissa:

Elektrolyysit: CO<sub>2</sub> reduktio kiinteähiilituotteiksi, ja laitteistojen kehitys

Hiilen talteenotto ja käyttö: 1) Adsorptiomateriaalien kehitys ja materiaalien prosessikehitys 200-250 kEUR, 2-3 htv, 2) Kustannustehokas ja prosessi-intensifioitu CO<sub>2</sub>:n talteenotto, mallinnus ja laitekehitys.

Jalostusprosessit: Tehokkaiden ja teollistettavien prosessien kehitys, mallituksen&simuloinnin sekä koeajotoiminnan avulla. 300-400 kEUR, 5-7 htv

Tutkimusryhmän käytössä oleva infrastruktuuri käsittäen pilottiympäristöt:

**Power-to-X reaktoriympäristö** (putki- ja paineistettu sekoitusreaktori katalyyttipedillä) ja siihen liittyvä analytiikka (Raman in-line monitorointi, kaasukromatografia, syöttöjen massavirtamittaukset)

**Kaasu-erotus laboratorio** (membraanitalteenotto, reaktori kiinteiden materiaalien kehitykseen, FTIR, dynaaminen adsorptio testilaitteisto, MS kaasukromatografia)

**CO2-onttokuitumembraaniteknologiaan perustuva talteenottolaitteisto** sekä siihen liittyvä analytiikka (syöttöjen massavirtamittaukset, CO2-pitoisuusmittaus in-line)

**ASPEN+-prosessien laskenta- ja mitoitusohjelmisto** (laaja kirjo valmiita prosessimallinnuksia)

**Integroitu CO2-talteenotto- ja kalsiumkarbonaatin saostuslaitteisto** (tomografiaan perustuva saostuksen monitorointi)

**LUT Analyysikeskus** ("up-to-date" kiinteän aineen karakterisointi, kaasujen ja nesteiden karakterisointi -analyysit sekä analyysipalvelu).

## OULUN YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

### Taulukko: Vetytalouteen liittyvä tutkimus Oulun yliopistossa

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIikka            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           | VALOKATALYYSI         | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

**Materiaali- ja konetekniikan tutkimusyksikkö.** Prof. Jukka Kömi (yksikön johtaja), Prof. Juhon Kännö (Auto- ja työkonetekniikka), Emil Kurvinen (Koneensuunnittelu), Prof. Jari Larkiola (Virtuaalivalmistus ja TMCP), Prof. Mahesh Somani (New generation steels). Yksiköllä on kansainvälisesti tunnettu asema erikoisteräksissä, se on johtava terästen suorakarkaisuteknologiassa ja sillä on kattava tutkimusympäristö laaja-alaiseen terästudkimukseen. Yksikkö tekee strategista yhteistyötä alan kansainvälisten huippuosaajien kanssa ja se on päätoimija CASR:ssa (Centre for Advanced Steels Applications, <https://www oulu.fi/en/university/faculties-and-units/faculty-technology/centre-advanced-steels-research>). Yksiköllä on laaja suorakarkaitujen terästen patenttisalkku yhdessä SSAB:n kanssa. Tutkimusvolyyymi n 15 htv/v. Lähivuosien teemoja:

1. Vetyä kestävien terästen kehitys
2. Vedyn käyttöön, jakeluun ja varastointiin tehtävien sovellusten kehitys
3. Vety-tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen ja vahvistaminen
4. Yhteistyöverkoston vahvistaminen ja laajentaminen vetytutkimuksen alueella

Kestävän kemian tutkimusyksikkö (Prof. Ulla Lassi) tekee laajasti tiivistä yhteistyötä teollisuuden kanssa ja keskittyy CO:n katalyyttiseen hydraukseen, hiilineutraalien värimetallien valmistukseen, vetypelkistykseen metallurgisessa teollisuudessa sekä katalyyttiseen metaanin suorakonversioon vedyksi ja hiileksi. Volyyymi noin 5,5 htv/v.

Prosessimetallurgian tutkimusyksikön (Prof. Timo Fabritius) tutkimuksellinen fokus on **hiilivapaiden pelkistysmenetelmien kehityksessä ja tutkimuksessa metallurgisen teollisuuden käyttöön**. Yksikkö tekee tiivistä strategista yhteistyötä metallurgisen teollisuuden kanssa Suomessa ja Euroopassa sekä alan kansainvälisten huippuosaajien (Max Planc, Montanuniversität Leoben, RWTH Aachen, Hybrit Ab, Swerim, Metso Outotec, Fortum, SSAB, Outokumpu, Ovako, Luxmet, jne.) kanssa. Volyyymi on noin 15 htv/v.

#### Lähivuosien teemoja:

1. Erilaiset vetypelkistysteknologiat ja niiden kehittäminen
2. Vetyperusteisen teräksen tuotantoskenaarioiden mallinnus
3. Vety-tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen ja vahvistaminen
4. Yhteistyöverkoston vahvistaminen ja laajentaminen vetytutkimuksen alueella
5. Vety polttoaineena (polttimet, liekkianalytiikka)

Ympäristö- ja kemiantekniikan tutkimusyksikkö (Prof. Riitta Keiski, prof. Mika Ruusunen, dos. Esa Muurinen, dos. Mika Huuhtanen, dos. Satu Ojala, dos. Satu Pitkäaho, dos. Minna Tiainen, dos. Esko Juuso, TkT Markku Ohenoja). **Katalyyttinen (reformoinnit, osittaishapetus, vesikaasun siirto-reaktio/WGSR) ja valokatalyyttinen vedyn tuotanto eri vedynkantajista, päästökaasuista ja jätevesien orgaanisesta kuormasta ja vedestä. Erityisesti vedyn hajautettu tuotanto erilaisista teollisuuden, maatalouden ja yhdyskuntien sivu- ja jätevirroista kuten biokaasusta.** Uusien katalyyttimateriaalien kehittäminen, uudet vaihtoehtoiset katalyyttien raaka-aineet, vedyn tuotanto vedestä, jäteveden orgaanisesta kuormasta, biokaasusta, alkoholeista ja hapoista sekä muista orgaanisista päästöistä ja vedynkantajista (savukaasut ja kiertokaasut) kiertotalousteeman periaatteita noudattaen. Tieteellisen tiedon lisääminen (valo)katalyyttien toiminnasta ja reaktiomekanismeista, materiaalien in situ ja operando karakterisoinnin avulla, auringon valon hyötykäytöstä valokatalyyssissä sekä kehittyneen data-analytiikan ja automaation hyödyntämisestä prosessikehityksessä. Tutkimuskohteina ovat vedyn (valo)katalyyttinen tuotannon lisäksi vedyn erotus/puhdistus tuotevirroista sekä vedyn hyödyntäminen mm. CO<sub>2</sub>-reaktioissa (mm. P2X) erilaisiksi tuotteiksi ja käyttö polttoaineena (mm. liikennekäyttö). Data-analyysi, mallinnus, säätö ja optimointi tuotanto- ja hyödyntämisvaihtoehtojen yhteensovittamisessa ja elinkaaritarkasteluissa. Lisäksi tutkimusyksikössä tehdään vedyn tuotannon ja käytön kestävyysarvioiteja. Volyyymi noin 8 htv/v. Yhteistyökumppanit: *Oulun yliopiston sisäisten partnerien lisäksi ECE tekee yhteistyötä muiden kansallisten yliopistojen, teollisuuden sekä kansainvälisten partnerien kanssa:* : katalyyttien kehittäminen ja tutkiminen, prosessivirtojen erotus- ja puhdistusteknologiat (adsorptiomateriaalit ja kalvotekniikka), prosessien mallinnus, säätö ja optimointi.

Nano- ja molekyyliysteemien tutkimusyksikkö (Prof. Marko Huttula). **Valokatalyyttinen vedyn tuotanto.** Aurinkovedyn johtavaa tutkimustoimintaa, strateginen yhteistyö kansainvälisten huippuosaajien kanssa, aktiivinen yhteistyö kansallisten vetyekosysteemien kehityksessä, kansainvälisten tutkimusinfrastruktuurien kehitys, menestyksellä research-to-business toiminta nanopintojen kehityksessä. Volyyymi noin 15 htv/v. Lähivuosien teemoja:

1. Valokatalyyttikehitys sekä aurinkovedyn tki, tuotteistaminen ja pilotointi
2. (Valo)katalyyttien karakterisointi ja perustutkimus sekä menetelmäkehitys
3. Valoa keräävät nanopinnat (biomimetiikka) ja skaalaaminen liiketoiminnaksi
4. Vetytelkistysprosessien tutkimus
5. Vety-tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen ja vahvistaminen
6. Kansainvälisen ja kansallisen yhteistyöverkoston vahvistaminen ja laajentaminen vetytutkimuksen alueella
7. Vetyterästen materiaalitutkimus
8. Aurinkovedyn Power2X sovellukset

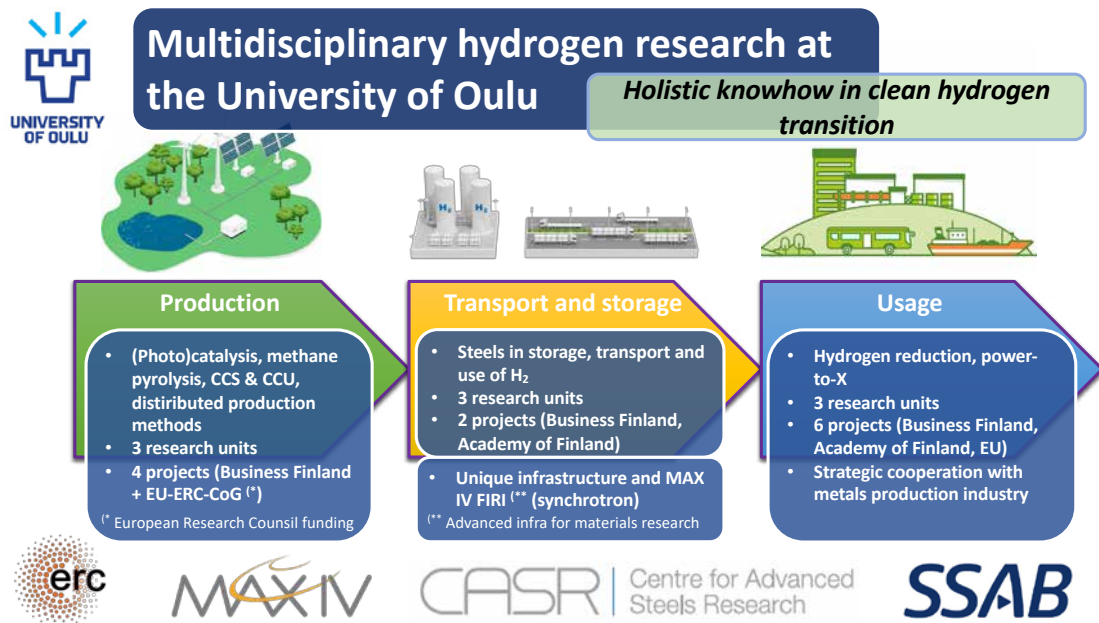
Tutkimusryhmä Kuitu- ja Partikkelitekniikka (prof. Mirja Illikainen, ap.prof. Päivö Kinnunen): **Vedyn tuotanto teollisuuden epäorgaanisista sivuvirroista synergistisissä reaktioissa.** Volyyymi: tällä hetkellä kyseisten teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiseen käytetään noin 15 htv/v, vaikkakaan ei suoraan vedyntuotantoon. Perustietotaito kyseisten sivuvirroista ja tuotantoketjuista on kuitenkin Suomen vahvinta ja myös maailman kärkeä. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: täydet kemian laboratoriot, ja pilotointiympäristö OMS:n kanssa yhteistyössä.

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: kaivosteollisuuden ja metallurgisen teollisuuden yrityksille kiinnostava, koska tarjoaisi tavan päästä eroon sivuvirroista, sekä tuottaa vetyä ja muita teollisuuden raaka-aineita. Tällä hetkellä laajaa yhteistyötä näiden toimijoiden kanssa. Teollisuuden sivuvirroista on syntynyt mm. InStream hub innovaatioekosysteemi (ei kuitenkaan vedyn tuotantoon liittyen). Ekosysteemin toimijat ovat kuitenkin erittäin pitkälle samat, koska sivuvirrat, tuottajat, hyödyntäjät ja tutkijat ovat pitkälle samoja.

Futuralis, Oulun yliopiston kauppakorkeakoulu (prof. Veikko Seppänen). **Liiketoimintamallit ja -verkostot**, digitaalinen ja alustapohjainen talous ansaintalogiikoiineen, tietojohdaminen, päätöksenteko ja liiketoiminta-analytiikka, seuraavan sukupolven (6G) langattomien ja mobiilien ratkaisujen liiketoiminta. Teemojen tki-toiminnan tavoitteet: Verkottuneen, digitaalisen ja tietoperustaisen liiketoiminnan ja sen muutosten jäsentämien, analysointi ja kehittämistoimet. Volyyymi noin 10 htv/v.

### Oulun yliopiston vetyvisio ja vetytiekartta

Oulun yliopisto on luonut oman vetystrategiansa vuoden 2021 syksyn aikana. Visiona on tehdä korkeatasoista tutkimusta, joka tuottaa kokonaisvaltaista osaamista puhtaaseen vetysiirtymään (Kuva 1). Visio nojaa käynnissä olevaan syvälliseen perustutkimukseen sekä laajaan soveltavaan tutkimukseen koko vetyarvoketjussa.

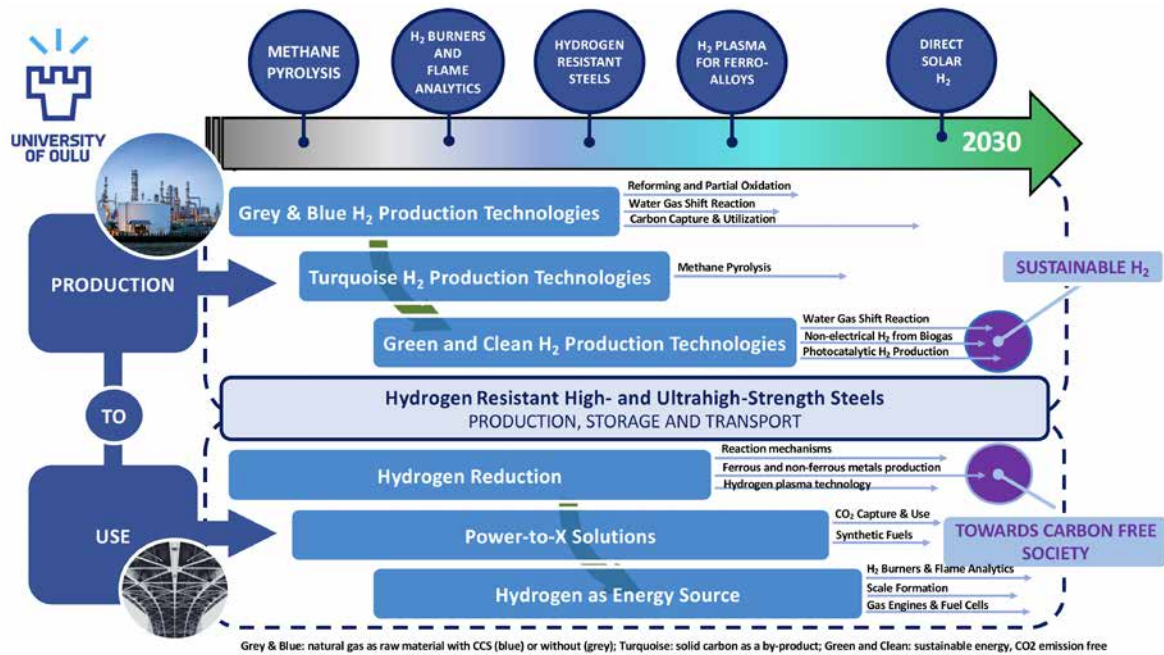


Kuva 1. Oulun yliopiston vetyvisio ja käynnissä olevan vetytutkimuksen asemoituminen.

Tutkimukselliset painopisteet ovat vedyntuotannon osalta (*Suomalainen vetyarvoketju teemat 1 Energia ja 2 Vedyn tuotanto*) vedynvalmistusmenetelmien kuten valokatalyyttisen vedynvalmistuksen, metaanipyrolyysin, hajautetun tuotannon sekä CCS:n ja CCU:n käytössä erilaisissa power-to-X sovelluksissa.

Siirtoon, jakeluun ja varastointiin liittyen (*Suomalainen vetyarvoketju teemat 3 ja 5 Materiaaliratkaisut arvoketjussa*) keskitytään vetyä kestävien terästen tutkimukseen sekä vedyn käyttöön, jakeluun ja varastointiin liittyvien sovellusten kehitykseen erityisesti materiaalinäkökulmasta. Käynnissä on myös tutkimusta verkottuneen, digitaalisen ja tietoperustaisen liiketoiminnan ja sen muutosten (vety) jäsentämiseen liittyen.

Vedyn käyttöön (*Suomalainen vetyarvoketju teema 4 Tuotteet ja käyttö*) liittyen pääpainopiste on vedyn hyödyntämisessä metallien jalostuksessa pelkistykseen sekä energialähteenä laajasti eri sovellusprosesseissa. Lisäksi erilaiset power-to-X sovellukset synteettisen polttoaineen valmistuksessa on huomioitu.



Kuva 2. Oulun yliopiston vetytiekartta vuoteen 2030 saakka.

## Tutkimusaktiviteetit

Oulun yliopistossa on kahdeksan tiedekuntaa, joissa toimii 3400 työntekijää ja 13500 opiskelijaa. Vetytaloitteen liittyviä aktiviteetteja on tehdyn selvityksen mukaan neljässä tiedekunnassa (luonnon tieteellinen tiedekunta, teknillinen tiedekunta, sähkö- ja tietotekniikan tiedekunta sekä kauppatieteellinen tiedekunta) yhteensä 8 tutkimusyksikössä.

Oulun yliopistossa on tehty vetyyn liittyvää tutkimusta eri tutkimusyksiköissä jo vuosien ajan. Tutkimus painottuu vetyarvoketjussa erityisesti vedyn valmistusteknologioiden ja vedyn käytön tutkimukseen sekä teräksen materiaalitutkimukseen vetysovelluksissa. Kaikissa teemoissa tehdään sekä soveltavaa että ilmiöpohjaista ja nanoskaalan perustutkimusta. Tällä hetkellä käynnissä on yhteensä 21 hanketta, joissa on kytkentä vetytaloitteen, vaikka kaikki hankkeet eivät sisällöllisesti täysin vetytutkimusta olekaan. Hankeissa Oulun yliopiston kokonaisbudjetti on noin 5.9M€ vuositasolla ja kokonaishenkilötyövuodet (HTV) yli 70. Rahoitus tulee useista eri rahoituskanavista (HEU, EU-RFCS, BF, SA ja säätiöt) sekä soveltavan yritysyritystyön (SSAB, Outokumpu, Fortum, Wärtsilä, Hycamite, Jervois Finland, Ovako, ACGO, Aker, Bronto Skylift, GWB, Sapotech, Ponsse, Valmet, Boliden, Kivisampo, jne.) että kv-huippututkimuksen (esim. ERC CoG) alueilla. Yritysyritystyö on hyvin laajaa keskittyen tiettyjen vedynvalmistusmenetelmien tutkimukseen, teräsmateriaalien kehitykseen vetysovelluksissa (siirto, jakelu, varastointi) sekä vedyn pelkistyskäyttöön metallien jalostuksessa.

### Vedyn käyttö teräksen valmistuksessa

Vedyn käyttö pelkistimenä ja energian lähteenä teräksen valmistuksessa tarjoaa huomattavan vedyn käyttökohteen (yli 100 000tn) ja CO<sub>2</sub>-päästöjen (-4Mtn, noin 7% kansallisista emissoista) vähennyspotentiaalin Suomessa. Perämeren kaaren alueella on käynnissä Hybrit-konsortion hiilivapaaseen teräksen valmistukseen tähtäävä hanke, jossa Oulun yliopisto, VTT ja ÅA tekevät laaja-alaisesti kansainvälisesti korkeatasoista tutkimusta yhdessä alan teollisten toimijoiden kanssa Suomessa ja Euroopassa. Tutkimus sisältää niin vedyntuotannon kuin pelkistys- ja energiakäytön tutkimusta.

## TAMPEREEN YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

### TAULUKKO: VETYTALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS TAMPEREEN YLIOPISTOSSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIIKKA            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           | Valosähkökemiallinen  | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           | H2 biojätteestä       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Tampereen yliopisto tekee nyt laaja-alaista ja monitieteistä vetyyn liittyvää tutkimusta. Aihepiiri nähdään niin tärkeäksi, että yliopisto on tekemässä siitä omaa strategiaansa.

#### Tämän hetken painopisteet vetyyn liittyvässä tutkimuksessa ovat:

- » Aurinko: [mika.valden@tuni.fi](mailto:mika.valden@tuni.fi) (fotoniikka, pintatieteet, valosähkökemiallinen vety, kehitetään katalyyttimateriaaleja, joilla tuotetaan vetyä vedestä auringon energialla, PREIN lippulaiva), [nikolai.tkachenko@tuni.fi](mailto:nikolai.tkachenko@tuni.fi) (valoherkät yhdisteet ja materiaalit, Photonic Compounds and Nanomaterials group), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, aurinkosähkö, aurinkokennot), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena, HYGCEL-hanke), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (keraamisten materiaalien erityisesti energiasektoriin liittyvät toiminnalliset ominaisuudet)
- » Tuuli: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, tuulisähkö, tuulivoimatekniikka), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena, HYGCEL-hanke)
- » Vesivoima: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena, HYGCEL-hanke)
- » Biokaasut: [marika.kokko@tuni.fi](mailto:marika.kokko@tuni.fi), [jukka.rintala@tuni.fi](mailto:jukka.rintala@tuni.fi) (bioreaktorit), [mikko.hokka@tuni.fi](mailto:mikko.hokka@tuni.fi) (bio-based materials), [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi) (prosessien säätö, CEIWA-projektissa), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena, HYGCEL-hanke)
- » Elektrolyysit: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, water splitting) , [juha.toivonen@tuni.fi](mailto:juha.toivonen@tuni.fi) (analyysi- ja mittaustekniikka: vedyn puhtausaste ja epäpuhtauksien seuranta, PREIN lippulaiva), [mika.valden@tuni.fi](mailto:mika.valden@tuni.fi) (fotoniikka, pintatieteet, valosähkökemiallinen vety, kehitetään katalyyttimateriaaleja, joilla tuotetaan vetyä vedestä auringon energialla), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (keraamiset materiaalit mm. katalyyssissa), [humeyra.caglayan@tuni.fi](mailto:humeyra.caglayan@tuni.fi) (low-cost H<sub>2</sub> through highly efficient photoelectrolysis and H<sub>2</sub> generation using bio-wastes), [jyrki.makela@tuni.fi](mailto:jyrki.makela@tuni.fi) (water splitting- hanke)
- » Termokatal. hajottaminen: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, polttokennot ja vetyteknologia)
- » C talteenotto/varasto ja C talteenotto/käyttö: [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (polttokennot, vetyteknologia, biojalostamot), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (kiertotalous – hiilen mineralisaatio (karbonointi) ja elementaarihiilen talteenotto)

- » Tehoelektroniikka: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) ja [risto.mikkonen@tuni.fi](mailto:risto.mikkonen@tuni.fi) (sähkötekniikka, aurinkosähkö, aurinkokennot, tuulienergia, vetypolttokennot, Dynamic Analysis of Power Electronics Converters), [tomi.roinila@tuni.fi](mailto:tomi.roinila@tuni.fi) (Hydrogen related DC-DC + DC-AC conversions, hydrogen related converter control solutions)
- » Valosähkökemillinen vedyn tuotanto: [mika.valden@tuni.fi](mailto:mika.valden@tuni.fi) (fotoniikka, pintatieteet, valosähkökemiallinen vety, kehitetään katalyyttimateriaaleja, joilla tuotetaan vetyä vedestä auringon energialla, PREIN lippulaiva), [nikolai.tkachenko@tuni.fi](mailto:nikolai.tkachenko@tuni.fi) (valoherkät yhdisteet, Photonic Compounds and Nanomaterials group), [jyrki.makela@tuni.fi](mailto:jyrki.makela@tuni.fi) (water splitting- hanke, fotokatalyyysi)
- » H2 tuotanto biojätteestä: [humeyra.caglayan@tuni.fi](mailto:humeyra.caglayan@tuni.fi)
- » Sähkö/vetyverkosto: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) (electrical and hydrogen grids), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [pertti.jarventausta@tuni.fi](mailto:pertti.jarventausta@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena), [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE)
- » Varastointi: [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi) (prosessien säätö, HYGCEL-projektissa), [essi.sarlin@tuni.fi](mailto:essi.sarlin@tuni.fi) (Polymers4Hydrogen -projekti, vetyä läpäisemättömät materiaalit, komposiitit, polymeerit), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) (varastoja tulee käsitellä laajemmin kuin pelkästään vedyn osalta. Vetytaloudessa varastoja voi olla ainakin sähköjärjestelmässä, vetyverkossa ja vetyä hyödyntävässä teollisuusprosessissa)
- » Toimitusketju, liikenne: [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) (sähkö+vety yhdessä)
- » Polttokennot: [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (polttokennot, vetyteknologia), [stephen.wright@tuni.fi](mailto:stephen.wright@tuni.fi) (lentäminen ja polttokennot), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (keraamisten materiaalien erityisesti energiasektoriin liittyvät toiminnalliset ominaisuudet)
- » Infra luonnonkaasulle: [essi.sarlin@tuni.fi](mailto:essi.sarlin@tuni.fi) (vetyä läpäisemättömät materiaalit, komposiitit, polymeerit), [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (vetyteknologia, biojalostamot)
- » Integroitu verkosto: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) (paikallisista pesäkkeistä kohti integroitua verkostoa)
- » Polttokennot: [jukka.konttinen@tuni.fi](mailto:jukka.konttinen@tuni.fi) (polttokennot, vetyteknologia), [stephen.wright@tuni.fi](mailto:stephen.wright@tuni.fi) (lentäminen ja polttokennot), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (keraamisten materiaalien erityisesti energiasektoriin liittyvät toiminnalliset ominaisuudet), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena), [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE)
- » Sähköpolttoaineet: [heikki.liimatainen@tuni.fi](mailto:heikki.liimatainen@tuni.fi) (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät + logistiikka, liikenteen tutkimuskeskus VERNE), [topi.ronkko@tuni.fi](mailto:topi.ronkko@tuni.fi), [jorma.keskinen@tuni.fi](mailto:jorma.keskinen@tuni.fi) (uusien tekniikoiden ja polttoaineiden vaikutus liikenteen päästöihin sekä niiden vaikutuksiin ilmanlaatuun, terveyteen ja ilmastoon, HYGCEL projekti, Aerosolifysiikan Laboratorio), [stephen.wright@tuni.fi](mailto:stephen.wright@tuni.fi) (lentäminen ja polttokennot), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energiajärjestelmä kokonaisuutena)
- » P2L- kemikaalit: [marika.kokko@tuni.fi](mailto:marika.kokko@tuni.fi), [jukka.rintala@tuni.fi](mailto:jukka.rintala@tuni.fi) (biokaasun tuotto, biometanointi, ja biologiset power-to-x teknologiat (ml. hiilidioksidin muuntaminen kemikaaleiksi bioelektrokemiallisella systeemillä), Bio- ja kiertotalouden tutkimusryhmä)
- » Jalostusprosessit: [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (kiertotalous – hiilen mineralisaatio (karbonointi) ja elementaarihiilen talteenotto), [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi) (systeemien hallinta, CEIWA projekti)
- » Metallien tuotanto: [pasi.peura@tuni.fi](mailto:pasi.peura@tuni.fi) (vedyllä pelkistetyn teräksen käyttö fossiilivapaiden ohutlevyterästen valmistuksessa)
- » Voimakoneet: [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi), [tatiana.minav@tuni.fi](mailto:tatiana.minav@tuni.fi) (liikkuvat työkonet ja niiden voimansiirto sekä koneet sähköntuotantoon, FEMMa-projektissa tutkitaan miten sähköistäminen ja digitalisaatio muuttavat raskaiden työkonoiden konsepteja ja toimintaa)
- » Sähköistäminen: [matti.vilkko@tuni.fi](mailto:matti.vilkko@tuni.fi), [tatiana.minav@tuni.fi](mailto:tatiana.minav@tuni.fi) (liikkuvien työkonoiden sähköistä-



minen, FEMMa-projektissa tutkitaan miten sähköistäminen ja digitalisaatio muuttavat raskaiden työkoneiden konsepteja ja toimintaa, HYGCEL hankkeessa tutkitaan mitä vetytalouteen liittyviä tuotantomenetelmien ja tehonkäytön joustomahdollisuuksia on ja miten ne vaikuttavat sähköjärjestelmän tehotasapainon säilyttämiseen), [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi), [marko.seppanen@tuni.fi](mailto:marko.seppanen@tuni.fi) (energian tuotanto ja kulutus liikenteessä ja rakennuksissa, energiajärjestelmät kokonaisuutena), [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi) (energiajärjestelmät kokonaisuus), [erkki.levanen@tuni.fi](mailto:erkki.levanen@tuni.fi) (Akkumateriaalit, erityisesti kiinteäelektrolyyttiakut)

» **Horisontaalialueet:**

- Energiamarkkinat, energiajoustot, energiavarannot: [sami.repo@tuni.fi](mailto:sami.repo@tuni.fi)
- Energiapolitiikka (vihreä siirtymä, verotus, energiatuet): [pami.aalto@tuni.fi](mailto:pami.aalto@tuni.fi)
- Laki ja regulaatio: [pertti.jarventausta@tuni.fi](mailto:pertti.jarventausta@tuni.fi)
- Energia- ja siirtotariffit: [pertti.jarventausta@tuni.fi](mailto:pertti.jarventausta@tuni.fi)
- Analyysi- ja mittaustekniikka: [juha.toivonen@tuni.fi](mailto:juha.toivonen@tuni.fi) (vedyn puhtausaste ja epäpuhtauksien seuranta, PREIN lippulaiva)
- Liiketoimintamallit: [saku.makinen@tuni.fi](mailto:saku.makinen@tuni.fi) (fuel value chains, off-grid value chains, earning models, business models)
- Ohjelmistot: [david.hastbacka@tuni.fi](mailto:david.hastbacka@tuni.fi), [kari.systa@tuni.fi](mailto:kari.systa@tuni.fi) (computing infrastructure (Edge+ data centers), communication infrastructure, emerging ICT technologies (standards, adoption))

**Tulevaisuudessa:**

- » lisätään painopisteiden välistä monitieteistä yhteistä tutkimustekemistä
  - yhteiset rahoitushakemukset
  - mahdollinen oma tutkimusalusta
- » vahvistetaan strategisesti valittuja alueita
- » linkitetään tutkimus ja koulutus keskeisiin aloitteisiin, erityisesti SIX Moving Machines

### Vety ja koneet maalla, merellä ja ilmassa

Vedyn ja vedyn avulla valmistettujen polttoaineiden käyttö liikkuvissa työkoneissa (kaivokset, satamat, metsäkoneet, maatalouskoneet). CO<sub>2</sub>-päästöjen vähennyspotentialiaali työkoneissa Suomessa on 2.4 M tn/v. Erityisesti maa- ja metsätalous ovat muutoin vaikeasti muutettavissa hiilivapaiksi, koska sähköverkko ym. infrastruktuuri ei kata työskentelyalueita. Useasti kaivoksetkin sijaitsevat sähköverkkoinfran ulottumattomissa. TAU on vuosikymmenien ajan ollut johtava liikkuvien työkoneiden tutkija ja kouluttaja Suomessa ja sillä on vahvat kansainväliset meriitit. Samankaltaiset ratkaisut soveltuva maa-, meri- ja ilmaliikenteeseen sekä sähköntuotantoon. Vetyä ja sen johdannaisia voidaan käyttää sekä vetypolttokennoissa, mäntämoottoreissa ja turbiineissa. Usean polttoaineen moottoritekniikkaa kehitetään jatkuvasti. Moottoritekniikkaa tutkitaan useassa yliopistossa.

### **Aurinkovety ja valosähkökemiallinen vedyn tuotanto**

Aurinkovedyn eli vedyn suoran valokatalyyttisen tuotannon tutkimus tähtää energiatehokkaiseen vedyntuotantoon suoraan vedestä auringonvalon avulla ilman sähköä. Menetelmä tulee tarjoamaan kestäväen ja päästöttömän vedyntuotantoratkaisun sähköintensiivisen elektrolyysin vaihtoehdoksi. Aurinkovetyteknologiaa tulevaisuuden menetelmänä tutkitaan Oulun Yliopistossa mm. Euroopan tutkimusneuvoston ERC CoG (CATCH) huippututkimusrahoituksella. Vetyä voidaan tuottaa myös valoavusteisesti valosähkökemiallisessa kennossa. Valoaktiivisen puolijohderajapinnan sisällyttäminen kennon elektroleihin mahdollistaa kustannussäästön verrattuna erillisten aurinko- ja elektrolyysikemien avulla tuotettuun vetyyn nähden. Teknologia on kypsässä liiketoimintakelpoiseksi toiminnaksi ja sen kehitystyö on osa fotonikan lippulaivatutkimusta (PREIN), jossa on mukana Tampereen yliopisto, Aalto-yliopisto, Itä-Suomen yliopisto ja VTT.

## TURUN YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

### TAULUKKO: VETYALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS TURUN YLIOPISTOSSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIIKKA            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           | Fotosynteesi          | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

#### Tutkimusryhmä "Solar Energy Materials and Systems" (Prof. Kati Miettunen).

Tutkimus keskittyy parantamaan kehitteillä olevien aurinkoenergiateknologioiden stabiilisuutta sekä ekologista kestävyyttä esimerkiksi etsimällä bioperäisiä vaihtoehtoja eri materiaaleille. Lisäksi tutkitaan tapoja hyödyntää aurinkoenergiaa nimenomaan pohjoisissa olosuhteissa. Volyymi 6-7 htv.

#### Tutkimusryhmä "Battery Materials and Technologies" (Prof. Pekka Peljo).

Perustutkimusta valosähkökemiallisesta vedyntuotannosta, eli tavoitteena tutkia uusia tapoja tuottaa **vetyä valon avulla**. Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: 1 htv.

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: Tutkimuslaboratorio

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: Suomen akatemian rahoittama yhteistyöprojekti, jossa mukana Polish Academy of Sciences, Puola, ja Ecole Polytechnique Federalde de Lausanne, Sveitsi.

#### Tutkimusryhmä "Photosynthetic Microbes group" (Prof. Yagut Allahverdiyeva-Rinne)

Biologinen vedyntuotanto valosta, sekä **mikrobien fotosynteesi**. Volyymi 3 htv/v.

**Yhteistyö:** EU CSA SUNER-C: SunERGY community and eco-system for accelerating the development of solar fuels and chemicals. – CSA consist about 30 partners including academia, industry and other stakeholders. UTU is a funded partner, this enables close interactions with the EU partners working on H2 field. Prof. P. Lundblad Ångström Laboratory, Uppsala University, Uppsala, Sweden – research collaboration. Dr. Sz. Toth, BRC, Szeged, Hungary. Prof. M. Hippler, University of Munster, Germany. Current research is focused on the development of the advanced techniques for immobilization of green algae and cyanobacteria in nanoporous matrices with a structure specifically engineered for better light utilization and nutrient distribution. We are aiming to integrate algal photo-bioH2 production to a circular economy concept and upscaling the process. H2 metabolism in green algae and cyanobacteria, and investigation of the potential of the native algal and cyanobacterial strains for production of biofuels and high-value products.

**Tutkimusryhmä "Konetekniikka" (Prof. Antti Salminen).** 3d tulostetut rakenteet, pinnoitteet ja muu digitaalinen valmistus & suunnittelu & optimointi, jonka avulla voitaisiin optimoida vedyn tuotantoon käytettäviä laitteita ja prosesseja. Meillä on hankehakuja vetämässä tällä hetkellä tulosteista vedyntuotantolaitteista (esim. ESA) hiukan eri periaatteilla. Lisäksi meillä on mielenkiintoa vedyn valmistuksen, kuljetuksen ja varastoinnin laitteiden kehittämiseen. < 1 htv/vuosi

## VAASAN YLIOPISTON TKI-TOIMINTA

### TAULUKKO: VETYALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS VAASAN YLIOPISTOSSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIikka            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähkölpoltoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Energia ja kestävä kehitys on yksi Vaasan yliopiston kolmesta vahvuusalasta. Vetyarvoketjua koskeva koulutus ja tutkimus nojaavat erityisesti tähän vahvuusalaan.

Vaasan yliopistossa tehdään vetyarvoketjua koskevaa tutkimusta etenkin EU-rahoitteisessa CHEK-hankkeessa. Siinä tavoitteenamme on kehittää vetyä käyttävä risteilyaluksen moottori ja sen tarvitsema polttoainejärjestelmä, jonka laboratorioversio myös rakennetaan VEBIC-tutkimuslaboratorioon. Toimimme hankkeen koordinaattorina. Hanke kohdistuu arvoketjun kohtiin 4.6-4.8 ja 3.2-3.3. (CHEK: deCarbonising sHipping by Enabling Key technology symbiosis on real vessel concept designs.)

Toinen vetyyn liittyvä meneillään oleva tutkimushankkeemme on Business Finlandin rahoittama CPT, jossa muun ohella kehitetään ja mallinnetaan vetykäyttöistä työkonemoottoria. Toimimme CPT-hankkeen vetäjäorganisaationa. Vetyarvoketjussa hanke sijoittuu lähinnä kohtiin 4.6 ja 4.7. (CPT, Clean Propulsion Technologies.)

Vetyä sivuaa löyhästi myös EAKR-rahoitteinen tutkimushankkeemme, joka koskee biokaasun käytön laajentamismahdollisuuksia erityisesti Pohjanmaan alueella. Vetyteemaa lähimmäksi tulevia tutkimusaiheita ovat kaasupolttoaineen käyttö jakeluautoissa ja busseissa, kaasubussien päästöt, kaasun nesteytys ja kaasuputkiston rakentaminen. Vetyarvoketjua ajatellen hanke sijoittuu lähinnä kohtiin 1.5, 3.2 ja 4.6-4.7. (Biokaasun käyttömahdollisuudet Pohjanmaalla.)

#### **Tutkimusryhmän nimi: Energiatekniikka, EU CHEK. Lisäksi VEBIC-tutkimusalusta.**

Tutkimusryhmän johtaja ja avainhenkilöt:

- » Tekniikka: prof. Seppo Niemi, FT Maarit Mäkelä, FT Carolin Nuortila, TkK Lauri Nyystilä.
- » Koordinaatio: johtaja, TkT Suvi Karirinne, KTT Karita Luokkanen-Rabetino.

Teemojen tki-toiminnan tavoitteet:

- » Kehittää risteilijään soveltuva vetykäyttöinen päämoottori ja pilotoida sen prototyyppi.
- » Luoda vetypolttoainejärjestelmä, joka soveltuu risteilijään ja tutkimuslaboratorioon.
- » Rakentaa vetypolttoainejärjestelmä moottoritutkimuslaboratorioon.

Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi:

- » Tekniikka: 3 htv/vuosi, 170 000 €/vuosi.
- » Koordinaatio: 3 htv/vuosi, 180 000 €/vuosi.

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt:

- » VEBIC-polttomoottori- ja -ainelaboratorio. Monipuoliset polttoaineanalyysilaitteistot. Tutkimusmoottorit: 800 kW<sub>e</sub> ja 150 kW. Kattavat suoritusarvo- ja päästömittauslaitteistot.

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio:

- » WMU-yliopisto: disseminaatio ym.
- » Yritykset: Wärtsilä Netherlands BV, Wärtsilä Finland OY, Cargill International SA, MSC Cruises SA, MSC Cruise Management Limited, LLOYD'S Register Emea IPS, Silverstream Technologies LTD., Hasytec Electronics GMBH, Deltamarin OY, Climeon AB, BA Technologies Limited, Deltamarin SP. Z O.O. – Kaikilla teknillinen tutkimus ja varustamoilla lisäksi verifiointialustan toimittaminen (kui-valastialus ja risteilijä).

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

- » Vetykäytön mahdollistaminen polttoaine- ja -moottoritutkimuslaboratoriossa. Moottorien ajaminen vedyllä. Polttokennojen tutkimusmahdollisuuden luominen.

### **Tutkimusryhmän nimi: Energiatekniikka, CPT.**

Tutkimusryhmän johtaja ja avainhenkilöt:

- » Apul.prof. Maciej Mikulski, KTT Rodrigo Rabetino, DI Michaela Hissa, DI Sonja Heikkilä, TKT Teemu Ovaska, prof. Seppo Niemi.

Teemojen tki-toiminnan tavoitteet:

- » Rakentaa voimala- ja laivakokoluokan RCCI-palamisjärjestelmää hyödyntävä moottori, jota voidaan myöhemmin ajaa myös vedyllä.
- » Osallistua työkoneeseen soveltuvan vetymoottorin kehittämiseen.

Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi:

- » 11 htv/vuosi. 865 000 €/vuosi.

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt:

- » VEBIC-polttomoottori- ja -ainelaboratorio. Monipuoliset polttoaineanalyysilaitteistot. Tutkimusmoottorit: 800 kW<sub>e</sub> ja 150 kW. Kattavat suoritusarvo- ja päästömittauslaitteistot.

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio:

- » Aalto-yliopisto, Tampereen yliopisto, Åbo Akademi, LUT-yliopisto, VTT: monipuolinen tutkimus.
- » Yritykset: Wärtsilä Finland OY, AGCO Power Oy, Dinex Finland Oy, Meyer Turku Oy, Napa Oy, Bosch Rexroth Oy, Proventia Oy, Geyser Batteries Oy, APUGenius Oy. – Kaikilla teknillinen tutkimus.

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

- » Vetymoottoritutkimus.

### **Merenkulun ilmastopäästöjen vähentäminen**

Vihreä vety ja siihen perustuvat synteettiset polttoaineet avaavat merkittävän väylän merenkulun ilmastopäästöjen vähentämiseen. Puhdas vety isojen laivamoottorien polttoaineena minimoi kasvihuonekaasupäästöjen ohella myös lähipäästöt, sillä laihaseospoltto vähentää typen oksidien päästökin nollassa. Vaasan yliopisto tekee EU- ja BF-rahoitteisissa hankkeissaan laajaa vetymoottoritutkimusta yhdessä Aalto-yliopiston, Åbo Akademin, Tampereen yliopiston, LUT-yliopiston ja VTT:n kanssa. Yliopiston VEBIC-moottorilaboratorioon rakennettava vetypolttoainejärjestelmä mahdollistaa laiva- ja voimalamoottorien ja niiden komponenttien tutkimuksen ja demonstroidin täydessä mittakaavassa. Hankkeiden yritysosaajia ovat mm. eurooppalaiset varustamot, jotka tähtäävät vetykäyttöön ja muiden ilmastopäästöjä vähentävien järjestelmien demonstroidiin risteily- ja kuivalastialuksissa. Kotimaisia kumppaneita ovat mm. moottori- ja työkonevalmistajat sekä meriteollisuus. Moottorilaboratorion yhteydessä toimiva VEBIC-polttoainelaboratorio mahdollistaa vetyyn perustuvien synteettisten polttonesteiden monipuoliset analyysit.

## VTT:N TKI-TOIMINTA

### TAULUKKO: VETYTALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS VTT:SSÄ

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIIKKA            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysarit       | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Tutkimusryhmän nimi: Industrial Energy and Hydrogen tutkimusalue & Industrial Chemistry tutkimusalue. Tutkimusryhmän johtaja ja avainhenkilöt: Antti Arasto, VP industrial Energy and Hydrogen; Olli Himanen, Research Team Leader; Janne Kärki, Research Team Leader; Juha Lehtonen, Research Professor.

Teemojen tki-toiminnan tavoitteet: Käännämme tieteen ja teknologian avulla suuria globaaleja haasteita yritysten ja yhteiskunnan kestäväksi kasvuksi. VTT:llä on tutkimustoimintaa kaikissa suomalaisen vetyarvoketjun listatuissa osissa, sekä niihin liittyviin listaamattomiin cross cutting teemoihin kuten data, turvallisuus, kestävyys jne. Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: ~450htv hiilineutraaleissa ratkaisuissa (älykäs energia, liikenne, vety, teollisuuden energia ja ydinenergia). Suoraan vetyyn liittyvä julkisen tutkimuksen projektiportfolio on noin ~20M€/v.

#### Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt:

- » E-fuels pilot (Mobile Synthesis Unit)
- » Catalyst laboratories
- » Engine lab for fuel and engine test
- » Fuel cells and electrolyzers
  - Test facilities for SOFC/SOEC single cells, stacks and stack modules, as well as for materials and BoP components. Test stations developed and built in-house, easy to adapt for different geometries and test protocols.
  - 2 kW SOFC / 7 kW SOEC rSOC pilot system, operation of 2500+ hours
  - 10 kW SOFC power plant, also developed and built in-house. Operated more than 10000 hours, 54% efficiency from NG to electricity
  - Test facilities for PEMFC – focus on hydrogen quality, system control, and PEMFC applications
- » 5G pilot networks in order
- » Bioruukki pilotointikeskus
- » All activities supported by modeling (CFD, thermal, mechanical, etc.) from single components to complete systems

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio:

- » Kaikki suomalaiset korkeakoulut, vetyteemassa erityisesti Aalto ja LUT + Oulu, Åbo, Jyväskylä...)
- » Eurooppalainen yhteistyöverkosto: (CEA, ECN, FZJ, DTU, ENEA, RISE, Sintef, Sunfire, Engie, SolidPower, Fortum, Neste, Vantaan energia, ABB, Wärtsilä, Convion, Elcogen, Airliquid, Ballard, Shell, Linde, BMW, Andritz, Valmet...), North America, Japan, South Korea

Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta:

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Vetytalouteen liittyvien pullonkaulojen aukaisu, kustannustehokkuuden lisääminen, vähähiilisen energian lisääminen, puhtaan vedyn markkinaehtoinen käyttö kemiallisena energiavarastona, energian siirrossa, ja teollisuuden ja liikenteen dekarbonisaatiossa.



## VTT Key Competences – Power to X and Green Hydrogen



### Cutting-edge professionals

- 50 persons in hydrogen (production, storage and fuel cells)
- 30 persons in e-fuels synthesis & catalysis
- 30 persons in fuel testing and emissions
- 20 persons in TEA



### Diverse research infrastructure

- E-fuels pilot (Mobile Synthesis Unit)
- Catalyst laboratories
- Engine lab for fuel and engine test
- Fuel cells and electrolyzers
- 5G pilot networks in order



### Established networks

- Business Finland, ministries and EU as public sector networks
- Leading industry companies and NGOs as private sector partners
- Universities and research organizations as R&D partners



### Broad IPR portfolio

- Hydrogen
  - 8 patents on electrolysis and fuel cells
- Synthesis
  - 15 patents on gas cleaning, catalysts, C1 reactions and CCU

15/03/2022 VTT – beyond the obvious



# ÅBO AKADEMIN TKI-TOIMINTA

## TAULUKKO: VETYTALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS ÅBO AKADEMISSA

| ENERGIA   | VEDYN TUOTANTO        | LOGISTIikka            | TUOTTEET JA KÄYTTÖ   |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Aurinko   | Elektrolyysit         | Sähkö/vetyverkosto     | Polttokennot         |
| Tuuli     | Termokat.hajoaminen   | Nesteyttäminen         | Sähköpolttoaineet    |
| Ydinvoima | C talteenotto/varasto | Varastointi            | P2L - kemikaalit     |
| Vesivoima | C talteenotto/käyttö  | Toimitusketju,liikenne | Jalostusprosessit    |
| Biokaasu  | Tehoelektroniikka     | Polttokennot           | Metallien tuotanto   |
|           |                       | Infra luonnonkaasulle  | Ventt.Turb.moottorit |
|           |                       | Integroitu verkosto    | Voimakoneet          |
|           |                       |                        | CHP                  |
|           |                       |                        | Sähköistäminen       |

Åbo Akademin toiminta liittyy pitkälti hiilidioksidin talteenottoon sekä vedyn käsittelyyn, jakeluun ja käyttöön. Aihepiiriin liittyy myös biomassan kaasutus sekä sen ja vedyn käyttö CHP-voimalassa.

Tutkimusryhmä **Prosessi- ja systeemitekniikka**. Tutkimusryhmän johtaja ja avainhenkilöt: Anders Brink, Henrik Saxén, Ron Zevenhoven, Mikko Helle. Tavoitteet: **CCUS** (lähinnä mineraalien karbonointi ja hiilidioksidin hyödyntäminen), **vedyn nesteyttäminen, varastointi ja jakelu**, terästeollisuuden dekarbonointi, **P2X, LCA**. Arvio volyymistä htv, euroa per vuosi: 5-6 htv. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: CCS-pilottilaitteisto.

Yhteistyökumppanit: SSAB & Oulun Yliopisto (Vetypelkistys), TuAMK & UTU (Vetypilottilaitteisto suunnitelmissa), VDEh – Betriebsforschungsinstitut (Dusseldorf, rautamalmin vetypelkistys), Tata Steel (Hollanti, teräksenalustus). Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Vetypilottilaitteiston rakentaminen Turkuun ja muun olemassa olevan toiminnan jatkaminen

Tutkimusryhmä **Epäorgaaninen Kemia**. Tutkimusryhmän johtaja ja avainhenkilöt: Leena Hupa, Patrik Yrjas, Oskar Karlström. Tavoitteet: **Biomassan kaasutus vedyksi ja hiilimonoksidiksi**, Biomassan ja uusiutuvan vedyn **käyttö CHP-voimalassa**. Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: 5-6 htv Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: Biomassan karakterisointiin, kaasutukseen, polttoon ja analysointiin liittyvää monipuolinen tutkimuslaitteisto. Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: Erittäin laaja tutkimuslaitos- ja yritysverkosto biomassaan liittyvissä aiheissa

Tutkimusryhmä **Teknillinen kemia ja reaktiotekniikka**. Tutkimusryhmän johtaja ja avainhenkilöt: Dmitry Murzin, Tapio Salmi, Henrik Grénman. Teemojen tki-toiminnan tavoitteet: **Yhdisteiden hydrogenointi hienokemikaalien tuottamiseksi**, hiilidioksidin sorptio-avusteinen metanointi uusiutuvalla vedyllä, ligniinin pelkistävä depolymerisointi vedyn avulla, biojalostamojen jäte(vesi)virtojen reformointi vedyn tuottamiseksi, rautamalmin vetypelkistys (yhdessä Prosessi- ja systeemitekniikan laboratorion kanssa). Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: 5-6 htv

# AMMATTIKORKEAKOULUJEN TKI-TOIMINTA

## TAMK – Tampereen ammattikorkeakoulu

Tutkimusryhmät **Energy and Power Systems** (Aki Korpela, Lauri Hietalahti), **E-Mobility** (Timo Rainio, Antti Perttula) sekä **Talotekniikka** (Pirkko Harsia, Kari Kallioharju).

Tämänhetkiset tutkimusteemat ryhmiteltyinä vetyarvoketjun eri osiin:

**ENERGIA:** Uusiutuvat/ Fossiilittomat energiamuodot, Päästöjen vähentäminen. Liittyvät hankkeet:

**EL-TRAN -hanke** (2015–2021) tutki Suomen siirtymää ilmastoneutraaliin sähköenergiajärjestelmään. Monitieteinen tutkimushanke toteutettiin Tampereen yliopiston johdolla. TAMK toimi hankkeessa osatoteuttajana. Hankkeen rahoitti Suomen Akatemian yhteydessä toimiva Strategisen tutkimuksen neuvosto.

**Tulevaisuuden kaupunkiympäristön energiaratkaisut -hankkeessa** (2018–2022) vahvistetaan meneillään olevaa, Tampereen seudulla tapahtuvaa sähköenergiajärjestelmien koulutuksen, tutkimuksen ja yhteistyöverkoston kehittämistä. Erityisesti sitä käytetään toimenpiteisiin, joilla muuttuvan sähköenergiajärjestelmän älykkäitä ratkaisuja, erityisesti tulevaisuuden kaupunkiympäristössä, jalkautetaan rakentamisen ja käytön arkipäivään. Hankkeen toteuttajina ovat TAU ja TAMK sekä rahoittajana on Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry.

**LOGISTIikka:** Älykkäät teho- ja energiajärjestelmät, Älykkäät sähköverkot ja Energian varastointi. Liittyvät hankkeet:

**Energian varastointiratkaisut osana uusiutuvan sähköenergian käyttöä -hankkeessa** (2018–2020) toteutettiin energiavarastojen ja sähköajoneuvojen latauspisteiden avulla tulevaisuuden sähköenergiajärjestelmä, jossa keskeisiä teemoja ovat esimerkiksi tehopiikkien vähentäminen energiavarastojen avulla (kysyntäjousto) sekä energiavarastojen rooli kokonaisvaltaisesti optimoidussa uusiutuvan sähköenergian järjestelmässä ja osana kulutuspisteen sähköverkkoa. TAMK toimi hankkeen päätoteuttajana ja TAKK osatoteuttajana. Hankkeen rahoitti Pirkanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahasto.

**Smart case NZEB -hankkeessa** (2018–2021) rakennettiin optimoitu kiinteistöjen energiajärjestelmä, joka edistää energiatehokkuutta, uusiutuvaa energiaa, energian varastointia, kysyntäjoustoa ja kestävä kehitystä. TAMKin yhteistyökumppanina hankkeessa toimi Münchenin ammattikorkeakoulu MUAS ja rahoittajana Business Finland.

**Älykkäät ohjaukset moderneissa energiajärjestelmissä -hankkeessa** (2021–2023) suunnitellaan ja toteutetaan älypohjaisia ohjauksia energiamurroksen moderneihin sähkökäyttöihin, joissa energian varastoinnilla ja uusiutuvilla sähköntuotantomuodoilla on merkittävät roolinsa. Ohjaustarpeet ovat pääosin yritysveltoisia. TAMK toimii hankkeen päätoteuttajana ja TAKK osatoteuttajana. Hankkeen rahoittaa Pirkanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahasto.

**ProCemPlus -projektissa** (2019–2021) tutkittiin yksittäisten energiayhteisöjen muodostumista laajemmiksi yritysälhtöisiksi energiaekosysteemeiksi useiden tutkimusteemojen ja konkreettisten energiayhteisöjen kehittämiseen liittyvien pilottitapausten kautta sekä analysoida mikroverkkojen ja energiayhteisöjen roolia energiayhteisöjen kehittämisessä. Hanke oli Tampereen yliopiston viiden tutkijaryhmän, VTT:n ja TAMKin yhteishanke. Tutkimusprojektin päärahoittajana on toiminut Business Finland.

**TUOTTEET JA KÄYTTÖ:** Uudet sähköratkaisut ja innovaatiot. Liittyvät hankkeet:

**eTruck -hanke** (2015–2016) kehitti innovaatioalustan sähköisille hyötyajoneuvoille (ECV). Hankkeessa pystyttiin laskemaan sähkökäyttöisten bussien ja jakeluautojen energiatehokkuus hyödyntäen ajoneuvojen kaksisuuntaista reaaliaikaista tiedonsiirtoa. Lisäksi alusta tarjoaa älykkäitä ratkaisuja julkiselle liikenteelle ja rahdinkuljetukseen. TAMK toimi hankkeen toteuttaja. Hankkeen rahoitti Pirkanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahasto.

**Älykäs lataus hyötyajoneuvoille -hankkeessa** (2020) kehitettiin hyötyajoneuvoille tarkoitettuja latausjärjestelmiä. TAMK toimi hankkeen toteuttaja ja sitä rahoitti Ulla Tuomisen säätiö.

**Stara eRetrofit -projektissa** (2019–2021) selvitettiin mahdollisuuksia liikelaivos Staran ajoneuvokaluston muuttamisesta sähköiseksi. Arvokkaan tiedon ohella luotiin edellytyksiä uudelle liiketoiminnalle. Hankkeen toteuttivat Helsingin kaupungin liikelaivos Stara ja Forum Virium Helsinki yhteistyökumppaneinaan TAMK sekä VTT. Hankkeen rahoitti Helsingin kaupungin innovaatorahasto.

**Seclog -hanke** (2019–2022) tukee Pirkanmaan alueen yritysten liiketoimintamahdollisuuksia ja julkista sektoria sähköisten logistiikka- ja liikenneratkaisujen sekä kaupunki-infrastruktuurin kehittämisessä (yhteiskäyttölataus, älykkäät liikennejärjestelmät ja joukkoliikenne) ja tiukempien päästötavoitteiden saavuttamisessa sekä energia- ja kustannustehokkuuden parantamisessa. TAMK toimii hankkeen päätoteuttaja ja TAU/Verne osatoteuttaja. Hankkeen rahoittaa Pirkanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahasto.

Teemojen tki-toiminnan tavoitteet: **Uusimman osaamisen siirtäminen yrityksiin sekä uusien teknologioiden sovellukset ja innovaatiot yrityksille.** Luotettava sähköjärjestelmä ja energian optimoidut käyttöratkaisut ovat keskeisiä vahvuksiamme. Tämä luo pohjan puhtaan uusiutuvan energian laajamittaiselle käytölle sekä uusien teknologioiden ja ratkaisujen edelleen kehittämiselle.

Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: **5 htv, 500 k€/vuosi**

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: **TAMKilla on laaja TKI-yhteistyö yritysten, korkeakoulujen ja eri julkisten tahojen kanssa useissa eri hankkeissa**

Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta:

- » Sähköenergian mobiiliin varastoinnin ja hybridienergiajärjestelmien ekosysteemi
- » Sähköisen jakeluliikenteen tutkimusalusta ja -ekosysteemi eTruck

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

- » Polttokennon käyttöönottoon liittyvät projektit (aloitus drone-sovelluksella 2022)
- » Sähköenergian hybridienergiajärjestelmä, jossa polttokenno voi toimia yhtenä lähteenä
- » Energian varastointiratkaisut

## Tampereen yliopisto – Porin yliopistokeskus

Tutkimusryhmä Data-analytiikka ja optimointi (Tarmo Lipping, Jari Turunen, Juha Niemi).

Vetytaloudelle keskeiset tutkimusteemat: merituulivoiman ympäristövaikutusten (erityisesti vaikutukset linnustoon) arviointi, ydinjätteen loppusijoitukseen liittyvä mallinnus. Tavoitteet:

- » Merituulivoiman osalta tavoitteena on jatkokehittää ja kaupallistaa konsepti ja teknologia, jolla selvitetään ja monitoroidaan lintujen käyttäytymistä (meri)tuulipuistojen alueella. Tutkimusta on tehty yhdessä Suomen Hyötytuuli Oy:n kanssa

- » Ydinjätteen loppusijoituksen osalta tavoitteena on jatkokehittää radionuklidien kulkeutumismalleja ja niihin liittyvää herkkyystarkastelua

Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi: 2 htv, 200 k€/v. Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt: Suomen Hyötytuuli Oy:n omistama tutka-kamerajärjestelmä Tahkoluodossa. Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: Suomen Hyötytuuli Oy, Posiva, EURAD-hankkeen partnerit ([Homepage](#) | [Eurad \(ejp-eu-rad.eu\)](#) ).

Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta:

Suomen Hyötytuuli Oy:n omistama tutka-kamerajärjestelmä sekä siihen liittyvät syväoppivat algoritmin lintulajien tunnistukseen. Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Energiatuotantoon liittyvien ympäristömonitorointimenetelmien ja -mallien jatkokehittäminen erityisesti epävarmuuksien ja herkkyyden näkökulmasta.

## SeAMK – Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Tutkimusryhmä kestävä ja vastuullinen ruoantuotanto (FT Kari Laasasenaho, yliopettaja MMT Arja Nykänen ja TKI-päällikkö KTT Taru Mäki). Teemat: Energia ja vedyn jalostus (esim. lannoitteeksi). Tavoitteet: Vihreän vedyn tuotanto esim. tuuli-, ja aurinkoenergialla sekä biokaasulla. Etelä-Pohjanmaa on merkittävä tuulivoiman tuottaja ja alueelle on turvetuotannon jälkeen kehitteillä merkittävä määrä myös aurinkovoimaa tuotannosta vapautuville suonpohjille.

Tähän mennessä saavutetut kansainväliset meriitit: SeAMK on vahvasti mukana Regional Innovation Systems RIS3 Agrifood-verkostoissa (Smart Sensors 4 Agrifood, HighTech Farming, Traceability & Big Data and Consumer Involvement in Agrifood -verkostot) sekä European Regions for Innovation in Agriculture, Food and Forestry (ERIAFF) verkoston työryhmissä. Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Mikä on vetytalouden rooli osana ruokaketjua, energiahuoltoa ja liikennettä. Lisäksi vedyn jalostaminen esim. typpilannoitteeksi kiinnostaa.

## TuAMK – Turun ammattikorkeakoulu

Tutkimusryhmät: Smart Machines, Computational Engineering and Analysis sekä New Energy. Avainhenkilöt: Mika Lauren ja Eero Immonen. Vetytaloudelle keskeiset teemat: Vedyn käyttö liikennevälineiden sekä työkoneiden polttoaineena, varastointi, turvallisuus, moottorit sekä polttokennot. Arvio teemojen volyymistä 100-150 k€ per vuosi. Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio: UTU, ÅA, LUT, Elomatic, Turku Science Park, Flexens.

Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta: Elomaticin Green NorthH2 Energy Oy:n ympärille on syntymässä yliopistojen ja korkeakoulujen sekä muiden yritysten ekosysteemi. Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat: Vedyn tuotannon pilottilaitos sekä moottorilaboratorion varustaminen / muuttaminen vety-ammoniakki polttoaineille sopivaksi.

## Xamk – Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Tutkimusryhmät: Metsä-ympäristö-energia vahvuusala ja Xamk Kuitulaboratorio. Avainhenkilöt: Lasse Pulkkinen, tutkimusjohtaja (vahvuusala). Tapio Tirri, Kuitulaboratorion johtaja. Vetytaloudelle keskeiset tutkimusteemat:

- » Uusiutuvat energijärjestelmät TKI-toiminta Xamk Kymenlaakso.
- » Biokaasuun liittyvä tutkimustoiminta Mikkelissä

- » Hiilidioksidin talteenottoon liittyvä tutkimustoiminta Xamk Savonlinna, myös sähköpolttoaineiden (metanoli) tuotannon pilot-tutkimuslaitteisto 1-2/2022 – käytössä yhteistyössä Oulun yliopiston kanssa

Teemojen tki-toiminnan tavoitteet:

- » Energiatehokkuuden parantaminen
- » Hiilen sidonnan tehostaminen
- » Uusien liiketoiminta- ja teknologiaratkaisujen tuottaminen
- » Alueelliset työpaikat em. kautta

Arvio teemojen volyymistä htv, euroa per vuosi:

- » Vuodessa noin 1 milj. €

Käytössä olevat infrastruktuurit, sekä demo- ja pilotointiympäristöt:

- » Hiilidioksidin talteenotto-prosessin pilot
- » Metanolisynteesipilot
- » Sähkön varastointiteknologiat pilot
- » Biokaasun tuotantopilot

Yhteistyökumppanit (yritykset, muut yliopistot ja tutkimuslaitokset) ja niiden rooli ja kontribuutio:

- » Alueelliset energiayhtiöt
- » Oulun yliopisto (katalyytit)
- » Andritz
- » Carbon Reuse Finland Oy

Tähän mennessä saavutetut kansainväliset meriitit:

- » Kansainvälinen patentti CO<sub>2</sub> –talteenotto-prosessissa

Tähän mennessä syntyneet innovaatioekosysteemit, ratkaisut ja liiketoiminta:

- » CO<sub>2</sub> –innovaatioekosysteemi ja ratkaisut
- » Energiatehokkuus-ratkaisut (mm. hukkalämpöjen hyödyntäminen)
- » Biokaasu –ekosysteemi

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat:

- » CO<sub>2</sub> –talteenotto-prosessin kautta lähestytään toisaalta, katalyyttikehityksen ja metanolin kautta toisaalta sähköpolttoaineita
- » Suunnitelma hankkia vedyn elektrolyyttiseen tuotantoon koelaitteisto (pieni)
- » Power-to-x; esim. paperi- ja kartonkikemikaalit, tukea teollisuuden circle-to-zero –liiketoiminta-konseptia (esim. Andritz alueellisena veturina, Metsäyritykset)

## OAMK – Oulun ammattikorkeakoulu

**Hankkeen nimi: Biokaasua ja biometaanin maataloilta - BioKaMa**

Avainhenkilöt: Ritva Impola, projektipäällikkö, Mikko Aalto, Pekka Kokkonen. Biokaasutuotannon liittyminen vetyarvoketjuun on käynyt vetytalouden kehittämisen myötä entistä selkeämmäksi. Biokaasun tuotanto niin isossa kuin pienessäkin mittakaavassa tukee myös vetytalouden kehittämistä. Biokaasu liittyy vetyarvoketjussa kaikkiin sen neljään osaan ja useimpiin alakohtiin. Hankkeen tavoitteena on edistää biokaasun tuotantoa, jalostusmahdollisuuksia ja käyttöä Pohjois-Pohjanmaalla. Hankkeen tavoitteena on löytää Pohjois-Pohjanmaalta biokaasun yhteistuotannosta kiinnostuneita maatilaryhmiä tai yksittäisiä biokaasutuotantoa suunnittelevia tiloja ja edistää heidän suunnitelmiaan. Hankkeen tavoitteena on tuoda esiin uusia maatilamittakaavaan soveltuvia biokaasun puhdistus-, jalostus- ja käyttötekniikoita, mm. metaanin nesteytykseen pienessä mittakaavassa. Volyymi noin 0,75 htv/vuosi ja noin 80 000 €/vuosi (2020 – 2022).

**Hankkeen nimi: KASVU - Kasvua ja liiketoimintaa kiertotaloudesta Pohjois-Pohjanmaalla**

Avainhenkilöt: Virpi Käyhkö, projektipäällikkö ja Inka Karvonen. Hankkeessa laaditaan selvitys biokaasun teknisistä käyttömahdollisuuksista, taloudellisuudesta ja ilmastovaikutuksista teollisuuden energian tuotannossa yhteistyössä alan toimijoiden kanssa. Biokaasun käytön edistämiseksi järjestetään kuntainfoja ja toimijatapaamisia, joissa jaetaan tietoa biokaasun ilmasto- ja ympäristövaikutuksista sekä loppuasiakkaiden kokemuksista. Hankkeen tavoitteena on jakaa tietoa ja esimerkkejä biometaanin energiakäytöstä teollisuudessa korvaamaan mm. fossiilisen nestekaasun käyttöä osana vähähiilisempää ja ilmastomyönteisempää toimintaa. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä biometaanin käytöllä julkisessa liikenteessä on jo hienoja edelläkävijöiden esimerkkejä, mutta tietoa ja osaamista yhä kaivataan niin yrityksissä kuin julkisissa organisaatioissa. Volyymi noin 1 htv/vuosi ja noin 100 000 €/vuosi (2021 – 2022)

Vetytalouteen liittyvään tki-toimintaan liittyvät lähivuosien kysymykset ja suunnitelmat Oamkin luonnonvara-alalla: Biokaasun merkitys vetytaloudessa tulee korostumaan entisestään. Maataloilla voisi olla merkittävää roolia biokaasuliiketoiminnassa tulevina vuosina ja siihen olisi syytä panostaa. Oulun ammattikorkeakoulun Luonnonvara-alalla on ollut biokaasun tuotantoon, jalostukseen ja käyttöön liittyvää hanketoimintaa jo vuodesta 2005 lähtien ja se on edelleen vahvasti mukana alan kehityshankkeissa yksistään sekä yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa. Oamk on kumppanina MMM:n Hiilestä kiinni -rahoitushaussa olevassa Nivalan hiiliviisas agroteollinen malli, NIHIILI-hankkeessa, jonka päähakijana on Oulun yliopisto. Hankkeen tavoitteena on kehittää ”hiiliviisas agroteollinen” -malli Nivalan alueelle, joka tarjoaa keinoja vähentää kasvihuonepäästöjä vuoteen 2030 mennessä. Nivalan alue toimii esimerkkinä maatalouden, energian tuotannon ja teollisuuden välisestä symbioosista, jossa voidaan hyödyntää ravinteiden kierrätystä sekä lannan ja peltobiomassojen käyttöä energiana ja teollisuuden raaka-aineena. Mallin avulla kasvihuonekaasupäästöihin voidaan vaikuttaa turvopelloilla, maataloilla, liikenteessä ja energian tuotannossa, jolloin hankkeella on positiivinen vaikutus niin karjatilojen, tuotannollisten yritysten ja kuluttajien hiilijalanjälkeen. Hanke toimii pohjana biokaasuklusterin kehittämistyössä.

# YHTEENVETO KOULUTUS JA TKI-TOIMINNASTA

## TAULUKKO: KOULUTUSTARJONTA, YLIOPISTOJEN YHTEENVETO

| ENERGIA           | VEDYN TUOTANTO              | LOGISTIIKKA                    | TUOTTEET JA KÄYTTÖ           |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Aurinko<br>++++   | Elektrolyysit<br>+++++      | Sähkö/vetyverkosto<br>++++     | Polttokennot<br>+++          |
| Tuuli<br>++++     | Termokat.hajoaminen<br>+++  | Nesteyttäminen<br>+++++++      | Sähkölpoltoaineet<br>++++    |
| Ydinvoima<br>+++  | C talteenotto/varasto<br>++ | Varastointi<br>+++++           | P2L- kemikaalit<br>++        |
| Vesivoima<br>++++ | C talteenotto/käyttö<br>+++ | Toimitusketju,liikenne<br>++++ | Jalostusprosessit<br>+++     |
| Biokaasu<br>++++  | Tehoelektroniikka<br>+++    | Polttokennot<br>++++           | Metallien tuotanto<br>+++++  |
|                   |                             | Infra luonnonkaasulle<br>+++   | Ventt.Turb.moottorit<br>++++ |
|                   |                             | Integroitu verkosto<br>++      | Voimakoneet<br>++++          |
|                   |                             |                                | CHP<br>+++++                 |
|                   |                             |                                | Sähköistäminen<br>++++       |

Yliopistojen koulutustarjonta kattaa laajasti vedyn koko arvoketjun. Tällä hetkellä vetyyn liittyvä koulutus on hajautettuna perinteisempien koulutusohjelmien sisällä yksittäisinä kursseina tai niiden osina. Saatavilla tai kehitteillä on muutama laajempi moduuli 20-30 op, sisältäen vetyteknologiaa, vetytaloutta ja energian varastointia. Yksinomaan vetyyn fokusoitu koulutustarjonta on kuitenkin vähäistä. Tällä hetkellä yliopistojen opetuksen fokus on tutkinto-opiskelijoissa. Yksittäisiä kursseja voi suorittaa FITECHin kautta tai avoimessa yliopistossa.

Yllä olevaan taulukkoon on koottuna tarkasteltujen yliopistojen vetyarvoketjun osiin liittyvä koulutustarjonta yliopistojen oman arvion mukaan. Plusmerkkien määrä ilmaisee sen, kuinka monessa yliopistossa kyseiseen aihepiiriin liittyvää koulutusta on saatavissa. Taulukon värikoodit on valittu siten, että vihreällä on merkitty ne osat, joissa tällä hetkellä on vastausten perusteella laajasti koulutustarjontaa, keltaisella ne osat, joissa on selvästi tarpeita koulutuksen laajentamiselle ja punaisella ne osat, joissa vaikuttaisi olevan eniten kehittämisen varaa.

Kuten vetyarvoketjua tarkastelemallakin voi todeta, vetytalouden kehittäminen vaatii osaamista useilta eri aloilta, mukaan lukien ainakin energiajärjestelmät, sähkötekniikka, energiatekniikka, koneetekniikka (koneet, rakenteet ja materiaalit), maarakentaminen, infrarakentaminen, metallien tuotanto, prosessimetallurgia, meritekniikka, prosessitekniikka, kemiantekniikka.

Energiantuotannon osalta merkittävin muutos tulee olemaan tuulivoiman massiivinen lisäys lähivuosikymmeninä. Tuulivoiman rakentamiseen, käyttöön ja liiketoimintaan liittyvän koulutustoiminnan

kehittäminen on hyvä koordinoida vetytalouden kanssa. Samoin vaikuttaa olevan ydinvoiman osalta, koska sen rooli on hiilivapaana tuotantomuotona jälleen vahvistumassa ja samaan aikaan ydinvoiman toimintaympäristö muuttuu voimakkaasti.

Eräs iso kysymys on eri energiamarkkinat ja niiden yhdistyminen – Sähkömarkkina tulee vaikuttamaan vedyn ja sen johdannaisien markkinoihin ja päinvastoin. Miten nämä tekijät tulisi ottaa huomioon koulutuksessa ja opetusohjelmissa on vielä epäselvää. Arvoketjussa nämä kysymykset asettuvat logistiikan alle (integraatio, infra, sähkö/vetyverkosto). Sähköverkkojen ja sähköenergiajärjestelmän osalta Suomessa on vahva koulutusperinne, mutta energijärjestelmän laajeneminen käsittämään sähköverkon ja vetytalouden vuorovaikutuksen sekä samalla sektorikytkennät sähköstä lämpöön ja sähköistettyyn liikenteeseen laajentavat osaamistarpeita ja luovat uusia koulutustarpeita.

Vetyarvoketjun laitteistojen ja järjestelmien toteuttaminen vaatii prosessikoneiden, -laitteiden ja järjestelmien valmistusosaamista sekä rakenteiden suunnitteluosaamista. Järjestelmien luotettavuus ja turvallisuus lienee myös keskeinen näkökulma. Nämä kohdat ovat nyt varmaankin listattujen sisällä, mutta eivät käy selvästi ilmi ryhmittelystä.

Vetytalouden osaamis- ja koulutustarpeisiin vaikuttaa myös useita poikkileikkaavia asioita: talous, politiikka, ympäristö ja vihreä siirtymä kokonaisuudessaan.

Talouteen liittyy projektien ja liiketoiminnan suunnittelu, kaupallistaminen sekä markkinoiden seuranta ja analysointi. Poliitiikan osalta kytkentää löytyy m.m. geopolitiikkaan, regulaation seuraamiseen ja sosiotekniseen analyysiin. Ympäristön kannalta huomioon on otettava turvallisuustekijät sekä erilaisten prosessien vaikutukset ympäristöön ja maankäyttöön. Lisäksi on tarpeen kehittää ennakointikykyä sille miten vihreä siirtymä muuttaa toimintaympäristöä ja vetytalouden edellytyksiä.

Työryhmä ehdottaa verkostotyyppistä yhteistyötä uusien vetytaloutta koskevien kurssien toteuttamiseksi siten, että yliopistot voivat hyödyntää toistensa tarjoamia kursseja osana koulutusohjelmiaan. Uudet kurssit tulisi mahdollisuuksien mukaan toteuttaa siten, että ne voidaan opiskella etänä ja itsenäisesti, jolloin ne voisivat palvella myös täydennyskoulutusta.

Vetyarvoketjuun liittyvät koulutustarpeet koskettavat erittäin laajasti eri tekniikan aloja, sekä myös taloutta, politiikkaa ja yhteiskuntatieteitä. Erillisten vetytekniikkaa ja -taloutta koskevien koulutusohjelmien sijaan olisi tarkoituksenmukaista kehittää vetyarvoketjuun liittyviä koulutusmoduuleita, joita voitaisiin hyödyntää osana nykyisiä koulutusohjelmia esimerkiksi pää- ja sivuainemoduuleina. Luontevinta olisi toteuttaa vetyyn liittyvä uusi koulutustarjonta yhteistyönä eri yliopistojen kesken niin että yliopistot hyödyntävät toistensa tarjoamia kursseja osana omia koulutusohjelmiaan. Uusien kurssien toteuttaminen mahdollisimman pitkälle etäopetuksena ja itsenäisenä opiskeluna mahdollistaisi niiden hyödyntämisen myös täydennyskoulutuksessa. Korona-aikana yliopistot ovat joutuneet kehittämään etäopetustaan nopeaan tahtiin, minkä vuoksi valmiudet verkko-opetukseen ovat olemassa.

Työryhmä ehdottaa verkostotyyppistä yhteistyötä uusien vetytaloutta koskevien kurssien toteuttamiseksi (FITECH). Esimerkkejä mahdollisista koulutuskokonaisuuksista on esitetty oheisessa taulukossa. Näin iso koulutustarjonnan laajentaminen vaatii merkittävää määrärahojen lisäystä OKM:n puolelta. Suotuisimmassa tapauksessa toiminta voisi alkaa syksyllä 2023.



## TAULUKKO: ESIMERKKEJÄ MAHDOLLISISTA YLIOPISTOJEN YHTEISTYÖNÄ TOTEUTETTAVISTA KOULUTUSMODUULEISTA

|   |
|---|
| Voimajärjestelmän ja vetyjärjestelmän integraatio. Sektori-integraatio sähkö-lämpö-vety. Tasapainon hallinta eri järjestelmissä. Vedyn vaikutus energiatalouteen ja -markkinoihin |
| Energiavarastot ja vetyvarastot. Vetyvarastojen materiaalitekniikka. Elektrolyysit ja polttokennot. Turvallisuus.   |
| Konetekniikka, moottorit, vetyverkoston ratkaisut. Materiaalit. Turvallisuus  |
| Power-to-X. Vedystä johdettavat tuotteet. Vaihtoehtoiset tavat tuottaa vetyä. Vedyn ja eri kemikaalien markkinat. Vedyn rooli teollisuuden dekarbonisaatiossa.                    |
| Liiketalous, kansantalous, politiikka, ympäristö ja vihreä siirtymä kokonaisuudessaan. Sosioekonomiset kysymykset. Yhteiskuntatieteet.  |

Yliopistojen opetukselliset vahvuudet perustuvat niiden tutkimustoiminnassa hankittuun tietoon, osaamiseen ja näkemykseen. Siirtyminen vetytalouteen ja vihreä siirtymä ylipäänsä vaatii nopeaa, poikkitieteellistä ja laaja-alaista tietämyksen ja osaamisen lisäämistä. Tätä kehitystä voidaan nopeuttaa lisäämällä yliopistojen ja yritysten vetytalouteen liittyvää tutkimustyötä. Keinoina voisivat olla yliopistojen ottaminen mukaan teollisiin pilotteihin esim. prosessimallinnuksen kautta, kannustaminen sivutoimisiin tohtoriopintoihin teollisuusyrityksissä, sekä PostDocs in companies-ohjelman tehokkaampi hyödyntäminen ulkomaisten osaajien pitämiseksi Suomessa.

## TAULUKKO: VETYTALOUTEEN LIITTYVÄ TUTKIMUS YLIOPISTOISSA JA TUTKIMUSLAITOKSISSA - YHTEENVETO

| ENERGIA             | VEDYN TUOTANTO                 | LOGISTIIKKA                    | TUOTTEET JA KÄYTTÖ          |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Aurinko<br>+++++++  | Elektrolyyseri<br>+++++++      | Sähkö/vetyverkosto<br>++++     | Polttokennot<br>++++        |
| Tuuli<br>+++++++    | Termokat.hajoaminen<br>+++     | Nesteyttäminen<br>+++++        | Sähkölaitteet<br>+++++++    |
| Ydinvoima<br>++++   | C talteenotto/varasto<br>+++++ | Varastointi<br>+++++++         | P2L – kemikaalit<br>+++     |
| Vesivoima<br>+++++  | C talteenotto/käyttö<br>+++++  | Toimitusketju,liikenne<br>++++ | Jalostusprosessit<br>+++    |
| Biokaasu<br>+++++++ | Tehoelektroniikka<br>++++      | Polttokennot<br>+++            | Metallien tuotanto<br>+++++ |
|                     |                                | Infra luonnonkaasulle<br>+++   | Ventt.Turb.moottorit<br>+++ |
|                     |                                | Integroitu verkosto<br>+++     | Voimakoneet<br>++++         |
|                     |                                |                                | CHP<br>+++++                |
|                     |                                |                                | Sähköistäminen<br>++++      |

Yllä olevaan taulukkoon on koottuna tarkasteltujen yliopistojen ja tutkimuslaitosten vetyarvoketjun osiin liittyvä tutkimustoiminta yliopistojen oman arvion mukaan. Plusmerkkien määrä ilmaisee sen, kuinka monessa laitoksessa kyseiseen aihepiiriin liittyvää tutkimusta on saatavissa. Taulukon värit on valittu siten, että vihreällä on merkitty ne osat, joissa tällä hetkellä on vastausten perusteella laajasti osaamista ja keltaisella ne osat, joissa on tarpeita tutkimuskentän laajentamiselle.

Tutkimuslaitosten ja yliopistojen osaaminen kattaa vedyn arvoketjun jo nykyisellään varsin hyvin. Suurimmat tarpeet laajentaa tutkimusta liittyvät energiajärjestelmän ja vetyjärjestelmän rajapintaan ja niiden vuorovaikutukseen, vetykaasuun liittyvän infran rakentamiseen, sekä vedyn ja vedystä edelleen kehitettävien ja jalostettavien tuotteiden viemiseen markkinoille.

Energiajärjestelmän ja vetyjärjestelmän rajapinnassa on syytä selvittää erilaisten joustavien resurssien hyödyntämistä eri järjestelmien kesken sekä sektorikytkentöjen sähkö-lämpö-vety vaikutusta järjestelmien dynamiikkaan.

Infran rakentaminen olisi toteutettava tavalla, joka maksimoi vihreästä vedystä saatavan hyödyn ja minimoi sen yksikkökustannukset loppukäyttäjän näkökulmasta. Vastaavasti lopputuotteiden jatkojalostus joutuu kilpailemaan nykyisten fossiilisiin tuotteisiin perustuvan talouden kanssa, mikä tuo omat haasteensa. Tällaisen kokonaisuuden hallinta vaatii markkinoiden seuranta ja analysointia, sekä politiikan osalta regulaation seuraamista sekä sosioteknistä analyysiä.

Tutkimuslaitosten mielenkiinto kohdistuu myös laajasti erilaisiin tapoihin tuottaa vihreää vetyä. Esiin nousi m.m. vedyn tuotanto teollisuuden epäorgaanisista sivuvirroista, valokatalyyttinen vedynvalmistus, vedyn tuotanto päästökaasusta, biologinen vedyntuotanto, korkeanlämpötilan yhdistetty vesihöyry- ja hiilidioksidielektrolyysi, anioninvaihtokalvoon perustuva elektrolyysi sekä merivesielektrolyysi.

Voidaan ajatella, että aurinkoon ja tuuleen perustuva elektrolyyttinen vedyntuotanto on referenssi muille tuotantomuodoille. Kilpailevilla tekniikoilla pitää menestyäkseen olla selkeät näkymät kokonaisyötyyksen nostoon, taloudellisuuteen ja globaaliin skaalautuvuuteen.

Suurimmat tutkimustarpeet liittyvät energiajärjestelmän ja vetyjärjestelmän rajapintaan ja niiden vuorovaikutukseen, vetyyn liittyvän infran rakentamiseen, sekä vedyn ja vedystä edelleen kehitettävien ja jalostettavien tuotteiden viemiseen markkinoille.

Vety kilpailee nykyisten fossiilisiin tuotteisiin perustuvan talouden kanssa, mikä tuo omat haasteensa. Kokonaisuuden hallinta on poikkitieteellinen kysymys, joka vaatii myös taloudellista osaamista, politiikan ja regulaation seurantaa sekä sosioteknistä analyysiä.

Osaamisen kehittäminen, koulutustoiminta ja tutkimustoiminta nivoutuvat kiinteästi yhteen. Työryhmä ehdottaa laaja-alaisen tutkimusohjelman käynnistämistä vetytalouden vaatiman osaamisen varmistamiseksi yhteistyössä yliopistojen, tutkimuslaitosten ja yritysten kesken. Tutkimusohjelmassa olisi huomioitava niin lyhyen kuin pitkän aikavälin tutkimustarpeita. Tutkimusohjelman painopisteiden tulisi olla pitkälle samat kuin edellä on esitetty koulutustarpeille:

1. Energia- ja vetyjärjestelmän integraatio, sektori-integraatio sähkö-lämpö-vety
2. Energia- ja vetyvarastot, elektrolyysit ja polttokennot, turvallisuuskysymykset
3. Koneet ja moottorit, vetyverkostot ja niiden tekniset ratkaisut, materiaalitekniikka
4. Vedyn ja sen johdannaisten tuotanto, markkinat ja käyttö. Teollisuuden dekarbonisaatio.
5. Talous, politiikka ja vedyn rooli vihreässä siirtymässä

Tutkimusyhteistyö kannattaisi nivoa suunnitteilla olevien teollisten pilottien ympärille esimerkiksi laitosten suorituskyvyn arvioinnissa reaaliaikaiseen mittausdataa perustuen ja ajoparametrien optimoinnissa prosessisimulaatioon perustuen. EU:n rahoitusinstrumenttien tehokkaassa hyödyntämisessä, esimerkiksi Clean Hydrogen Partnership, tarvitaan tiivistä teollista yhteistyötä. Lopuksi teollisuuden tukikirjeet ja osarahoitus yliopistojen tutkimus- ja infrastruktuurihankkeisiin on tärkeää hankkeiden läpiviemiseksi.

Vetyklusterin White Paperissa esitetty arvoketju kattaa varsin hyvin vetyyn liittyvän teollisen toiminnan. Työryhmä esittää arvoketjuun seuraavia lisäyksiä: 1) vaihtoehtoisia tapoja tuottaa vetyä esimerkiksi fotosynteesin tai fotokatalyysin avulla tai valosähkökemiallisesti, 2) Eriväristen vetyjen ja niistä johdettujen kemikaalien asema maailmanmarkkinoilla ja sen kehittyminen, ja 3) talous, politiikka ja sosiotekniset kysymykset vetytalouteen siirryttäessä. Lisäksi, tuulivoiman roolin ollessa tulevaisuuden päästöttömässä energiatuotannossa merkittävä, on sen roolia vetyarvoketjun kannalta arvioitava uudelleen tuulivoimayhdistyksen selvityksen valmistuttua.

Suomen vahvuuksina vetytalouteen siirtymisen näkökulmasta työryhmä näkee monipuolisen energiajärjestelmän ja edistykellisen sähkömarkkinan, monipuolisen teollisuusrakenteen sekä laaja-alaisen osaamisen yliopistoissa, tutkimuslaitoksissa ja teollisuudessa. Suomessa on perinteisesti ollut vahvaa yhteistyötä teollisuuden ja yliopistojen kesken. Sektorikytkennän (sähkö-lämpö-vety) hyödyntäminen mahdollistaa kustannustehokkaan järjestelmän, jossa vedyntuotanto voidaan toteuttaa hyvällä hyötysuhteella. Monipuolisen teollisuusrakenteen ansiosta on mahdollista pilotoida vedyn arvoketjun eri osiin liittyviä teknologioita laajassa mittakaavassa ennen vientiprojektien toteuttamista.

Pitemmällä tähtäimellä vedyn ja sen johdannaisten markkina tulee enenevässä määrin olemaan vientimarkkina. Markkinan kehittymisen tunteminen on ratkaisevan tärkeä tekijä vetytalouteen liittyvän liiketoiminnan kehittämisen kannalta. Vetyä ei kannata viedä Suomesta vetynä vaan mahdollisimman korkean lisäarvon tuotteina. Elektrolyyttisen vedyn tuotannon lisäksi on hyvä panostaa esimerkiksi metanolisynteesiin ja metanolin jatkojalostamiseen nestemäisiksi polttoaineiksi ja arvokkaammiksi kemikaaleiksi.

YLIOPISTOJEN JA TUTKIMUSLAITOSTEN VETYTALOUDEN  
KOULUTUSTARJONTA JA TKI-TOIMINTA

# Hydrogen Cluster Finland – Business for clean planet



[www.h2cluster.fi](http://www.h2cluster.fi)