



Bioresurssien tehokkaampi käyttö energiavarastoina ja vihreän siirtymän mahdollistajana - BitKein

PROJEKTIN LOPPURAPORTTI

30.9.2026



Euroopan unionin
osarahoittama



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

VTT



KSL
Keski-Suomen liitto

Sisältö

1. Hankkeen taustatiedot ja päätehtävät
2. Tutkimuksen taustaa
3. Leijuinfran konvertointi sähkökuumentaiseksi
4. Hiilidioksidi- ja kalkkikierron hyödyntäminen energiavarastona
5. Virtausakut ja aurinkosähköjärjestelmä
6. Monistettavuus ja liiketoimintamahdollisuudet Keski-Suomessa
7. Tiedotus ja viestintä
8. Yhteenvedo



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



1. Hankkeen taustatiedot



Euroopan unionin
osarahoittama



BitKein JTF-hankkeen taustatiedot

- Päärahoitus: Uudistuva ja osaava Suomi 2021-2027 EU:n alue- ja rakennepolitiikan ohjelma
 - Toimintalinja 7, Oikeudenmukaisen siirtymän Suomi
 - Erityistavoite 7.1 Turpeesta luopumisen alueellisesti oikeudenmukainen siirtymä
 - Käsitlevä liitto: Keski-Suomen liitto
- Muut rahoittajat, kts. seuraava sivu
- Ryhmähanke, jonka toteuttajia ovat:
 - Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy (päähankkeen toteuttaja)
 - Jyväskylän yliopisto (osahankkeen toteuttaja)
- Kokonaisuus jakautui kahteen osioon:
 - Tutkimushankkeiden yhteenlaskettu budjetti 808 k€
 - Investointihankkeiden yhteenlaskettu budjetti 723 k€
- Hankkeen aikataulu 1.9.2023 - 31.5.2026



**Euroopan unionin
osarahoittama**



VTT



Projektin osapuolet

1. VTT, Jyrki Raitila & Janne Kärki, koordinaattori
2. Jyväskylän Yliopisto (JY), Matti Haukka
3. Alva-Yhtiöt Oy
4. Metsä Group Oy
5. Sumitomo SHI FW Energia Oy
6. Savon Voima Oyj
7. Vantaan Energia Oy
8. Kuopion Energia Oy
9. Lahti Energia Oy
10. Kokkolan Energia Oy
11. Kainuun Voima Oyj
12. NewStars & Co Oy
13. Elisa Oyj
14. Finnvolt Oy
15. Sähkö-Äijät Oy



**Euroopan unionin
osarahoittama**



VTT



Projektin päätehtävät

- VTT:n Investointiosio (rinnakkainen investointihanke): Hankintaselvitykset ja hankintojen toteutus: polttopilot-laitteistojen sähkökuumennus, hiilidioksidin käsittelylaitteisto, aurinkosähkö- ja virtausakkujärjestelmä.
- JY:n Investointiosio (rinnakkainen investointihanke): Hankintaselvitykset ja hankintojen toteutus: SLS-3D tulostin elektrodien valmistukseen, BET-sorptiolaitteisto pinta-alojen ja huokoisuuksien määrittämiseen, pyrolyysiuuni johtavan hiilen valmistukseen, laboratoriomittakaavan testivirtausakkuun tarvittavat komponentit.
- VTT:n Jyväskylän polttopilot-laitteistojen konvertointi sähkökuumentoiseksi, koeajot sähköistetyllä polttopilot-laitteistolla ja sähköistuksen taloudellisen kannattavuuden arviointi käyttäen esimerkkitapauksena Keljonlahden voimalaitosta.
- Tutkia hiilidioksidi- ja kalkkikierron hyödyntämistä energiavarastona, tutkia konseptin teknistä- ja taloudellista kannattavuutta ja luoda edellytykset sen kokeelliseen tutkimukseen.
- Virtausakku-aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu, komponenttien mitoitus, hankinnat, luovutus, rakennuttaminen ja käyttöönotto VTT:llä Jyväskylässä. Järjestelmän operointilogiikan kehittäminen ja optimointi sekä esimerkkitarkastelu suuren kokoluokan virtausakun kannattavuudesta.
- Akkukäyttöön soveltuvan hiilen valmistus biomateriaaleista, elektrodien valmistusmenetelmän kehittäminen ja virtausakkujen tekninen optimointi (JY)
- Monistettavuuden ja liiketoimintamahdollisuuksien arviointi turvetuotantoalueilla kasvatettujen biomassojen mahdollisuuksista hiilen lähteenä, polttolaitosten sähköistysratkaisujen vaikutuksesta Keski-Suomessa, virtausakuston soveltuvuudesta energiavarastoksi sekä kasvaneen jouston vaikutuksesta tuuli- ja aurinkovoiman kannattavuuteen.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



VTT



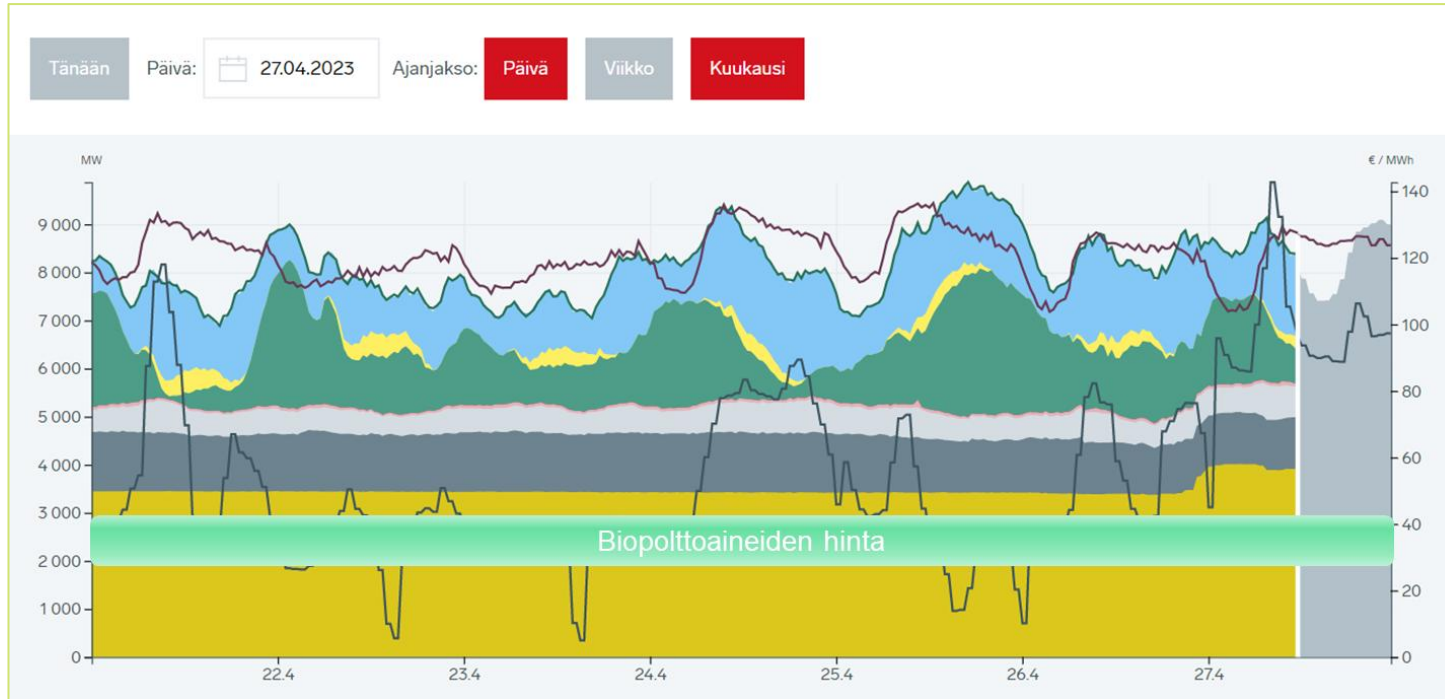
2. Tutkimuksen taustaa



Euroopan unionin
osarahoittama



Vihreä siirtymä näkyy jo sähköjärjestelmässä

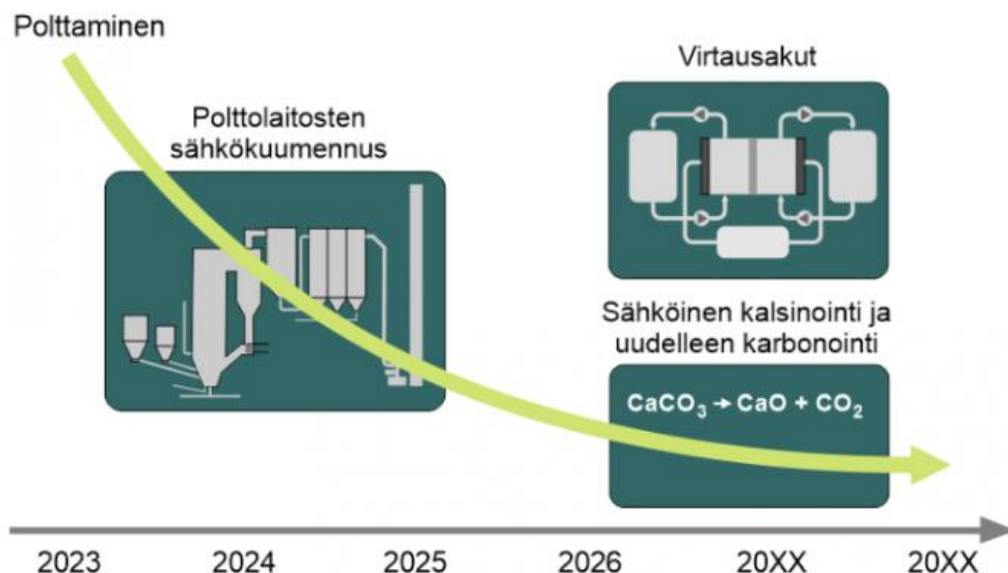


1. Tuuliseen aikaan sähkön hinta laskee. Tuulivoiman määrä on esitetty kuvassa tumman vihreällä, sähkön hintaa kuvaa alempi musta viiva.
2. Sähkön hinta käy varsin usein matalampana kuin biopolttoaineiden hintataso. Kaksi harmaan sävyistä väriä kertoo, kuinka paljon Suomessa tuotetaan sähköä myös halvan sähkön aikaan polttamalla, enimmäkseen biopolttoaineilla. Teollisuuden biopolttoaineesta suuri osuus on mustalipeän polttoa soodakattiloissa, mutta muita biopolttoaineita olisi helpompi varastoida halvan sähkön aikana ja polttaa kun sähkö on taas kalliimpaa.



Euroopan unionin
osarahoittama

Kolme ratkaisua sähköjärjestelmän säätöön ja energian varastointiin



Hyödyt

- ✓ Vähemmän polttoa ja päästöjä
- ✓ Käännetään hiilinielut kasvuun
- ✓ Hyödynnetään olemassa olevaa tehokasta infraa ja polttoaineita luonnollisena energiavarastona
- ✓ Mahdollistetaan suuremmat uusiutuvan energian osuudet ja investoidun kapasiteetin suurempi käyttö
- ✓ Ennustettavampi, tasaisempi ja matalampi energian hinta
- ✓ Mahdollisesti taloudellisesti kannattavia ratkaisuja jo nykyisillä markkinoilla



Euroopan unionin
osarahoittama

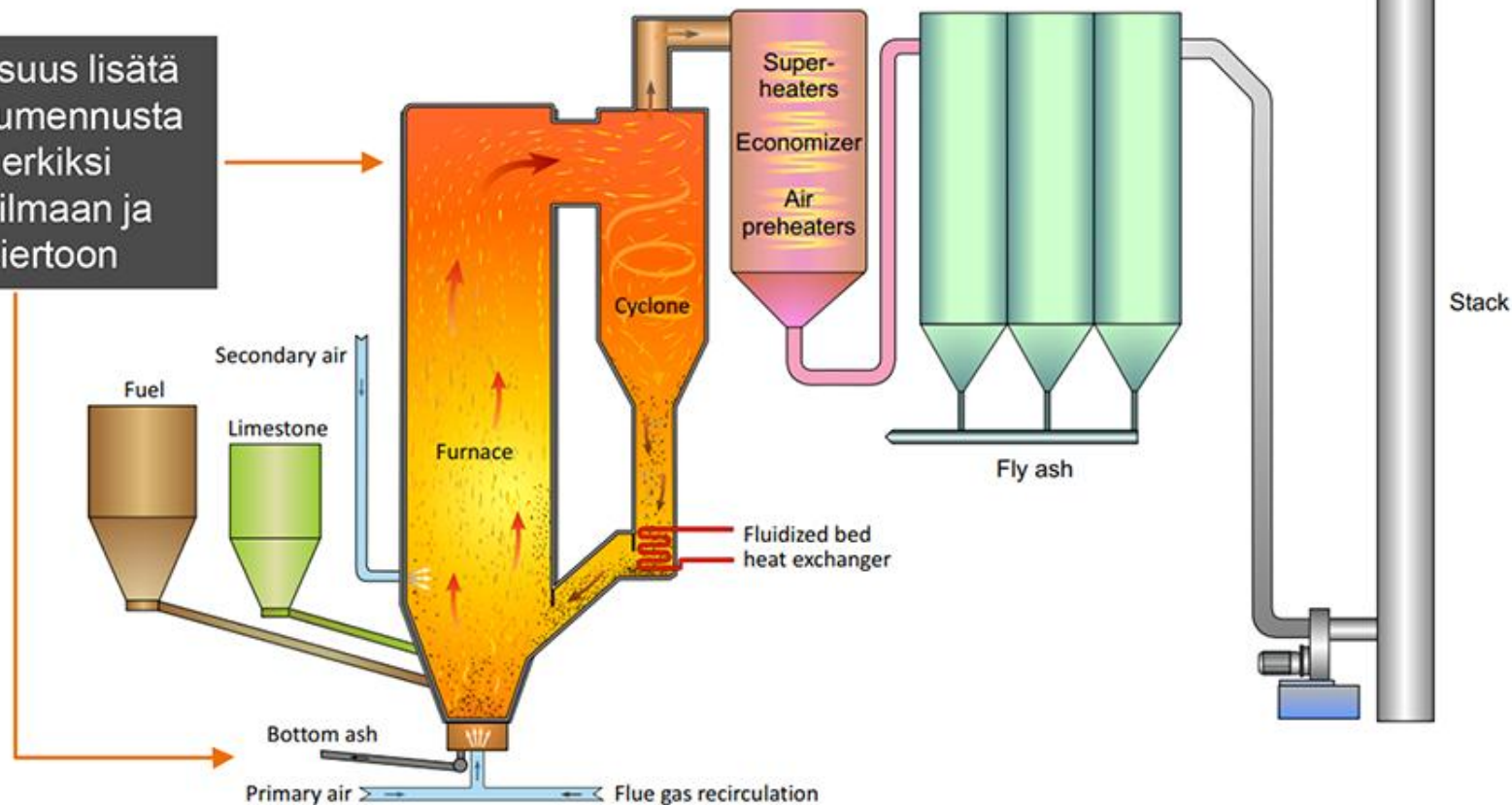


VTT



Sähkön avulla voidaan pienentää kattilan polttoainekäyttöä, kun sähkö on halpaa.

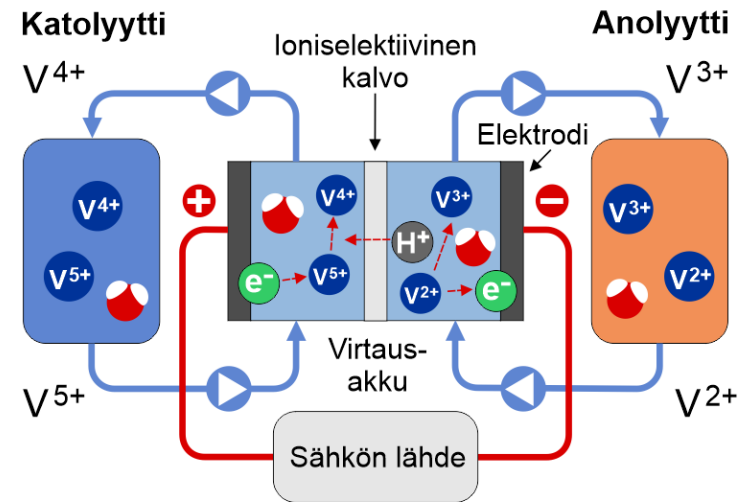
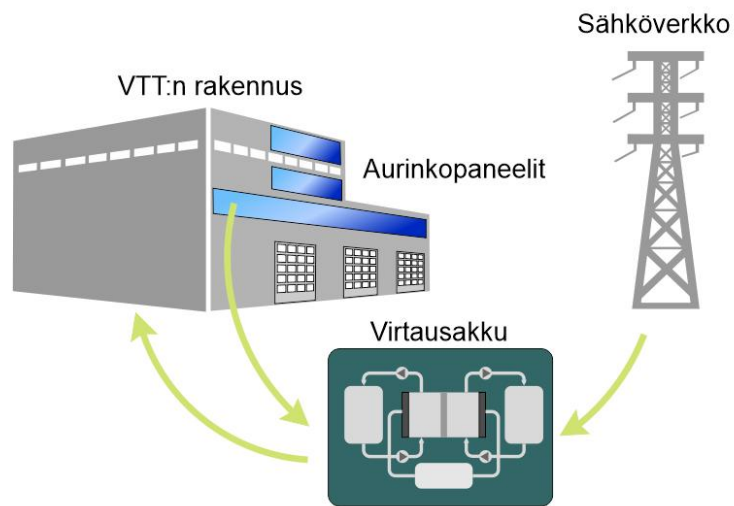
Mahdollisuus lisätä sähkökuumennusta esimerkiksi leijutusilmaan ja vesikiertoon



Euroopan unionin
osarahoittama

Aurinkosähköjärjestelmä + virtausakku yhdistettynä VTT:n sähköistyvän teollisuuden koeinfraan

- Hankkeessa rakennetaan Jyväskylän VTT:lle aurinkosähköjärjestelmä. Lisäksi investoidaan virtausakkuun, johon kerättyä aurinkoenergiaa voidaan varastoida. Hankittava järjestelmä kytketään VTT:n Jyväskylän sähköverkkoon, ja tuotetaan energiaa VTT:n tarpeisiin. Halvan verkkosähkön aikana energiaa voidaan varastoida virtausakkuun myös sähköverkosta.
- BitKein-kokonaisuudessa Jyväskylän yliopisto kehittää hankkeessa virtausakkujen komponentteja.



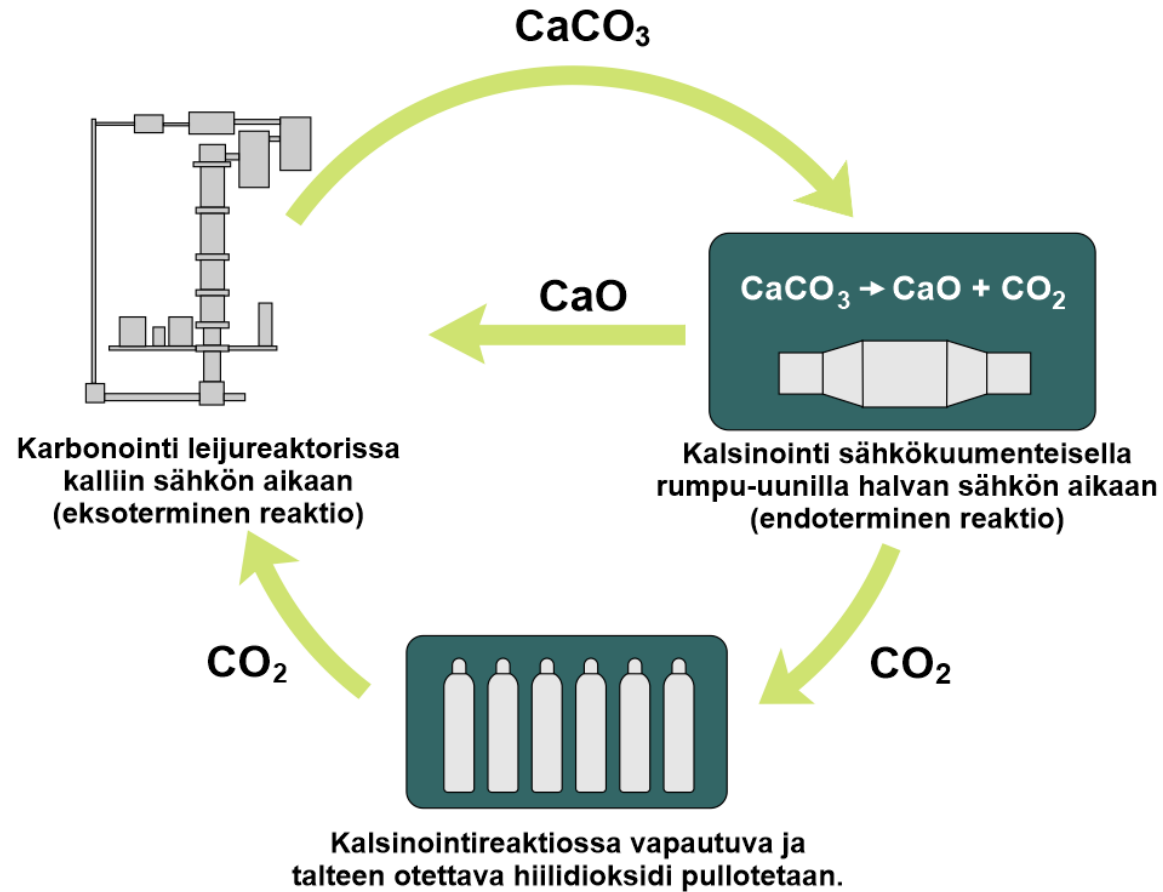
Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Kalkkikierto energiavarastona



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



3. Leijuinfran konvertointi sähkökuumenteiseksi



Euroopan unionin
osarahoittama



Hybridivoimalaitos

Timo Leino & Tomi Thomasson



Euroopan unionin
osarahoittama

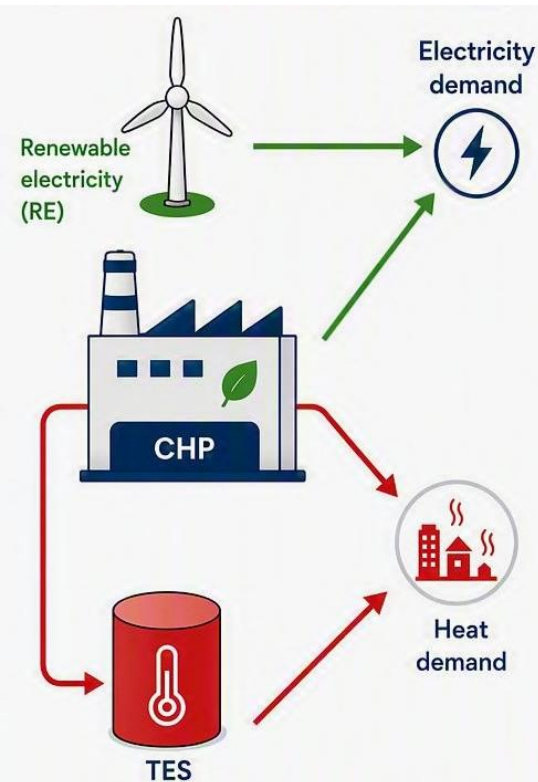


VTT

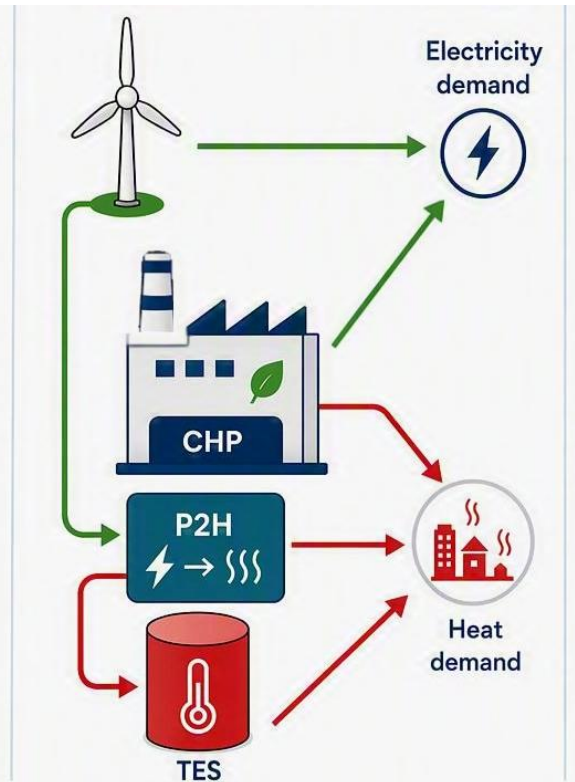


CHP-laitoksen ajotapa muuttunut

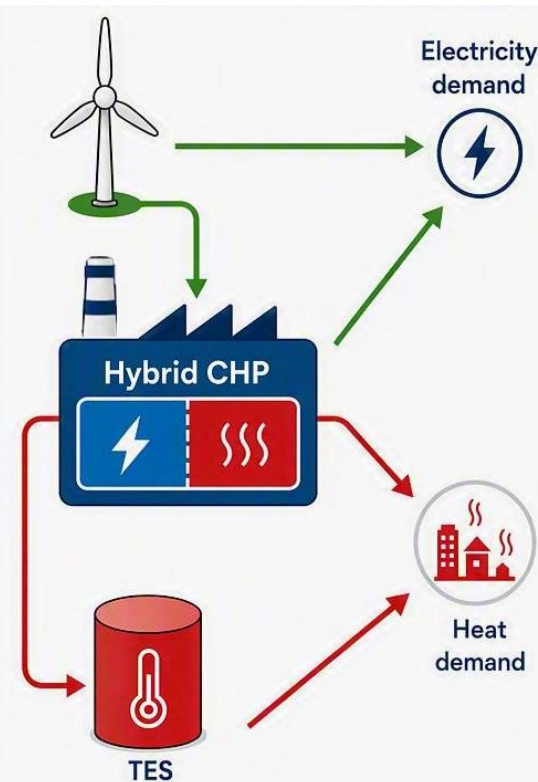
Ennen



Tällä hetkellä



Vaihtoehto?



Ennen: CHP teki kaukolämpöverkkoon tarvittavan lämmön ja sen rinnalla sähköä.

→ CHP:llä tasaista kuormaa

Tällä hetkellä: lämpöverkossa on CHP:n lisäksi sähkökattiloita, joita käytetään sähkön ollessa halpaa.

→ CHP:n kuorma vaihtelee päivän sisällä sähkön hinnan mukaan mikä kuluttaa kattilaa. CHP ajetaan myös alas, jos sähkön hinta tarpeeksi alhainen.

Vaihtoehto: Voiko sähkökattilan sijoittaa CHP:n yhteyteen siten että kattilan kuormitus saataisiin tasaisemmaksi, jolloin kunnossapitokustannukset vähenevät. Samalla pidetään kattilat toiminnassa mm. huoltovarmuuden kannalta.



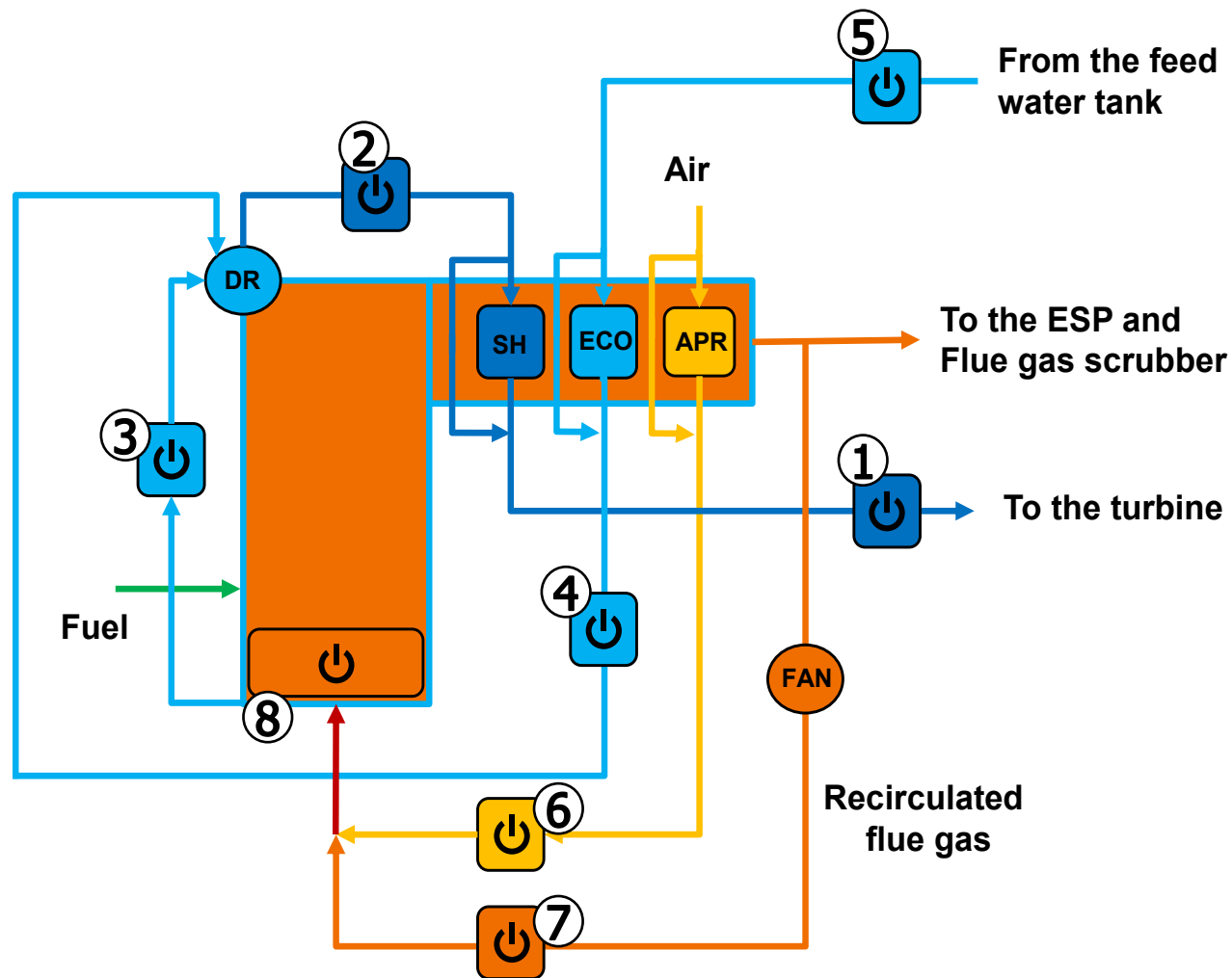
Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Sähkölämmittimen paikka CHP-laitoksessa



Projektipartnereiden kanssa tunnistettiin useita mahdollisia sähkölämmittimien asennuspaikkoja voimalaitosprosessissa mm:

- Syöttöveden esilämmittimen ympäristön vesilinja
- Kattilan höyrystimen rinnalla
- Höyrylinjoista tulistukseen
- Palamisilmojen lisälämmitys
- Kiertokaasun lämmitys
- Tulipesän eri osat, esimerkiksi leijupedin lämmitys

→ Koska VTT:n kiertoileiju-tutkimusympäristössä ei tutkita vesihöyrypiiriä, päädyttiin projektissa keskittymään ilman ja kiertokaasun sähkölämmitykseen



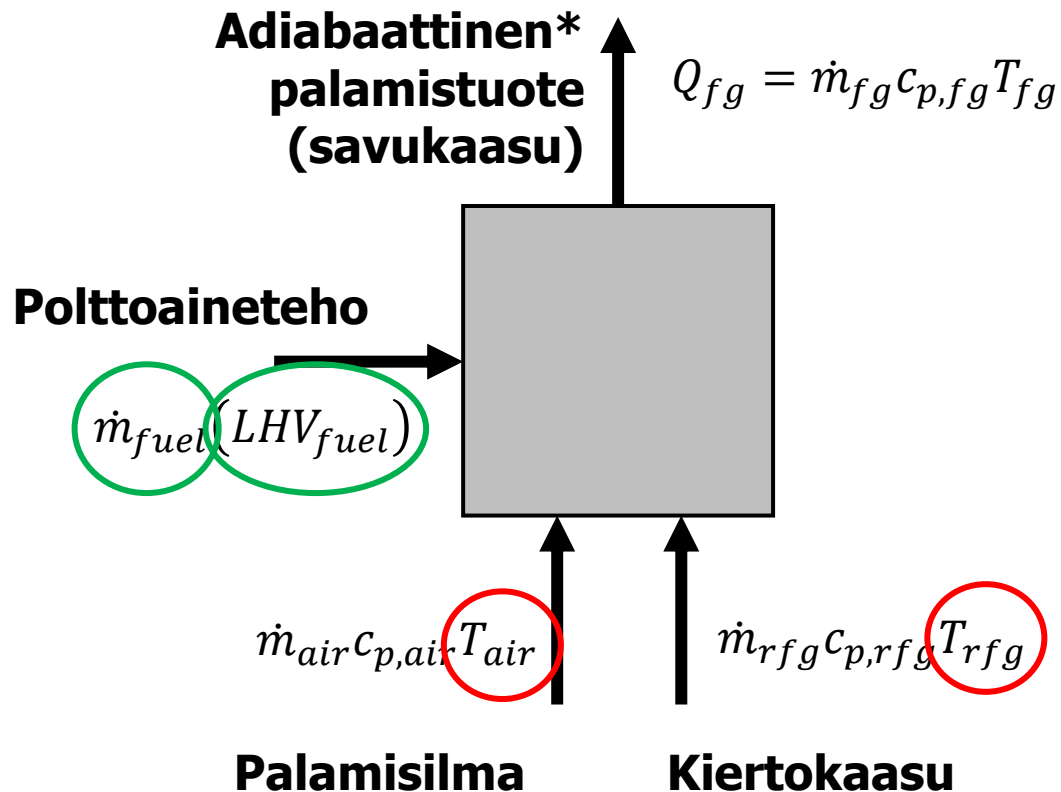
Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Miten palamisilman/kiertokaasun lämmitys korvaa polttoainetta



*Adiabaattinen tarkoittaa ettei lämmönsiirtoa kattilan lämpöpintoihin ole vielä tapahtunut

Nostamalla

- palamisilman lämpötilaa T_{air}
 - ja/tai kiertokaasun lämpötilaa T_{rfg}
- Saadaan nostettua palamiseen tulevaa entalpiavirtaa

→ Jos halutaan pitää palamistuotteen (savukaasun) entalpiavirta vakiona voidaan tuodun energiamäärän verran vähentää polttoainetehoa

- Lasketaan polttoaineen massavirtaa $\dot{m}_{fuel}$
- ja/tai poltetaan lämpöarvoltaan huonompaa (kosteampaa) polttoainetta LHV_{fuel}



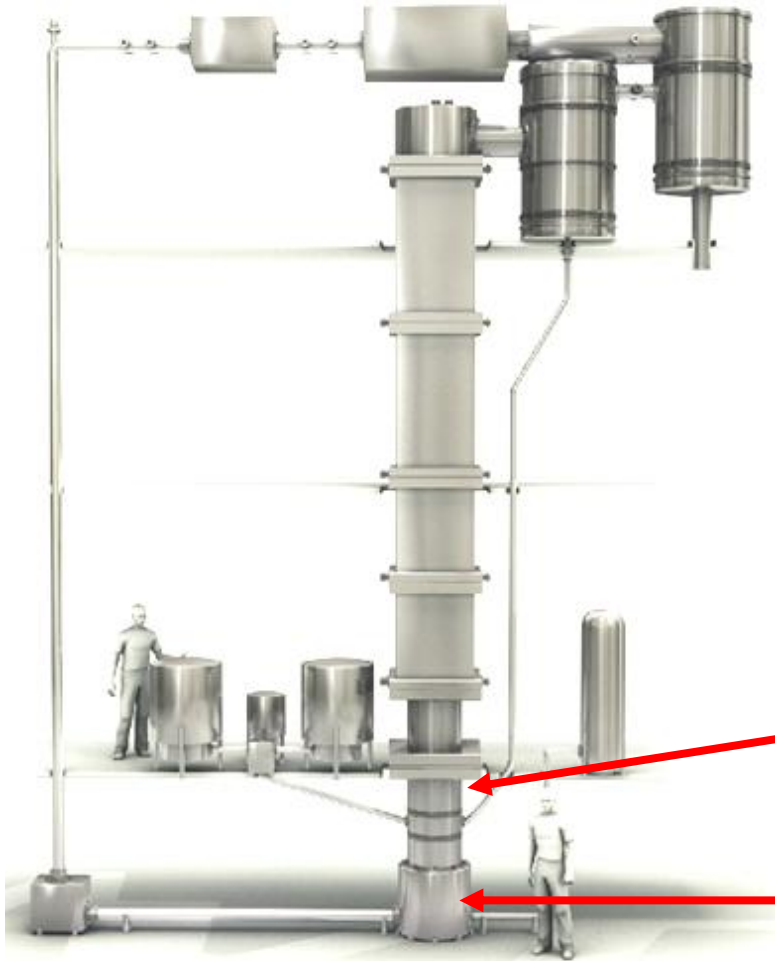
Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Lämmitinhankinnat



Tavoitteena projektissa oli:

1. Hankkia + rakentaa sähköllä toimiva korkean lämpötilan esilämmitin pilot-ympäristöön
2. Tehdä esitestit miten korkea palamisilman lämpötila vaikuttaa tulipesän ilmiöihin
3. Laskea konseptin taloudellista kannattavuutta

Sähkölämmitin sekundääri-ilman + kiertokaasun kuumentamiseksi jopa 1100 °C

→ 20 kW kaasun läpivirtauslämmitin

Sähkölämmitin primääri-ilman + kiertokaasun kuumentamiseksi jopa 1100 °C

→ 30 kW kaasun läpivirtauslämmitin



Euroopan unionin
osarahoittama



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

VTT



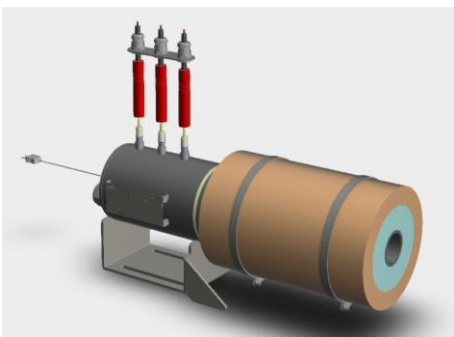
Keski-Suomen liitto

Uudet primääri ja sekundäärikaasun esilämmittimet

**Primääri-
ilmalämmittimen
suunnittelu +
rakennus**



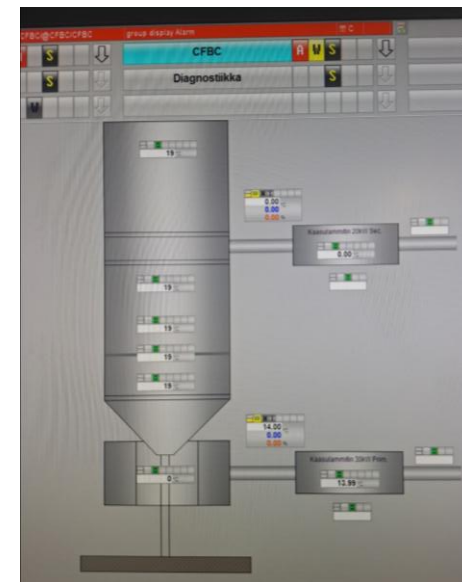
**Kanthal
flowheaterien
hankinta**



**Sekundääri-
ilmakanavaan
asennus**



**Lämmittimien
sähkönsyöttö**



**Hallinta
automaatio-
järjestelmästä
+ datankeruu**

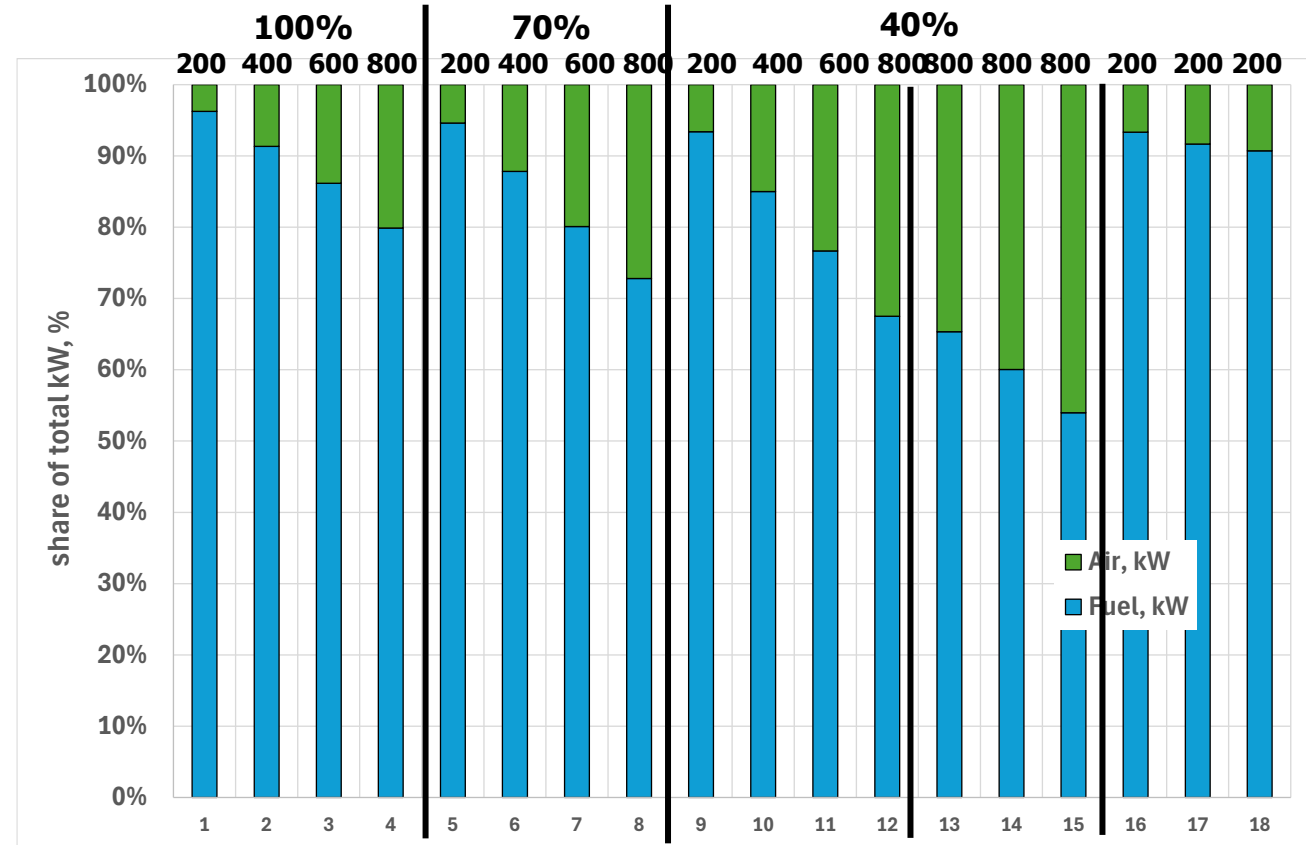


**Euroopan unionin
osarahoittama**

Käyttöönotto / Koeajot

Uusien lämmittimien käyttöönottokokeissa lähtökohdaksi otettiin CFB-pilotin ajotilanne 100% hakkeen poltolla.

- Primääri-ilman lämpötilaa nostettiin tähän tilanteeseen nähden +200, +400 ja +600 °C
- Toistot kokonaiskuormatasoilla (polttoaine + sähköteho) 100%, 70% ja 40%, jossa polttoaineen määrää vähennetään ja sähkötehoa lisätään
- Ilmamäärät pidettiin kussakin kuormatasossa vakiona
- (Sekundääri-ilman lämmitystä testattiin ja todettiin toimivaksi, muttei otettu osaksi matriisia tässä testisarjassa)



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Käyttöönotto / Koeajot

Päätulokset:

- Projektissa ostetut ja pilot-ympäristöön asennetut lämmittimet toimivat hyvin
- Polttoainetehon korvaaminen sähkölämmityksellä korkeammalla primäärinilman lämpötilalla toimi prosessin näkökulmasta odotetusti
 - ✓ Lämpöä tuotiin lisää petialueelle, mikä nosti pohjapedin lämpötilaa ja laski vastaavasti sen yläpuolen lämpötilaa (vähemmän polttoaineen palamista sekundääri ja tertiääritasoilla)
 - ✓ Koska petiin tuodaan lisää lämpöä sähkölämmityksellä voidaan kattilan polttoaineminimikuormaa laskea
 - ✓ Tiheysprofiili pysyi lähellä pelkän polttoaineen arvoja, joten isoja muutoksia lämmönsiirto-ominaisuuksiin ei tule
 - ✓ O₂ pitoisuus savukaasussa nousi sähkölämmityksen käyttöä lisättäessä, koska testauksessa pidettiin kullakin kuormatasolla ilmansyötöt vakiona (ja vähemmän polttoainetta). Tämä johti suurempiin NOX päästöihin. Päästöjä pystytään kuitenkin vähentämään mm. optimoimalla kiertokaasun käyttö sekä ilmavaiheistus



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT

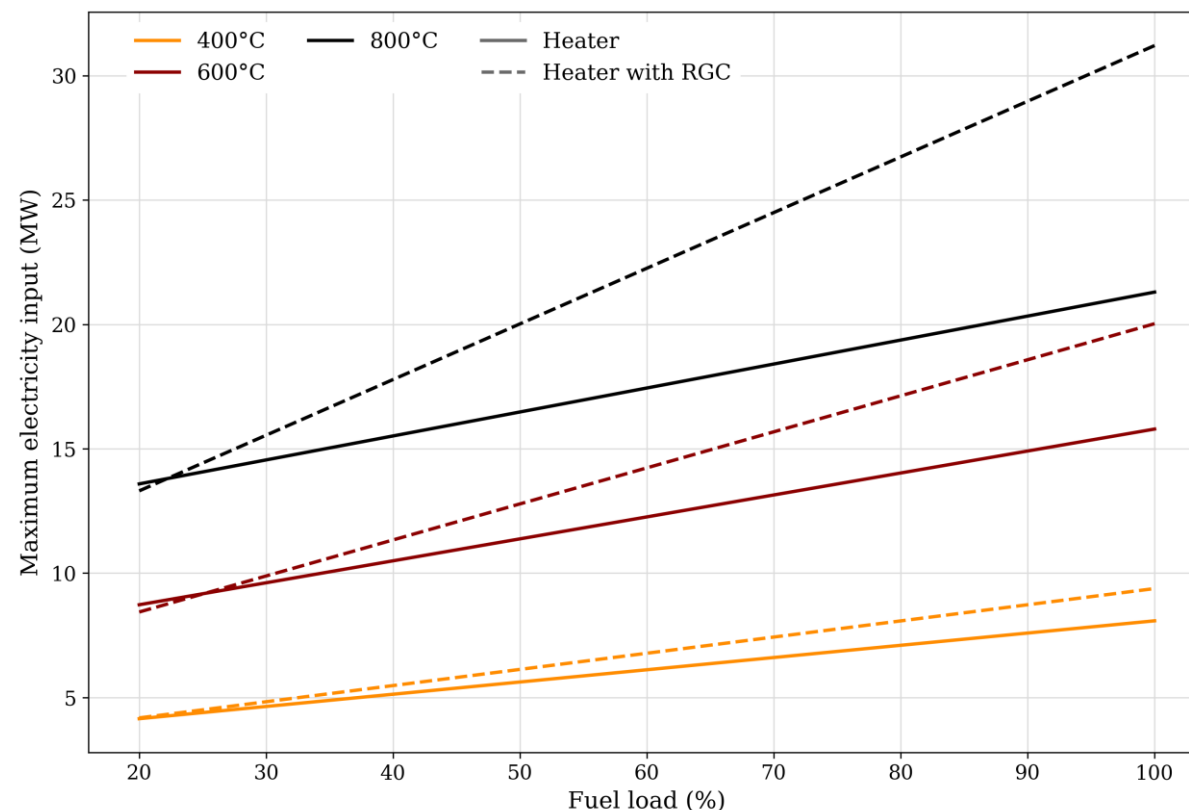


Sähkölämmityksen ja polttoaineen käytön välinen yhteys

Keljonlahden kiertoleijukattilalle muodostettiin osamalli, jolla arvioitiin sähkölämmitteisen palamisilman vaikutus tarvittavaan polttoainetehoon eri kattilakuormilla.

Palamisilman lämpötilaksi tarkasteltiin 400, 600 ja 800 °C:ta, kun vertailutaso oli 200 °C. Polttoaineen korvautuminen määritettiin pitämällä kattilan adiabaattinen lämpöteho vakiona.

Tuloksena saadut korrelaatiot määrittävät, kuinka paljon sähkötehoa kattilaan voidaan syöttää ja kuinka paljon polttoaineteho samalla vähenee kullakin kuormatasolla. Korrelaatiot siirrettiin CHP-laitoksen optimointimalliin.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



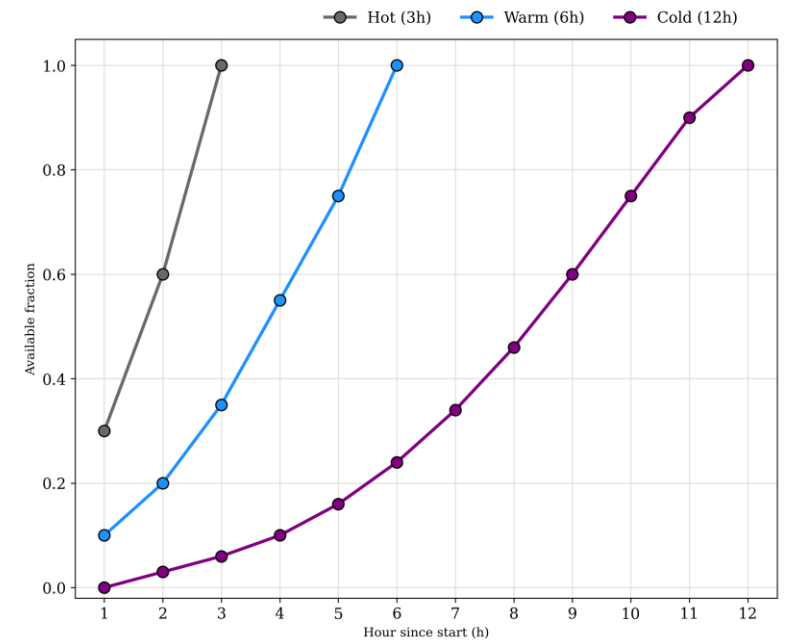
CHP:n käyttörajoitteet huomioitiin kannattavuuden arvioinnissa

CHP-laitoksen joustavuus mallinnettiin yksityiskohtaisesti, jotta optimointi ei yliarvioisi laitoksen kykyä reagoida sähkön hinnan vaihteluun.

Mallissa huomioitiin:

- efektiivinen minimikuorma
- kylmä-, lämmin- ja kuumakäynnistysten erilaiset käynnistysprofiilit
- käynnistyksen aikana sallittu enimmäiskuorma
- vähimmäisajat käynnissä ja alhaalla
- käynnistyskustannukset.

Näin sähkölämmittimen arvo määräytyy sekä polttoaineen korvautumisen että CHP-laitoksen realististen käyttörajoitteiden perusteella.

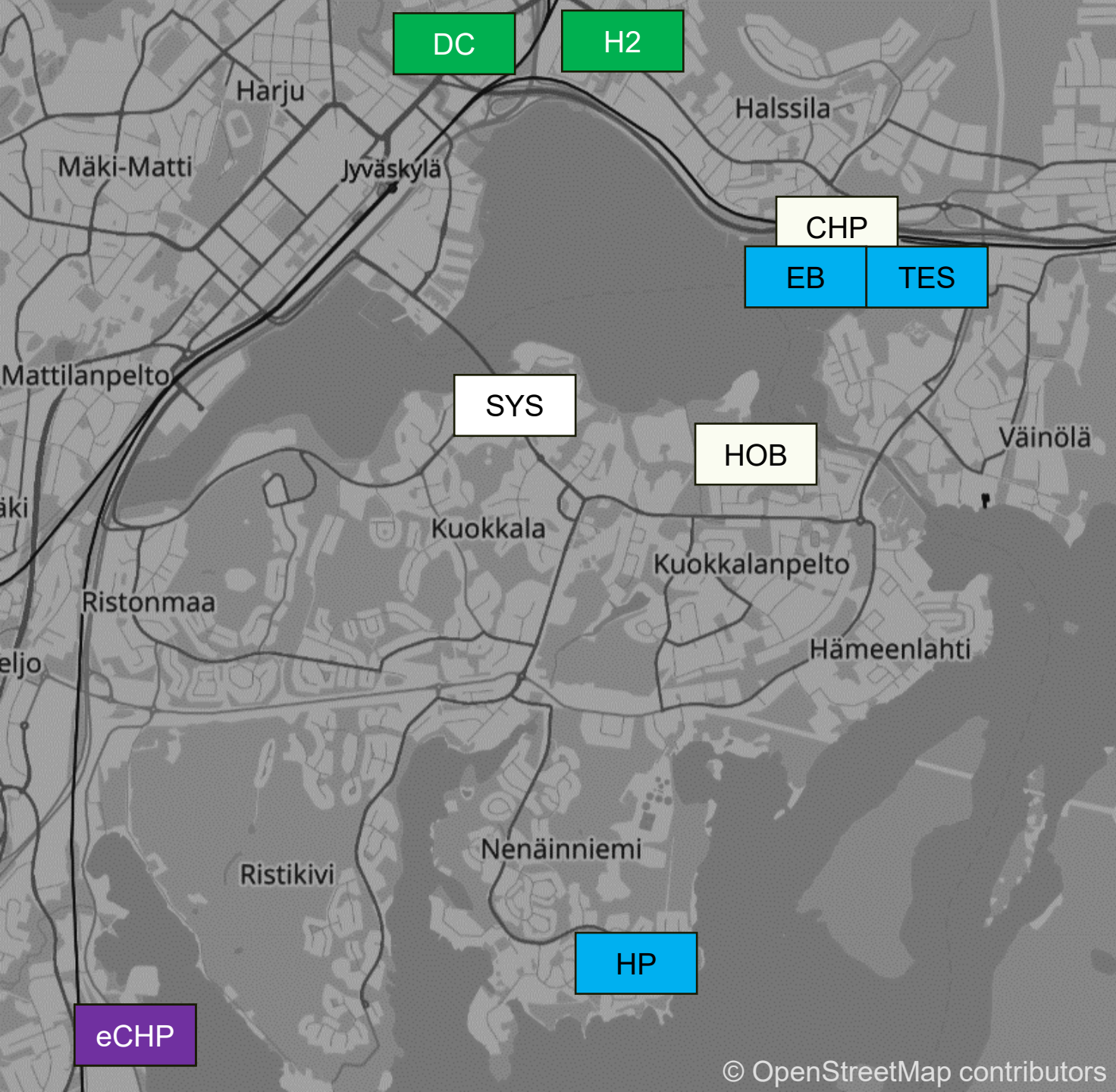


Euroopan unionin
osarahoittama



VTT





Keljonlahden CHP:n osamalli yhdistettiin osaksi laajempaa järjestelmämallia

1. Lähtötilanne

- CHP-laitokset (CHP)
- Lämpökattilat (HOB)
- Kaukolämpöverkko (SYS)

2. Osittainen sähköistäminen

- Sähkökattila (EB)
- Kaukolämpöakku (TES)
- Lämpöpumppulaitos (HP)

3. Laaja sähköistäminen

- Hukkalämmön hyödyntäminen datakeskuksesta (DC) ja vedyntuotannosta (H2)

4. Vaihtoehtoinen järjestelmä

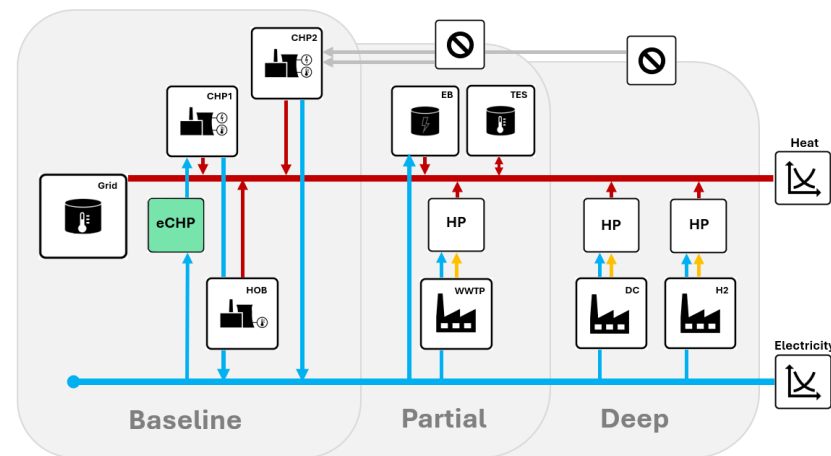
- Eri yhdistelmiä sähköistetyn CHP:n (eCHP) kanssa

VTT

 **KSL**
Keski-Suomen liitto

Mallinnetut tapaukset

- Järjestelmäkoonpanot
 - Lähtötilanne (Baseline)
 - Osittainen sähköistys (**Partial**)
 - Laaja sähköistys (**Deep**)
- Laskentavuodet
 - Kolme vuotta Alvan toimittamaan kaukolämmön kysyntädataan perustuen
- Hybridikattilan tekniset vaihtoehdot
 - palamisilman lämpötila: 400, 600 tai 800 °C
 - toteutus: ei lämmitintä, peruskytkentä, tai kiertokaasukytkentä
 - lähtötilanteen polttoaine: 75% vai 100% biomassaa



Optimoinnin tavoite

Mikä on optimaalinen tapa täyttää kaukolämmön kysyntä?

- minimikustannus koko laitosjoukolle (huom. sähkön myyntitulot)
- jokainen laitos noudattaa omia teknisiä käyttörajoitteitaan
- malli optimoi laitosten tuntikohtaisen käytön, ei investointikapasiteettia
- simulointi kahden viikon jaksoissa tunnin aika resoluutiolla



Euroopan unionin
osarahoittama



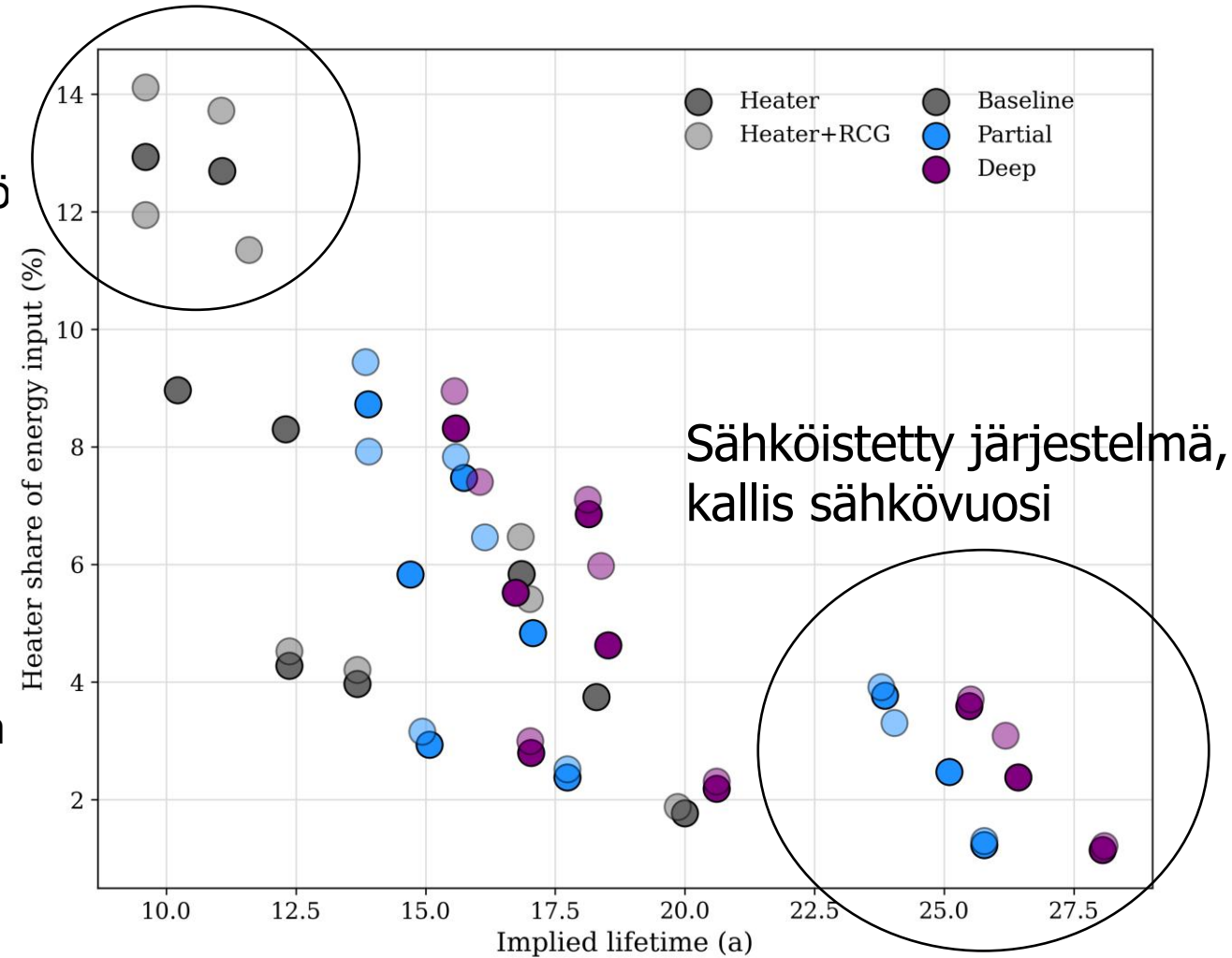
VTT



Lämmittimen käytöstä

Lähtötilanteen järjestelmä,
halpa sähkövuosi

- Lämmittimen vuotuiset käyttötunnit vaihtelevat voimakkaasti sähkön hintavuoden mukaan. Käyttö keskittyy tunteihin, jolloin sähkön käyttö on korvautuvaa polttoainetta edullisempaa.
- Useimmissa tapauksissa lämmitintä käytetään CHP-laitoksen minimikuormalla. Tällöin sähkölämmitys vähentää polttoaineen käyttöä ja auttaa ylläpitämään kattilan toimintaa pienellä polttoaineteholla.
- Käyttö lisääntyy järjestelmissä, joissa muuta sähköön perustuvaa lämmöntuotantokapasiteettia on vähän. Korkeampi lämpötilataso ja kiertokaasukytkentä kasvattavat sähköllä korvattavissa olevaa polttoainetehoa.



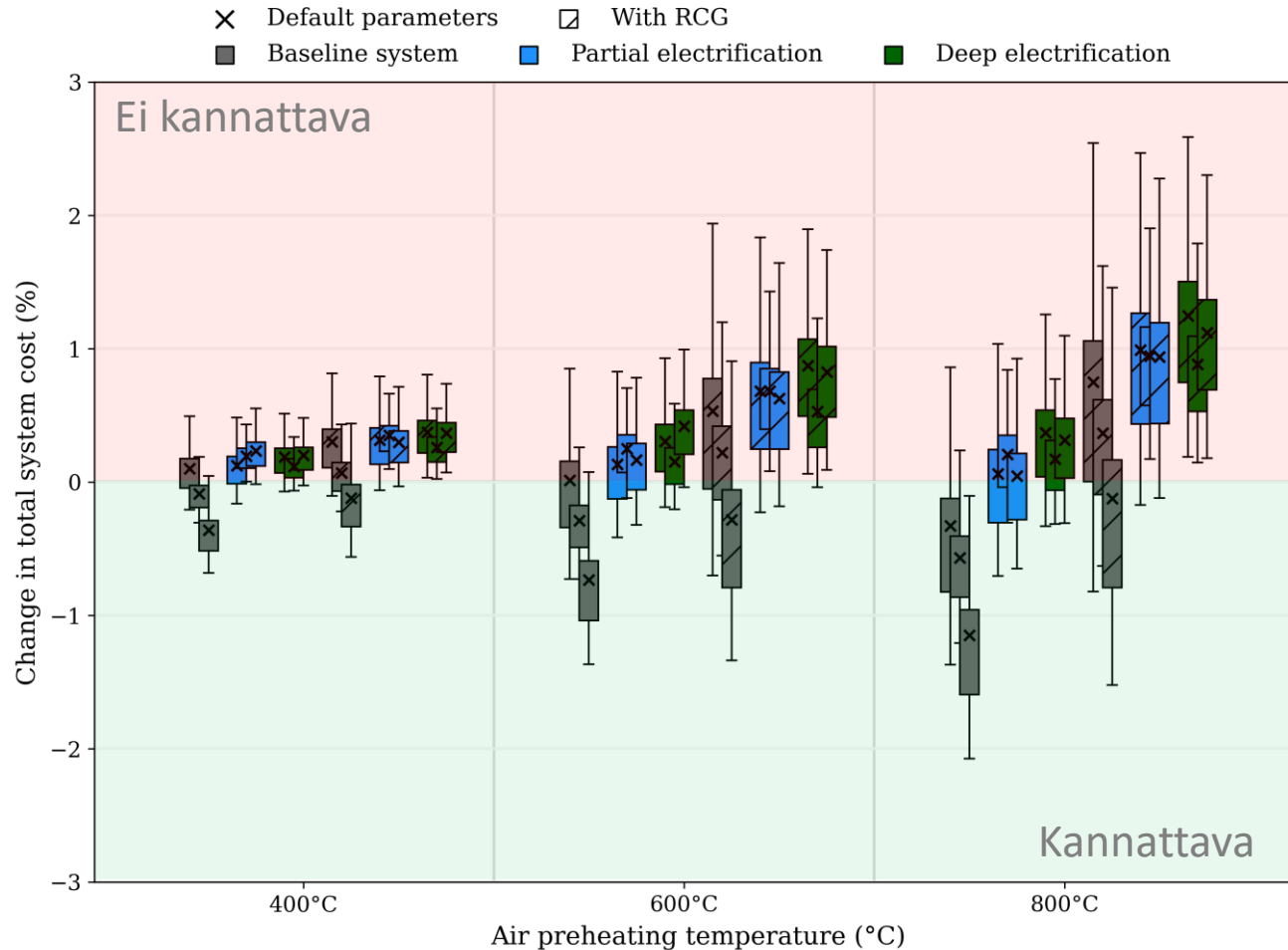
Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Kannattaako?



- Kannattavuus arvioitiin vertaamalla järjestelmän kustannussäästöä lämmittimen vuositasolle muunnettuun investointikustannukseen.
 - lämmittimen lämpötilataso: 400, 600 ja 800 °C
 - sähkön hintavuosi: kolme tarkasteltua vuotta
 - lämmittimen käyttöikä: 15 000–25 000 käyttötuntia
 - ominaisinvestointi: 150 €/kW $\pm$ 25 %
 - kiertokaasukytken investointi: 15 % peruskytkentää korkeampi
- Taloudellinen potentiaali on suurin lähtötilanteessa, jossa sähkölämmitin kohtaa vähemmän kilpailua muulta sähköön perustuvalta lämmöntuotannolta.
- Korkeampi palamisilman lämpötila kasvattaa korvattavissa olevaa polttoainetehoa ja siten mahdollista kustannussäästöä.



Euroopan unionin
osarahoittama

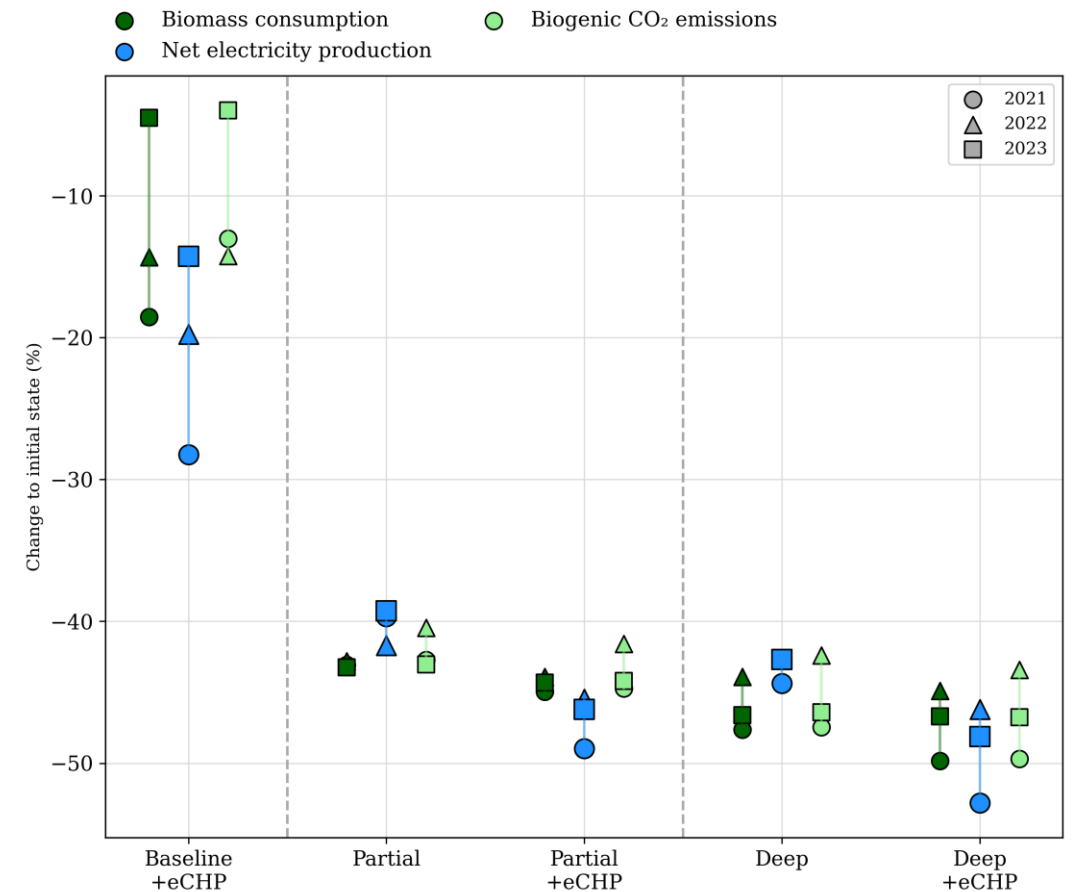


VTT



Johtopäätökset hybridikattilan taloudellisesta ja järjestelmätason vaikutuksesta

- Hybridikattilan vaikutus on suurin lähtötilanteen järjestelmässä, jossa sähköön perustuva lämmöntuotantokapasiteettia on vähän. Osittain ja laajasti sähköistetyissä järjestelmissä sähkökattilat, lämpöpumput ja hukkalämmöt muuttavat tuotantojakaumaa enemmän ja vähentävät hybridikattilan käyttötunteja.
- Sähkölämmityksen käyttö vähentää CHP-laitoksen biomassan kulutusta. Samalla CHP:n nettosähköntuotanto pienenee, koska polttoaineen käyttö vähenee ja lämmitin kuluttaa sähköä.
- Biomassan käytön väheneminen pienentää tarkasteltuja polttoperäisiä CO₂-päästöjä.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



4. Hiilidioksidi- ja kalkki- kierron hyödyntäminen energiavarastona



Euroopan unionin
osarahoittama



Tavoite

- Tutkia $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ –kiertoa energiavarastona sähkökuumenteen kalsinointiuunin yhteydessä
- Tutustua konseptiin teknistaloudellisesti ja luoda edellytykset sen kokeelliseen tutkimukseen



Euroopan unionin
osarahoittama

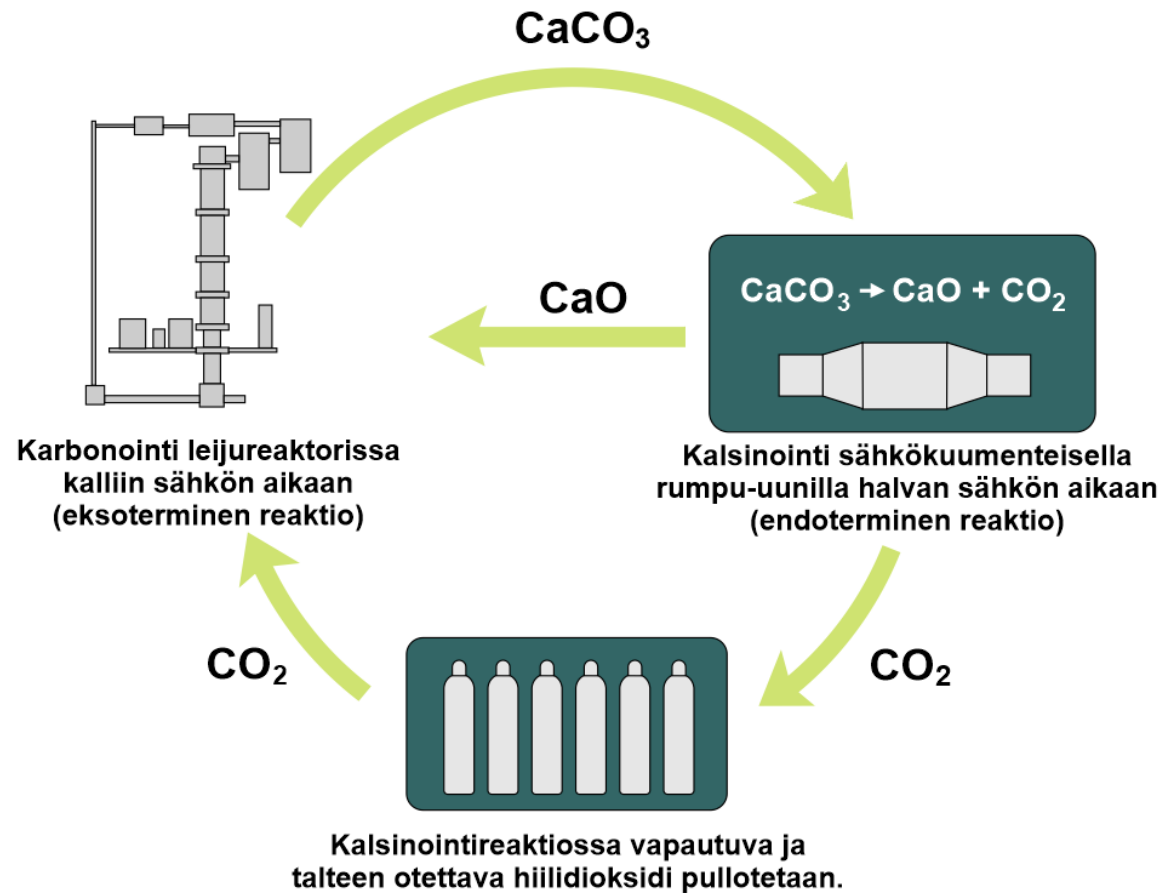


VTT



Kalkkikierto energiavarastona

periaatekuvaus



Euroopan unionin
osarahoittama

Konseptin teknoekonominen tarkastelu

- Tarkastelu tehty RePowerEU-hankkeen puitteissa, yhteistyössä BitKein-hankkeen kanssa.
- Sähkökuumentesta tuotantokäytön kalsinointiuunia potentiaalisempi tapaus oli sijoittaminen CHP-laitoksen yhteyteen

Economic feasibility assessment of calcium looping energy storage and carbon capture with multi-market modelling approach

<https://cris.vtt.fi/en/publications/economic-feasibility-assessment-of-calcium-looping-energy-storage/>



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



CO₂-käsittely,- ja varastointilaitteiston kehittäminen

- Laite rakennettiin lähes kokonaan uudestaan, toteutettiin merkittävät prosessi-, instrumentaatio- ja automaatioparannukset
- Laitetta voidaan hyödyntää hiilidioksidin talteenottoon VTT:n sähköisestä kalsinointiuunista, mutta myös muista korkean pitoisuuden pistelähteistä
- Mahdollisia käyttökohteita:
 - Karbonointisovellukset energiavarastonäkökulmasta
 - Betonin kovettaminen (CCS)
 - Jatkohyötykäyttö, P2X-sovellukset (CCU)



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Laitteisto rakennettu merikonttiin, siirrettävissä eri pistelähteiden luo pilotointia varten



Euroopan unionin
osarahoittama



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

VTT



Yhteenveto

- Tavoitteina oli tutkia hiilidioksidi- ja kalkkikierron käyttämistä energiavarastona teknoekonomisesti ja luoda valmiudet konseptin alustavaan testaamiseen sähkökuumentaisen kalsinointiuunipilotin yhteydessä.
- Valmiudet kokeelliseen toimintaan luotiin rakentamalla ja käyttöönottamalla soveltuva CO₂:n käsittely,- ja varastointilaitteisto ja integroimalla se sähköiseen kalsinointiuuniin
- Teknoekonomisen tarkastelun tuloksena kannattavampi kohde energiavarastokonseptille oli sijoittaminen CHP-laitoksen yhteyteen
- Tulevaisuudessa voidaan hankkeessa rakennettua CO₂:n käsittely,- ja varastointilaitteistoa käyttää myös muiden korkean pitoisuuden pistelähteitä hyödyntävien konseptien pilotointiin



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



5. Virtausakut ja aurinkosähköjärjestelmä



Euroopan unionin
osarahoittama



Johdannoksi virtausakkuteemaan

- Sähkön markkinahintojen riippuvuus sääolosuhteista on lisääntynyt tuuli- ja aurinkosähkön osuuden kasvaessa nopeasti sähköjärjestelmässä.
- Tarvetta kulutuksen ja tuotannon tasapainottamiseen on sähköjärjestelmän kaikilla tasoilla.
- Virtausakuista on kehittymässä vaihtoehto suurten energiamäärien varastointiin: niiden kilpailukyky muihin akkutyyppeihin nähden kasvaa koon myötä.
- Akkujärjestelmässä on kaksisuuntaisesti toimivat konvertterit, jotka lataavat akkua tai paremminkin "sähkövarastoa" ja purkavat sähköä AC-verkkoon akun säätöjärjestelmän ohjaamina.
- Virtausakkujen syklikestävyys on suuri ja elektrolyytti voidaan regeneroida uudelleen käytettäväksi. Mikäli järjestelmä pysyy kunnossa pitkään, tiedot virtausakun hiilijalanjäljestä ovat varsin lupaavia.
- **BITKEIN -hankkeessa** otettiin käyttöön verkkoon liitetyt akku- ja aurinkosähköjärjestelmät sekä etsittiin ja löydettiin menetelmiä grafiittielektrodien ja protoniselektiivisten kalvojen valmistamiseksi biomateriaaleista.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Virtausakut sopivat suurten sähkö-energiamäärien joustavaan varastointiin

- **Virtausakussa energia varastoidaan kahteen nestemäiseen elektrolyyttiin**, joita säilytetään erillisissä säiliöissä ja pumpataan kennon läpi latauksen ja purkamisen aikana.
- Kennon puoliskot erottaa **ioneja valikoivasti läpäisevä kalvo**, ja sähkökemialliset reaktiot tapahtuvat elektrodien pinnoilla.
- **Energiakapasiteettia voidaan kasvattaa elektrolyyttisäiliöiden tilavuutta lisäämällä**, kun taas akun tehoa voidaan kasvattaa kennoston kokoa muuttamalla.
- Tehon ja energiakapasiteetin erillinen mitoitus tekee virtausakuista kiinnostavan vaihtoehdon erityisesti **uusiutuvan sähköntuotannon tasaamiseen ja suuren mittakaavan energiavarastointiin**.

BitKein-hankkeen tutkimuskokonaisuus

1. Virtausakku-aurinkosähköjärjestelmän käyttöönotto ja koeajot

Virtausakku-aurinkosähköjärjestelmän hankinta investointihankkeessa VTT:lle Jyväskylään. Operointilogiikan, suorituskyvyn, mittausten ja järjestelmäintegraation kehittäminen rakennetussa tutkimusympäristössä.

2. Kestävämmät virtausakkukomponentit

Biopohjaisten johtavien hiilimateriaalien kehittäminen elektrodien sekä elektrodien ja ioniselektiivisen kalvon rakenteen optimointi Jyväskylän yliopistossa.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Bitkein rahoituksella hankittiin, luvitettiin, asennettiin ja otettiin käyttöön pieni virtausakku- ja aurinkosähköjärjestelmä

- Esiselvitysten pohjalta VTT:n pilotointiympäristöön rakennettiin siihen ja hankebudjettiin sopivat laitteistot ja järjestelmät, joiden avulla voidaan kerätä monipuolisesti käyttökokemuksia ja dataa:
 - Virtausakku- ja aurinkosähköjärjestelmän komponenttien toiminnasta sekä suorituskyvystä erilaisissa olosuhteissa ja toisaalta:
 - Selvittää modulaarisen teknologian skaalausmahdollisuuksia merkitykselliseen mittakaavaan ja
 - tukea mahdollista scale-up järjestelmien suunnittelua sekä komponenttien tuotekehitystä:
 - pidemmän ajanjakson kuluessa järjestelmään voitaisiin mahdollisesti vaihtaa myös kotimaisista biomassoista valmistettuja testikomponentteja kokeiltavaksi (mahdollisesti yhteistyössä laitevalmistajien kanssa).



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Hankkeen yhteydessä toteutettiin myös lakisääteiset dokumentaatiot, käyttöönotto- ja varmennustarkastukset ja poikkeamien korjaukset

- Molemmat järjestelmät kytkettiin JVH:n hyväksymällä tavalla virallisesti **verkkoon** SFS-EN 50549-1:2019 ja Verkostosuosituksen YA 9:23 mukaisin suojausasetuksin.
- Varmennust**arkastukset** (KIWA) toteutettiin suhteessa SFS 6000 (2022) ja toteutettiin SFS 5825 ohjeita soveltaen.
- Käyttöönottoon kuuluneet ICT- ja mittariasennukset ja **tiedonkeruun** prosessit saatiin konfiguroiduiksi ja toimimaan.
- Sensoreista ja mittareista kerättyjen tietojen validointivaiheen jälkeen voitiin laatia ensimmäiset **suorituskykyarvioinnit**, joita esiteltiin hankkeen loppuseminaarissa.
- **Sähkövaraston koeajojen tulokset on julkaistu osoitteessa:**
 - <https://www.bitkein.fi/bitkein-hankkeen-paatosseminaaari/>



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Viralliset valmiiden järjestelmien verkkoonliityntäajankohdat:

1. 10kW tehoinen, 50 kWh:n VRFB-sähkövarasto, **27.3.2025**
 2. 15kW (max.), 10 kWp aurinkosähköjärjestelmä, **11.6.2026**
- Molemmat järjestelmät asennettiin itsenäisinä hankkeen yhteydessä käyttöönotettuun yhteiseen jakokeskukseen, mutta ne ovat yhteensopivia ja järjestelmissä on integraatiomahdollisuuksia mm. alueilla:
 - monitorointi ja ohjausjärjestelmät, topologiamuutokset
 - ohjauslogiikat (ja älyn lisääminen),
 - etäkäyttö mahdollistettu, pilvipalveluiden hyödyt ja riskit
 - Käytännössä ratkaisevaksi muodostui hyväksyttävyys kaikkien asiaan liittyvien osapuolten näkökulmista: edellytyksenä oli **turvallinen tekninen toteutettavuus**



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Havaintoja VRFB-sähkövaraston koeajoista

-Samaan "tutkimusjakokeskukseen" rakennettiin 2026 myös 10 kWp seinäasennettu aurinkosähköjärjestelmä verkkoliityntöineen

Mikko Hongisto, erikoistutkija + VTT:n VRFB- ja PV-työryhmän puolesta (Mikko Jegoroff, Juha Toukola, Tomi Thomasson, Juha Hakulinen ja Timo Puumalainen)



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Manufacturer: VisBlue (DK)

- Fixed mounting into the container at VTT Jyväskylä piloting yard
- Nominal/maximum power: 10 kW charging & discharging, 50 kWh capacity
- Contained 3x5kVA Victron-Energy's Multiplus-II inverter/chargers (48VDC)
- The system was configured, permitted and installed to local grid (according to ALVA's grid-code)



-Flow-battery project included subcontracting by ARE Oy, Facility Services and by Rejlers PM Oy, Jyväskylä



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Sähköistys- ja mittausperiaatteet:

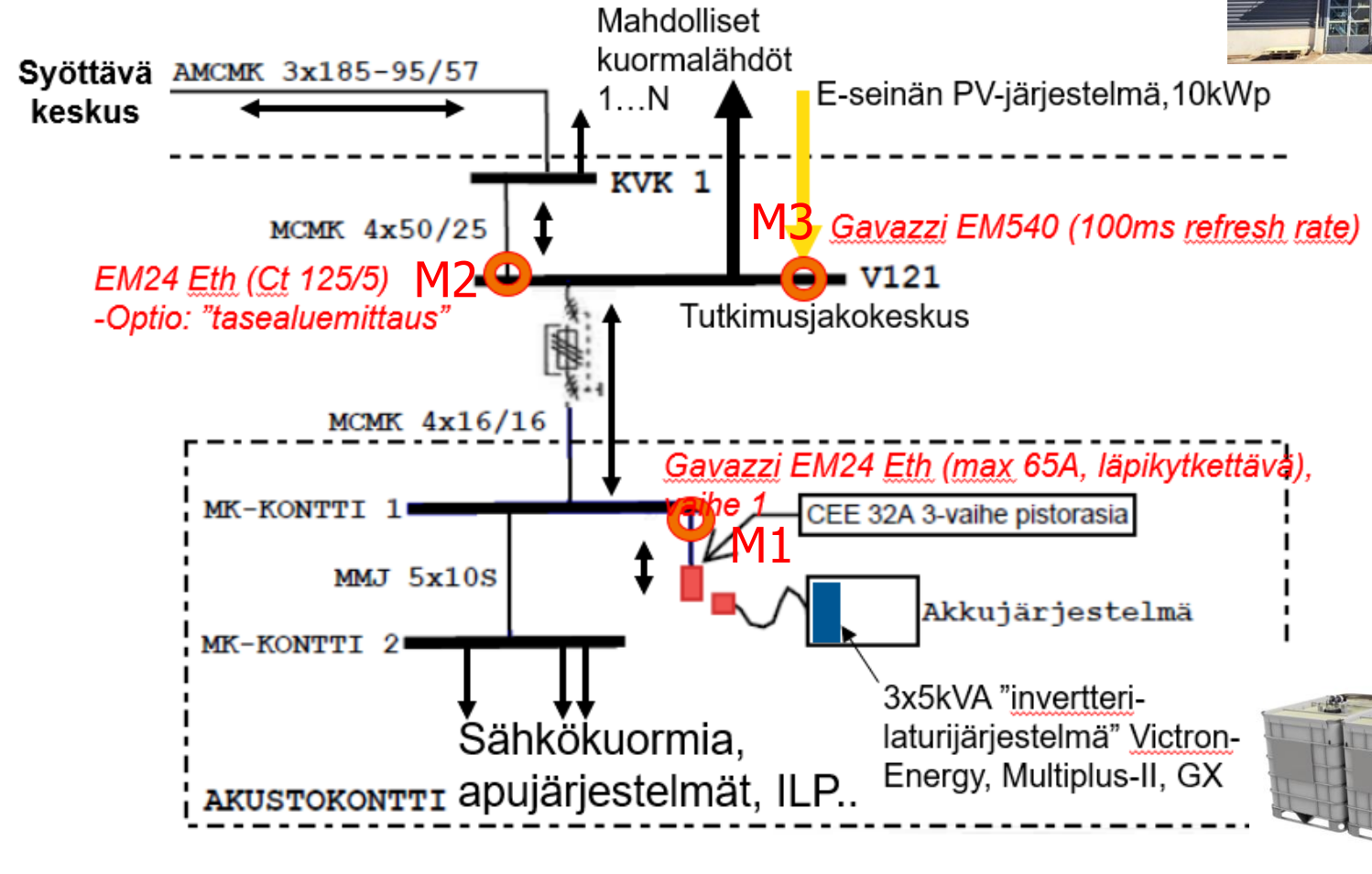


-Tasealueiden rajapintojen reaaliaikaiset mittauspisteet (punainen rengas):

M1=mm. Akkujärjestelmän hyötysuhteen seurantaan ja akun ohjaamiseen

M2=Akku+PV+kuormat energiataseen mittauksiin ja rajapintatehon ohjaamiseen

M3=aurinkosähkötuotannon nopea mittaus



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Seuranta- ja ohjausjärjestelmät

- **Paikalliset Modbus-TCP laitteet:**

- Akkukontrolleri (primäärinen ohjaus, rekisteriin kirjoitus ja luenta)
- Invertterikontrolleri (toteuttaa akkukontrollerin tehokäskyt valitun ”rajapintamittarin” tietoja seuraten, rekisterin luenta)
- Rajapinnan energia- ja tehoanalysointilaite (TCP/IP versio, rekisterin luenta)
- PV-verkkoinvertterin rekisteri
- Tarvittavat kytkimet ja 4G-reititin (jonka avulla hälytysten lisääminen on mahdollista)

- Käyttöön otettiin erillinen lab.toimintaan räätälöitynä oleva **ohjaus- ja monitorointiohjelmisto:**

- Valittavien datapisteiden luenta (1/s) modbus-TCP rekistereistä ja koeajotiedostojen tallennus
- Valmistettujen ohjauslogiikoiden käytännön kokeilut (ja rakentaminen datapisteiden perusteella)
- Asennettu paikalliseen mittauslaitteeseen (jossa etäohjaus ja monitorointimahdollisuus)

- **Pilvipalvelut** (käytössä 4G-Teltonikan kautta):

- 1/min data akun invertteri-laturi-järjestelmästä tallennetaan Victronin pilvipalveluun, jossa on monipuoliset seurantamahdollisuudet tarvittaville sähköparametreille. Froniuksen pilvipalvelu tallentaa 1/5min datan.

- Järjestelmän keskeiset (valittavat) tiedot kerätään koeajojen ajalta 1/s periaatteella eri toimilaitteista (tutkimusteemakohtainen räätälöinti mahdollista).



Euroopan unionin
osarahoittama

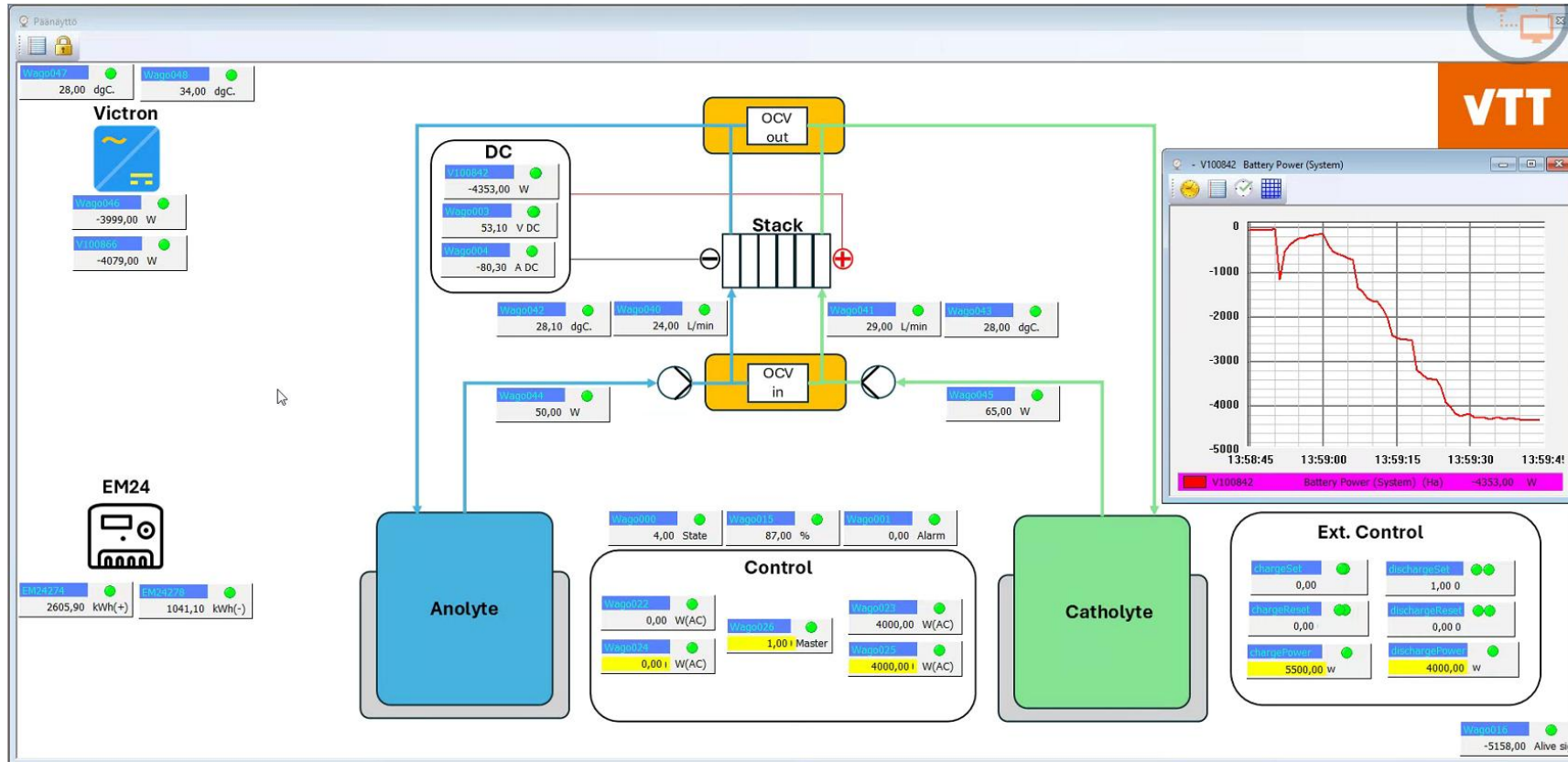


VTT



Käyttöliittymä

- Ohjausta voidaan toteuttaa erilaisten logiikoiden avulla, myös ajan suhteen



Ref: Juha Toukola (Tutkimuslaitteen käytännön operaattori)



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Toistaiseksi 1/s tasolla kerätään 85 datapistettä akkujärjestelmästä:

- Akkujärjestelmästä: 48 kpl akkukontrollerista, 25 kpl invertterikontrollerista, 12 kpl energia-analysaattorista, esimerkkejä ryhmistä:
 - Järjestelmän aika, aikaleima, pvm, akun tila- ja hälytyskoodit
 - DC-puolen teho, jännite ja virta
 - AC-puolen vaihejännitteet, virrat ja tehot
 - Varaustilaestimaatti SOC%
 - Lataus ja purkuenergialaskurit (koko kertynyt historia, edellinen sykli)
 - Syklilaskuri, lataus- ja purkutehojen setpointit
 - Elektrolyytin lämpötila, eri nestevirtaukset L/min ja niiden lämpötilat
 - Pumppujen ja invertterin ohjaussignaalit
 - Kabinetin sisälämpötilat
 - Invertterin DC-puolen tiedot: teho, SoC, Ah-kertymät, virta, jännite
 - Invertterin AC-IN tiedot: vaihejännitteet, virrat ja tehot
 - Rajapintamittarin tiedot: käyttötunnit, vaihejännitteet ja -virrat, tehokomponentit, tehokerroin, taajuus, pätö- ja loisenenergiakertymät molempiin suuntiin
- Lisäksi PV järjestelmästä kerätään T&K-toiminnan tueksi verkkoon syötetty pätöteho (kW) sekä 1/5min tasolla U ja I (AC) L1-L3, U ja I (DC) MPP1, kW, kVar, kVA, P% ja Cos(phi).



**Euroopan unionin
osarahoittama**

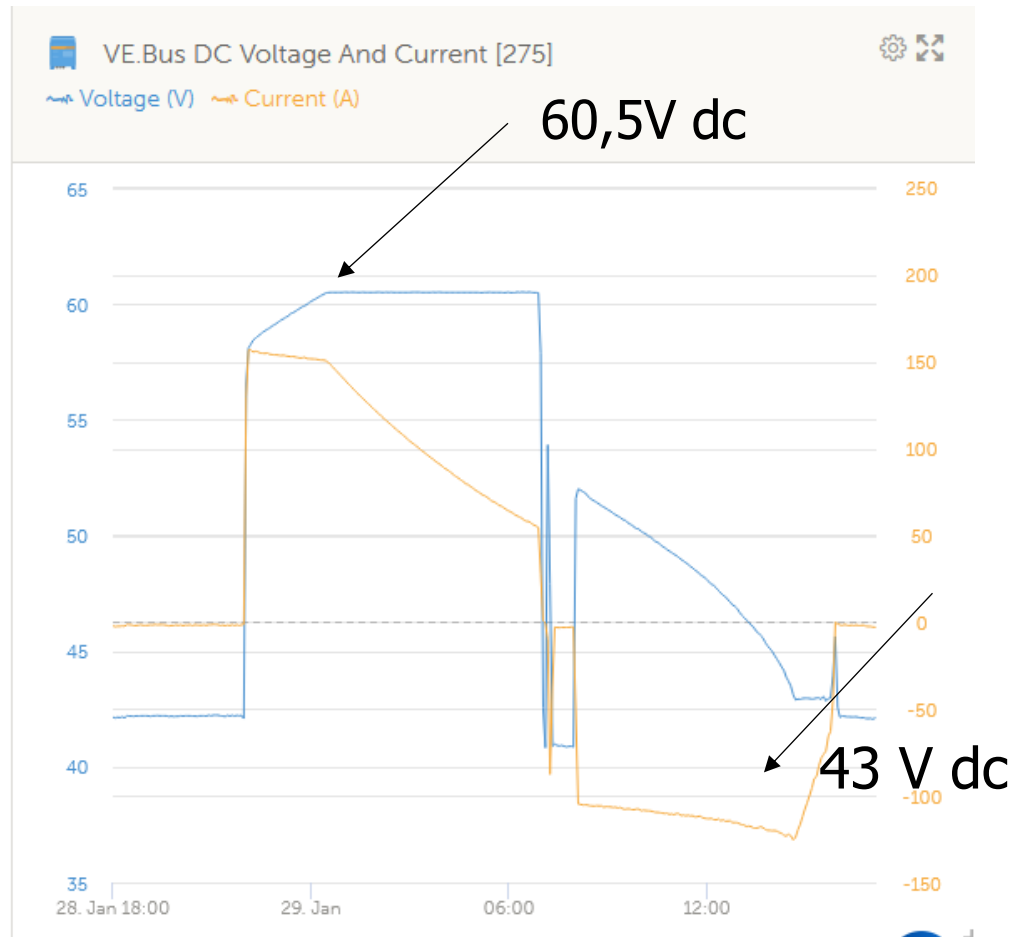
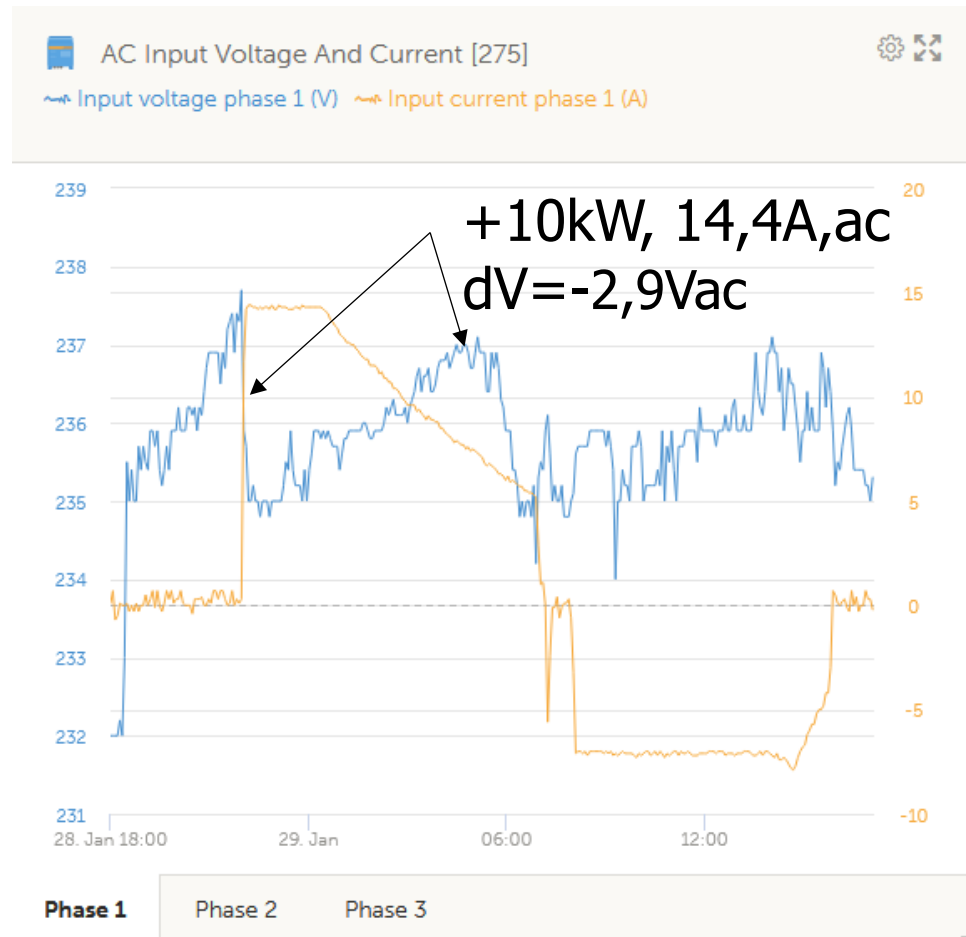


VTT



Latauksen ja purkamisen sähköparametrit ovat kattavasti seurattavissa myös pilvipalvelusta

- Esimerkkejä AC – ja DC puolen lukuisista widgeteistä (Victronin VRM-pilvipalvelu + custom widgetit):



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Laitevalmistajan esitteestä saatiin tavoite koeajojen AC-hyötysuhteelle: 67%

- DC EFFICIENCY (STACK)
 - 87% | DC ROUNDTRIP INCLUDES BOTH CHARGE/DISCHARGE EFFICIENCY
- AC EFFICIENCY (SYSTEM) @ NOMINAL POWER
 - **67% | AC ROUNDTRIP** INCLUDES BOTH CHARGE/DISCHARGE EFFICIENCY
- Esimerkki energiamääräksi muunnettuna (jos hyötysuhteet olisivat symmetrisiä)

61kWh(IN)	AC-in	Eff	DC-IN	Eff	kWhs in electrolyte	Eff	DC-out	Eff	AC-out	41kWh(OUT)
	kWh	0,877562	kWh	0,932738		0,932738		0,877562	kWh	
	61,08472218		53,60563		50		46,636895		40,92676	
	(Grid intake)				Battery capacity				(Feed-in to the grid)	

Koetoiminnasta toistaiseksi (AC-rajapinnasta mitattuna):

- Ladatut energiat per sykli ovat vaihdelleet 53-68 kWh välillä.
- Vastaavasti varastosta verkkoon puretut energiamäärät 33-39 kWh välillä.



Euroopan unionin
osarahoittama

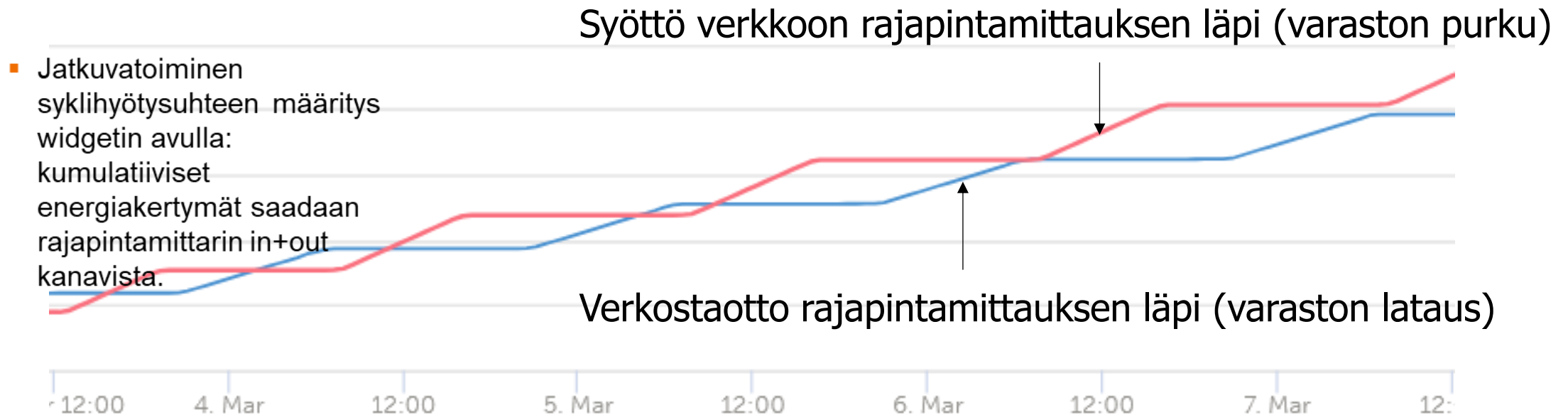


VTT



Useita ajastettuja koeajojaksoja toteutettu:

- Erillisen akun eteen asennetun rajapintamittarin 2-suuntaisista kumulatiivisista **energiakertymistä** voidaan määrittää lataus- ja purkuenergioiden (hyöty-)suhde eri aikaväleille tai syklikohtaisesti:



Euroopan unionin
osarahoittama

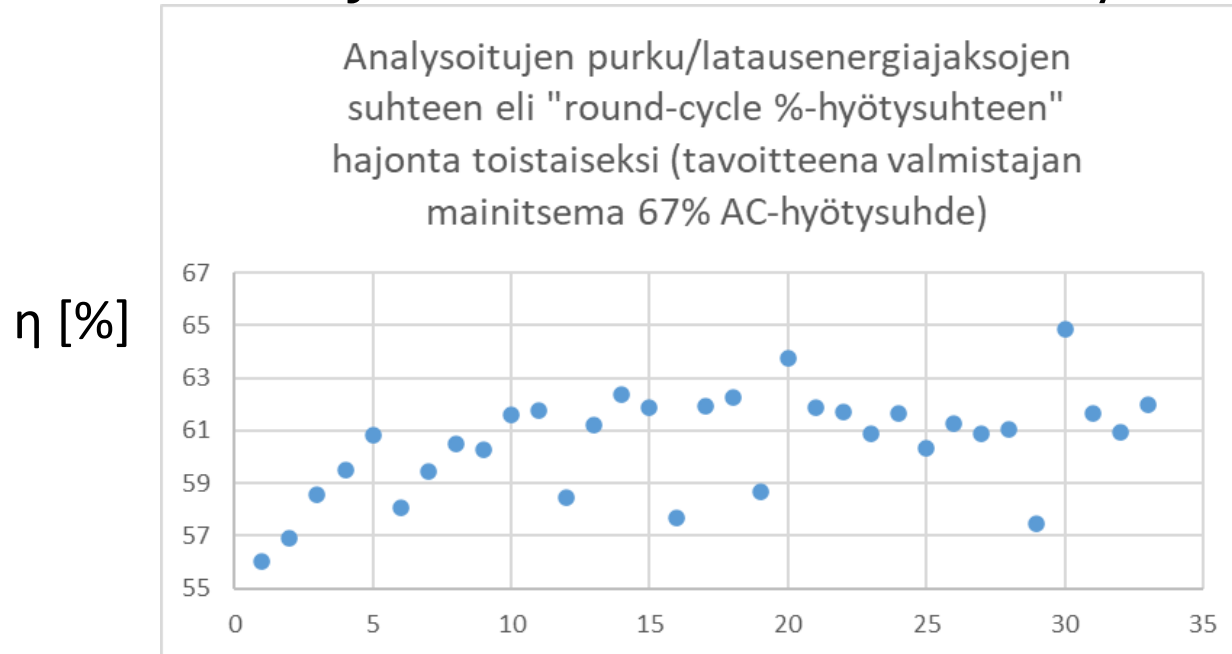


VTT



Koeajoista kerätty varaston suorituskyky:

- On mahdollista, että löydämme olosuhteet ja tehotasot, joilla saavutetaan valmistajan esitteen 67% AC-hyötysuhdetaso ("round-cycle hyötysuhde").
- Sovitettuna: esim. yölataus + työpäivänaikainen purku –ajologiikkaan hyötysuhde ollut n. 61%
- Käytännön toiminnassa ja isommilla tehoilla 60-62% näyttää olevan saavutettavissa.



Analysoitujen lataus+purku jaksojen määrän kehitys

-Järjestelmä näyttäisi toimivan nykyään karkeasti noin 60% AC-hyötysuhteella: (tosin selvästi ajotavoista riippuen) eli se muuntaa n. 40% verkosta otetusta AC sähköenergiasta lämmöksi: mitkä ovat lämmön hyötykäytön mahdollisuudet? (Elektrolyytin lämpötilataso < 40C)

-Jatkossa tulisi analysoida tarkemmin myös DC-hyötysuhdetta.



Euroopan unionin
osarahoittama

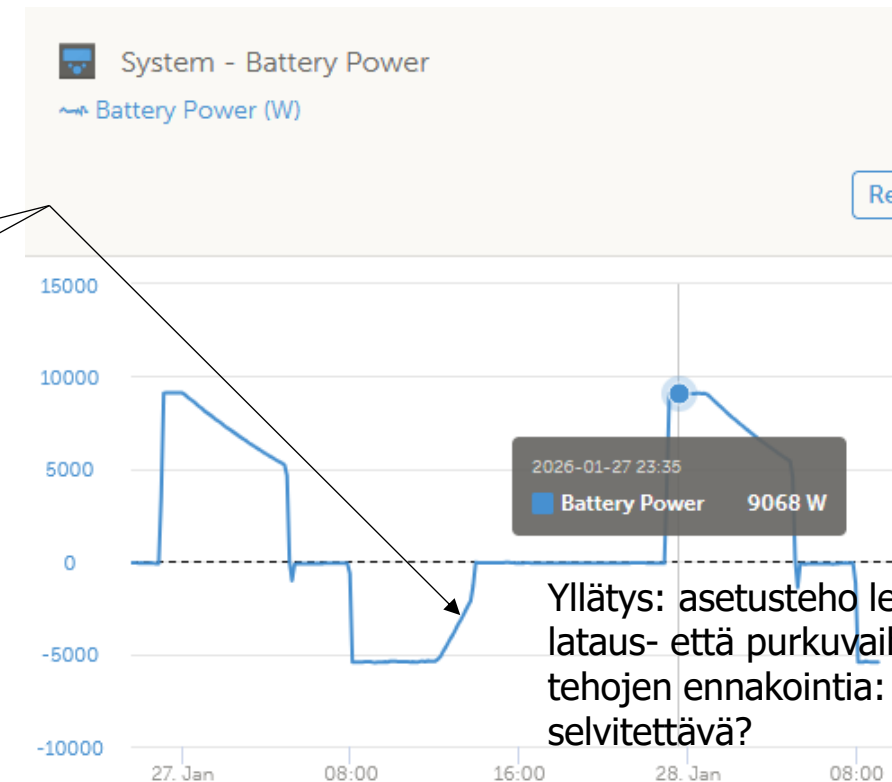
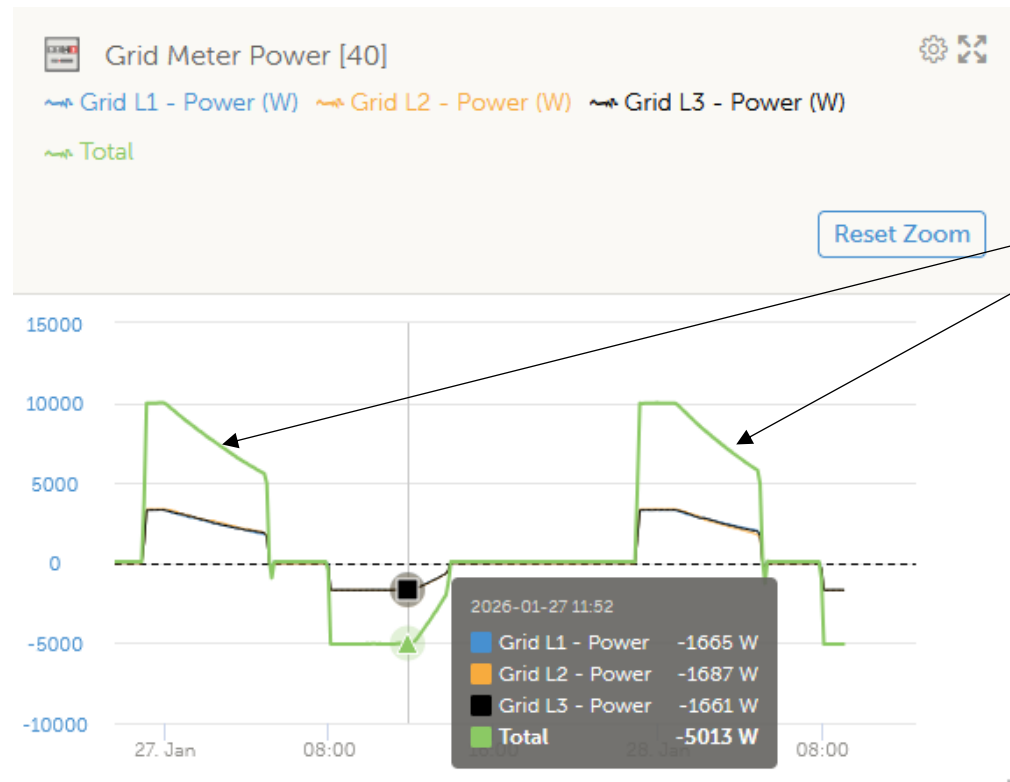


VTT



Ajastetut kokeet analysoitavaksi:

- 10 kW lataus, 5kW purku: hyötysuhde 56% -> 7,5/5kW jo parempi 60,8%...
- 7,5 kW lataus, 5kW purku -> 60,5%.., seuraavaksi 6/5 kW.. "Learning by doing!"



Euroopan unionin
osarahoittama

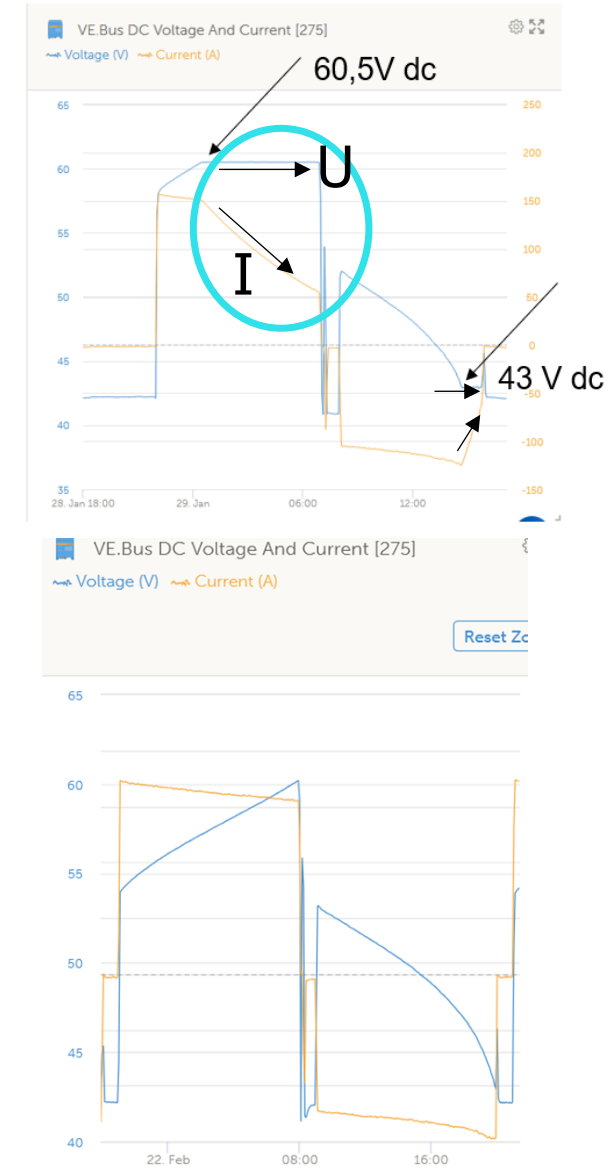


VTT



Lataustehon leikkaantumisesta:

- Lataustehon leikkautuminen näyttää alkavan, kun järjestelmän DC-jännite saavuttaa 60,5V(dc, max) -> latausvirtaa aletaan leikkaamaan.
- Purkutehon leikkautuminen alkaa jännitteen pudottua tasolle n. 43V(dc)
- Alin kokeilusykleissä ilmennyt DC- jännitetaso on luokkaa 40,7 V (hetkellisesti n. 5-20 min latauksen päätyttyä, idle-tilassa).
 - I_{max} on n. -200A(dc)
- Oikealla ylhäällä tehon leikkautuminen 60,5V saavuttamisen jälkeen ja alempana tehoiltaan leikkaantumattomat lataus- ja purkusyklien (5/3kW) U/I –käyrät (SoC 88%).



Euroopan unionin
osarahoittama

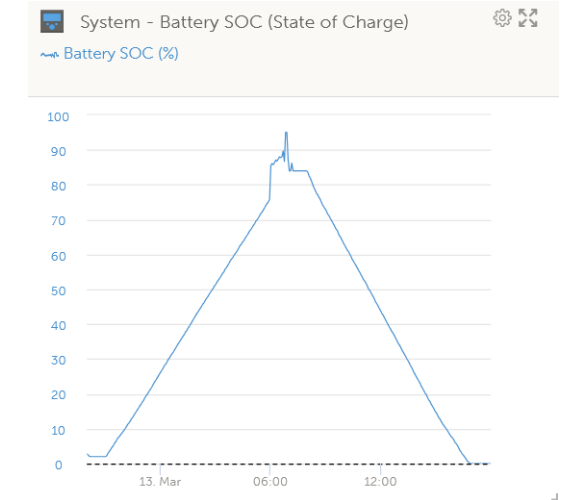
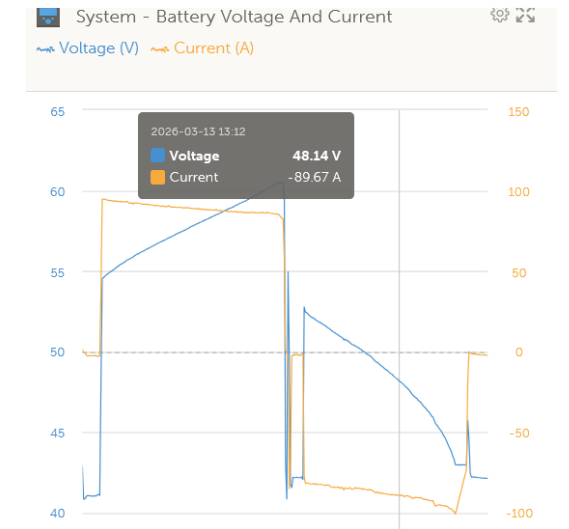
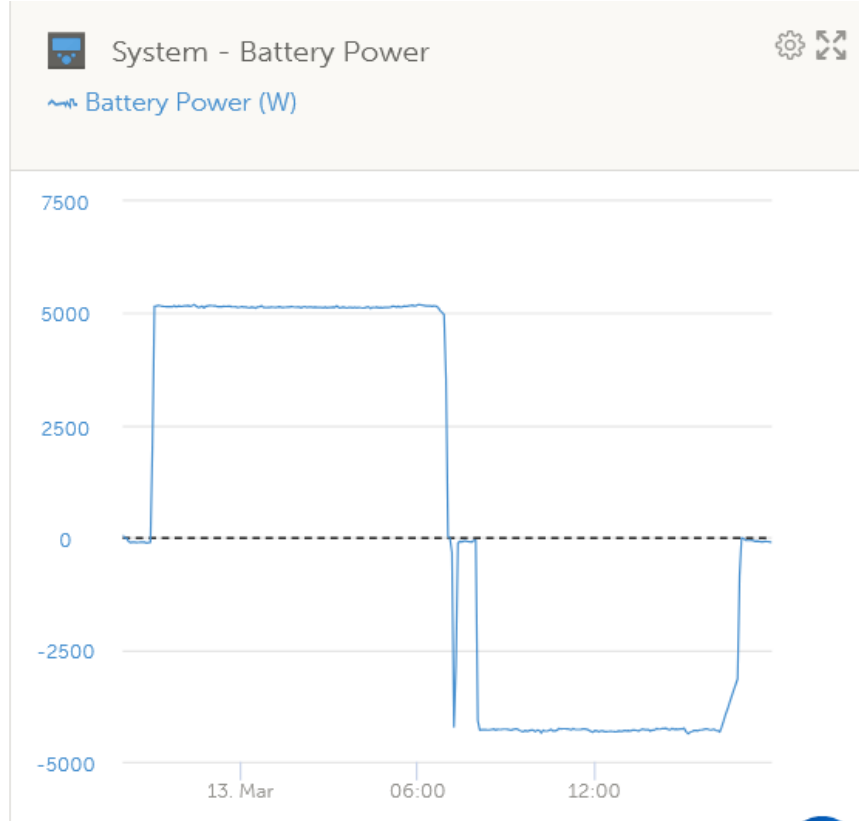
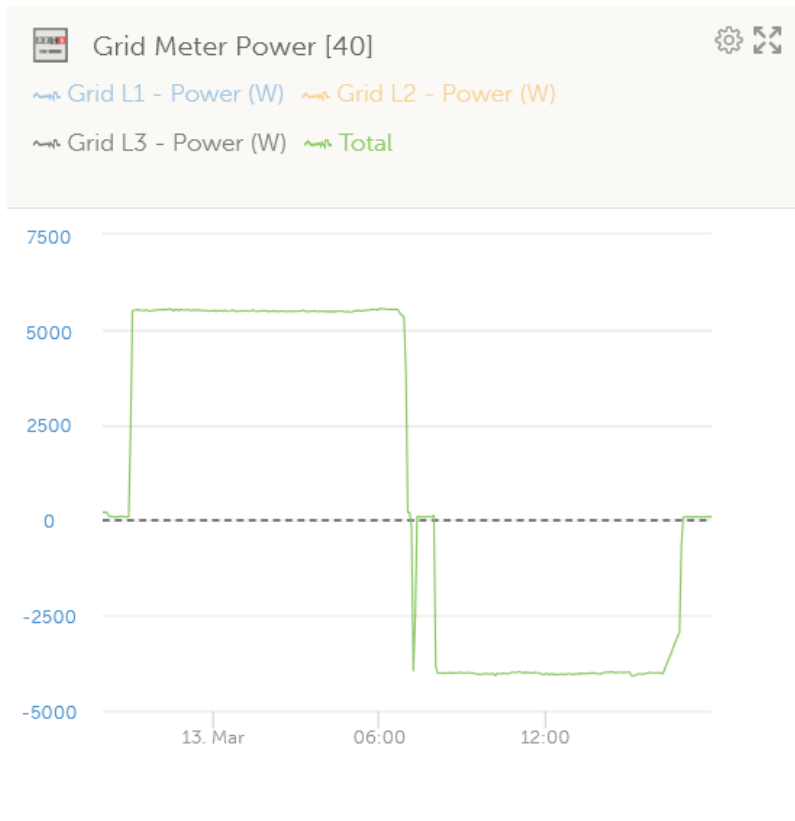


VTT



Toistaiseksi paras syklitulos:

- Rajapintamittaus: lataus 5,5 kW purku 4 kW, **syklin hyötysuhteeksi 65%**



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Havaintoja: verkkoonsyöttötehojen pienentäminen on nopeaa

- Verkkoonsyöttötehojen pienentäminen **onnistui nopeasti sekunnissa** tutkituilta tehotasolta alaspäin tavoitetasolle.
(Päätelmä perustuu 1/s näytteenottoon)
- Käytännössä suurin tämän sähkövaraston purkuteho mitattuna AC-rajapinnasta näyttäisi olevan 8 kW (Nimellistehona ilmoitettu 10 kW, mutta isoimmat tehot voitiin saavuttaa vain lähes täydestä akusta).
- Kun varasto oli täytetty yöllä ja päivällä sitä puretaan käyttöön, suurimpia tehotavoitteita ei välttämättä saavuteta enää pienemmillä varaustasoilla tehon leikkaantumisiän vuoksi.
- Tavoitteet saavutettiin vain noin 7,5 kW tehotasolle saakka.
- Toteutuneet "ramp-rate" tulokset olivat välillä -60...-388 kW per min.
 - enintään 7,5-8 kW/s on saavutettavissa järjestelmän verkkoonsyötön pienentämisessä (jolloin esimerkiksi muu verkostaotto kuormiin kasvaisi nopeasti, jos asennus olisi esim. sähköautojen latausaseman yhteydessä).



Euroopan unionin
osarahoittama

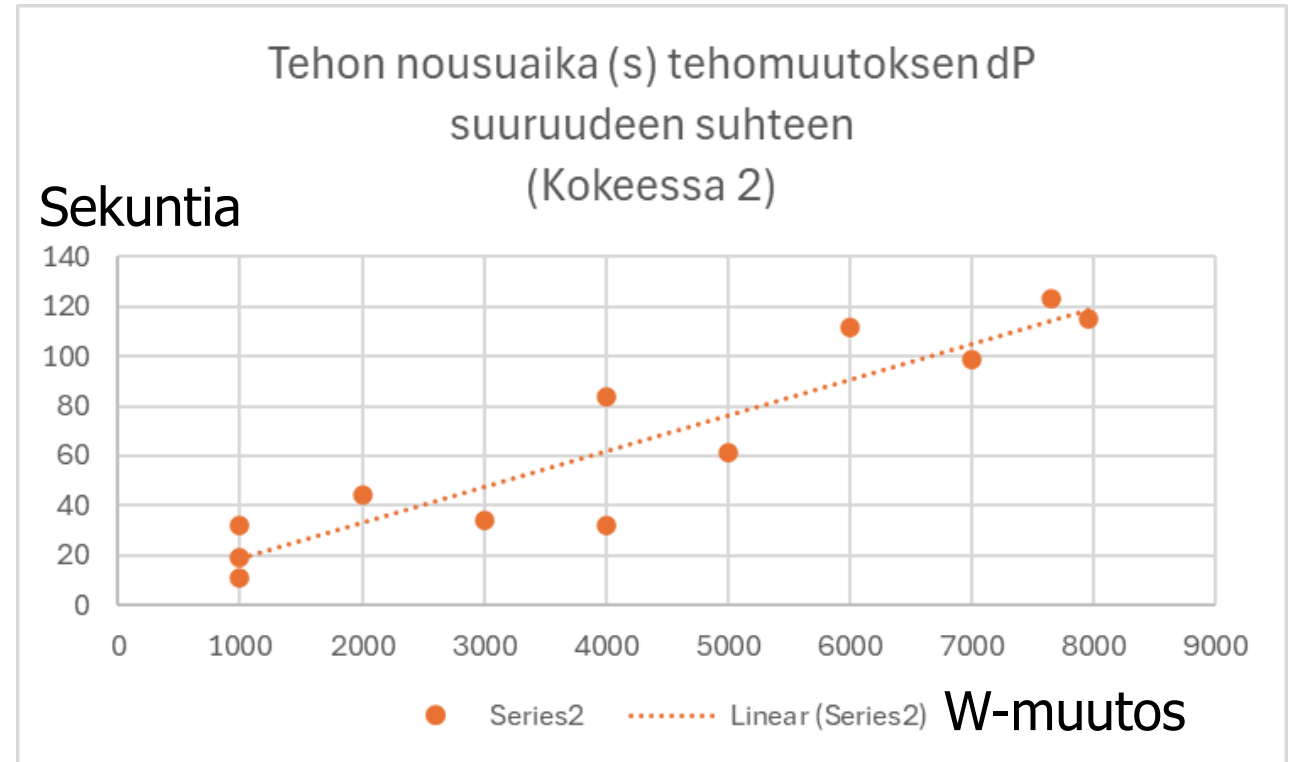


VTT



Havaintoja: verkkoonsyöttötehojen lisäykset ovat hitaampia

- Reaktioajat ovat huomattavasti pidempiä:
- **Esimerkiksi tasolta 1kW +7kW =>8kW (max AC verkkoon) kesti 99s*.**



- *Aineisto perustuu Tomi Thomassonin vaste-aika-analyysiin (1/s) Juha Toukolan ohjaaman kokeen raaka-datasta.
- Mittaus-setup + analyysityökalu on nyt valmis ja kokeiltu
- Vastaavat tarkemmat määritykset olisi toivottavaa tehdä jatkossa myös latausvaiheesta (verkostaotto) sekä tehojen siirtosuuntien vaihdoista.



Euroopan unionin
osarahoittama

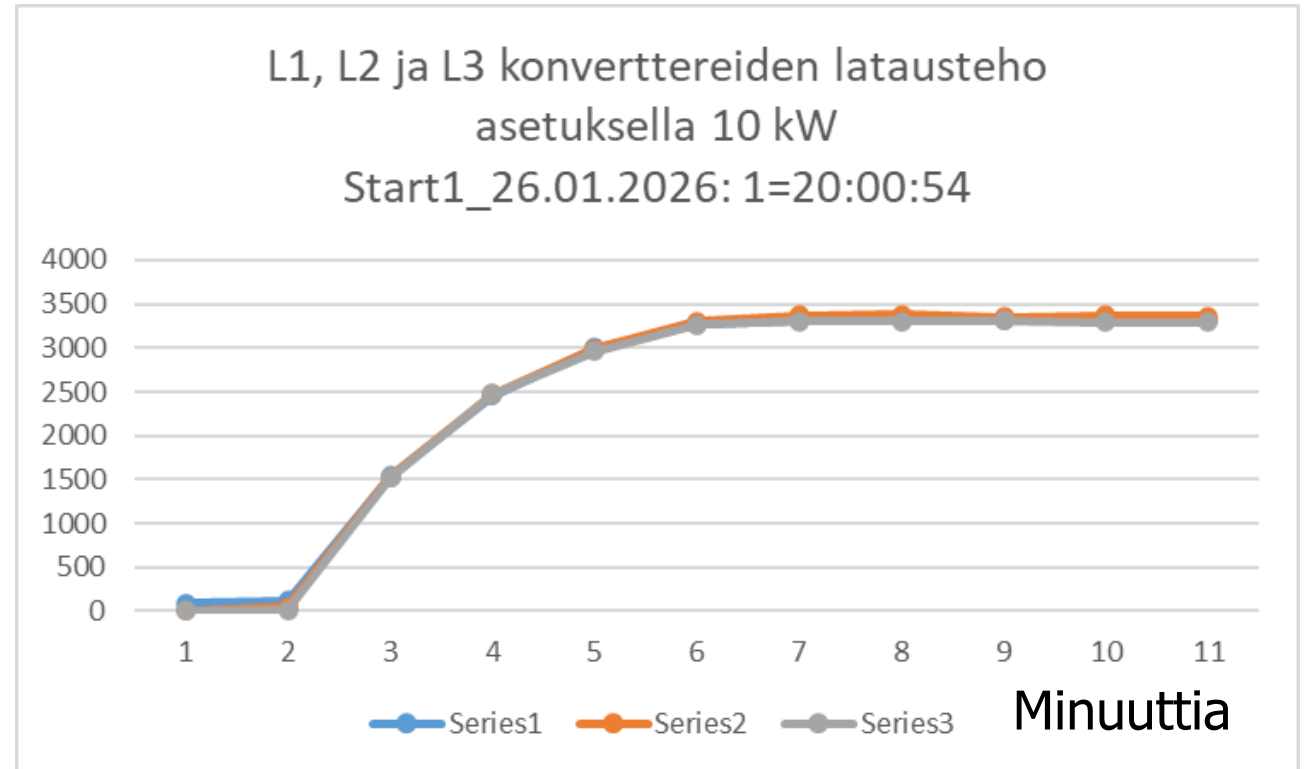


VTT



Yllätys: Järjestelmän käynnistyminen kestääkin minuutteja - samoin lataustehon suurentaminen maksimiinsa:

- Kokeiluissa ilmeni, että tehon siirtosuunnan vaihtaminen johtaa useiden minuuttien vasteaikoihin varsinkin suurilla asetustehoilla.
- Suurilla tehoasetuksilla järjestelmän varaustila vaikuttaa käytännössä saavutettavaan tehotasoon: "jänniteleikkureiden" 60,5V (max) ja 43V (min vaikutus) olisi otettava huomioon.
- Pienillä tehoilla ajettaessa leikkaantumista ei juuri tapahdu.



Euroopan unionin
osarahoittama

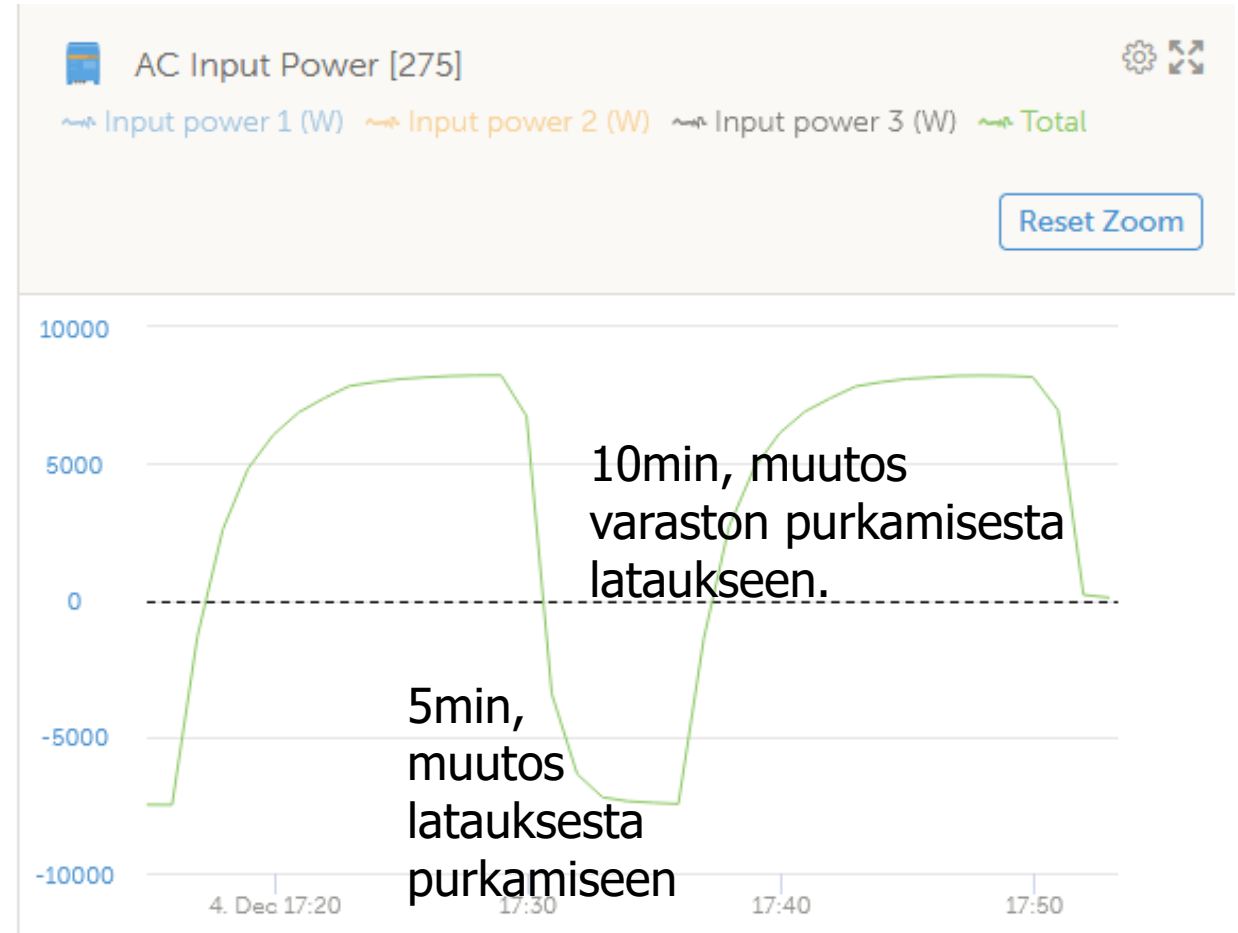
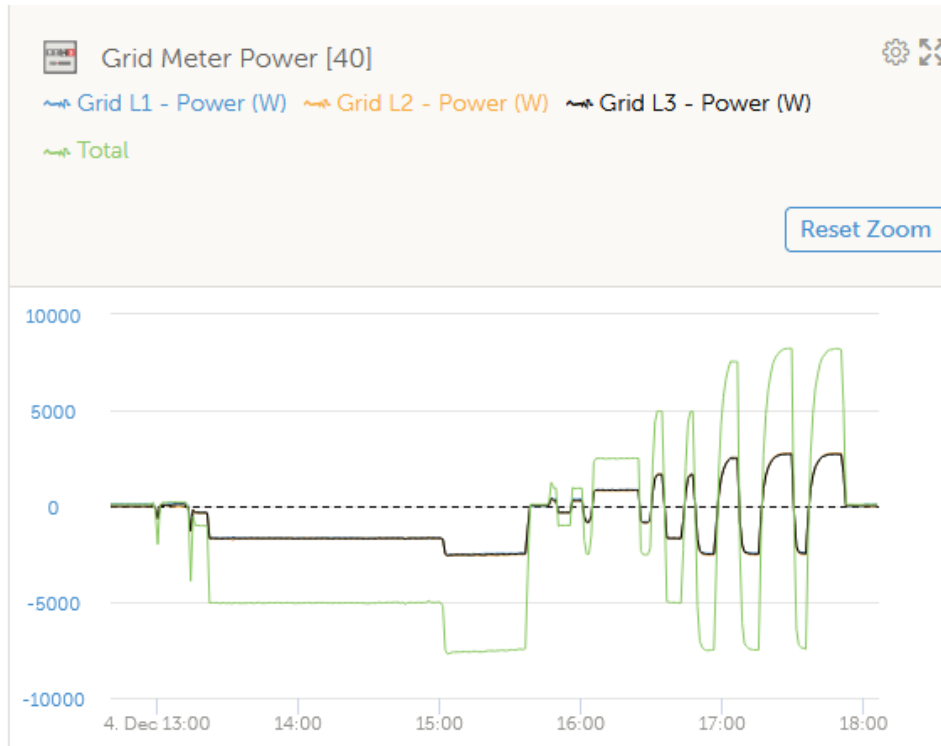


VTT



Sähkövaraston dynamiikasta:

- Vasta alustavia data-analyysyjä voitiin toteuttaa BitKeinin puitteissa: järjestelmät ovat valmiina tarkempiin tutkimuksiin:



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Akkujärjestelmän kanssa samaan jakokeskukseen yhdistettiin 10 kWp eteläseinä-aurinkosähköjärjestelmä:

- Suurtehopaneelit sarjaan: 16x615Wp (Astronergy)
 - Jaettavissa myös 2x max 450V dc-säätimelle (tuplakaapelointi 2x8 jakoa varten)
- Fronius Symo Advanced + Datamanager 2.0 verkkoinvertteri (15kVA)
 - Vasta toinen mppt-piiri käytössä
 - Konfiguroitiin ja luvitettiin kansallisten Grid-Code asetusten mukaiseksi
 - Yhteensopiva Victronin VENUS-OS kontrolleriohjelmiston kanssa
 - Mahdollistaa ”älykkään mikroverkon” kehitystyön



Euroopan unionin
osarahoittama



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

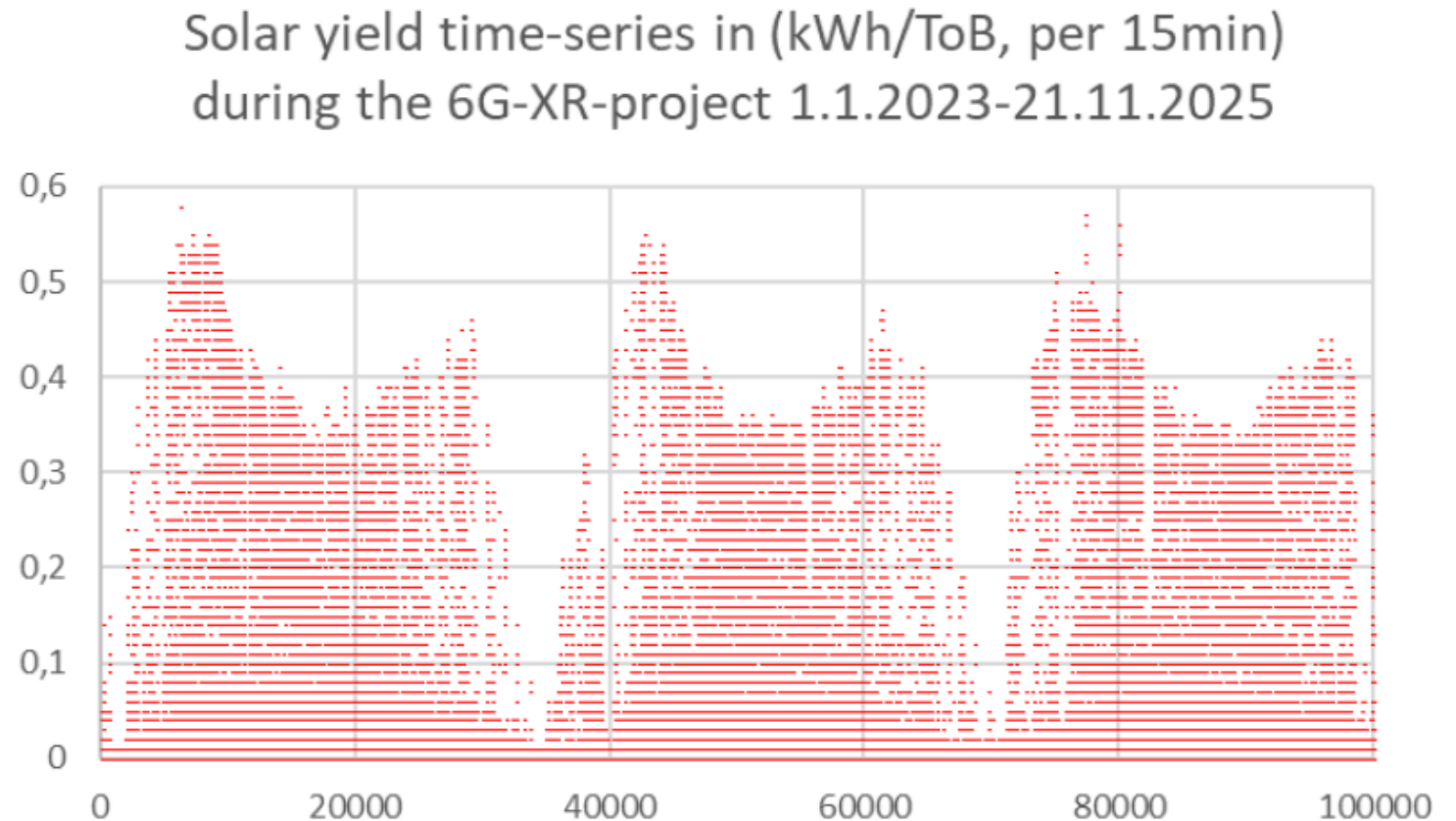
VTT



Keski-Suomen liitto

Seinäasennus tuottaa "maljamaisen vuosituotantoprofiilin": ei lumi-, jää- eikä keskikesän ylituotanto-ongelmia

- Valitun eteläseinäratkaisun taustalla vaikutti VTT:n empiirinen Zencom pienoismalli Oulussa, josta oikealla 3 vuoden akkuun syötetyn tehon profiili
- Suhteutettavissa Jyväskylän saantoprofiiliin
- Lähde: <https://6g-xr.eu/deliverables/>
- D5.2 Experimentation results –interim and final report (pdf)



Euroopan unionin
osarahoittama



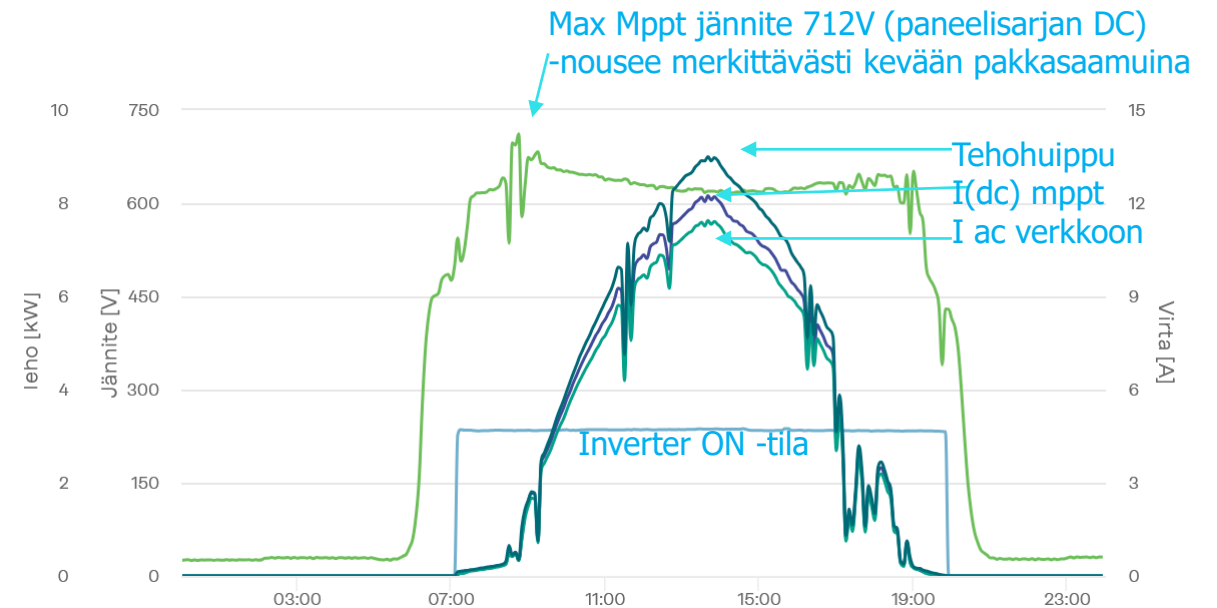
VTT



Seinäasenteisen aurinkosähköjärjestelmän eduista ja haasteista:

- Simulaatioita (PV-GIS) ja alustavia data-analyyskejä voitiin toteuttaa:
- Eteläseinäasennus tuottaa hyvin keväällä ja syksyllä: etuna vähäinen tilantarve + tuuli- ja tykkylumi & jääriskit pienet.
- Eteläseinäasennus on toimiva ratkaisu lumisille alueille, tosin riippuen asennustyön ja rakenteiden "case by case" -haasteista:
- Seinäasennusratkaisu n. 10 metrin korkeuteen toteutettiin HILTI:n lujuuslaskelmin ja ratkaisuin (MT70 palkkijärjestelmä, läpipulttatut kulmakannakkeet ja kiinnikkeet) sekä SK-solarin paneeli-alatuet + Eurosolarin kiskot ja kiinnikkeet: alihankintatyön toteutti ESP-Suomi Oy.

14.9.2026 aurinkoisena syyspäivänä **10kWp Bitkein- seinäjärjestelmämme** tuotti vielä 51,6 kWh/d, maksimitehon käytyä 8,16 kW tasolla:



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Lopuksi:

- Rakennetut sähkövarasto- ja aurinkosähköjärjestelmät on toteutettu BitKein projektin varoin ja ne ovat osana VTT:n tutkimusinfraa valmiina käytettäväksi erilaisiin räätälöitävissä oleviin kokeiluihin ja jatkotutkimuksiin.
- Paljon empiiristä dataa olisi kerättävä ja sen analysointityötä olisi tehtävä mahdollisen scale-up projektin taustaksi.
- Järjestelmän suorituskyvyt ovat monitoroitavissa ja seurattavissa erilaisilla aikaresoluutiotasoilla.
- Integroidut ICT-järjestelmät mahdollistavat järjestelmän ohjauksen valittuja käyttötapauksia mukaillen. Sen toimintaa voidaan optimoida suhteessa toimintaympäristöön.
- Ohjauksen älykkyyttä olisi mahdollista lisätä askeleittain uusia ulkoisia tietovirtoja ja/tai järjestelmiä yhdistämällä.
- Samaan tutkimusjakokeskukseen yhdistetty aurinkosähkötuotanto mahdollistaa järjestelmäintegraation syventämisen.
- Akuston järjestelmäkontrolleri ei toistaiseksi mahdollistanut suoraa DC-lataussäätimen käyttöä hyötysuhteen parantamiseksi tai DC-kuormituksen kytkentää 40-60V DC-kiskostoon. Invertterin saarekekäyttöominaisuuksia akkukontrollerin "alaisuudessa" ei ehditty vielä selvittämään.
- Alustavista koeajoista saatiin käyttökokemuksia ja niistä on noussut paljon aiheita ja kehitystehtäviä jatkotutkimustoiminnalle. Ajatuksia verkkoonliityntäprosessien jouhevoittamiseksi löytyi.
- **Olisiko pääosin kotimaisia materiaaleja ja laitteita hyödyntävän suuren virtausakun valmistaminen mahdollista?**



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Laskennallinen työ koeajoista kerättyyn dataan perustuen

Osatehtävässä tutkittiin virtausakun käyttöä VTT:n tutkimusympäristössä sekä kehitettiin virtausakun operointimallia Suomen sähkömarkkinoille.

Työ eteni kolmessa vaiheessa. Ensin selvitettiin nopeiden tehomuutosten vaikutuksia akun toimintaan kokeellisesti sekä arvioitiin syklisen käytön vaikutuksia akun käyttöikään kirjallisuuskatsauksen avulla.

Tämän jälkeen saadut havainnot integroitiin VTT:n kehittämään virtausakun dynaamiseen malliin ja akkuoptimointimalliin, jota laajennettiin virtausakun operoinnin tarkasteluun Suomen sähkömarkkinoilla. Lopuksi akkuoptimointimallia hyödynnettiin taloudellisessa tapaustutkimuksessa, jossa arvioitiin aurinkovoimalan yhteyteen sijoitettavan virtausakun kannattavuutta fiktiivisessä Keski-Suomen kohteessa.



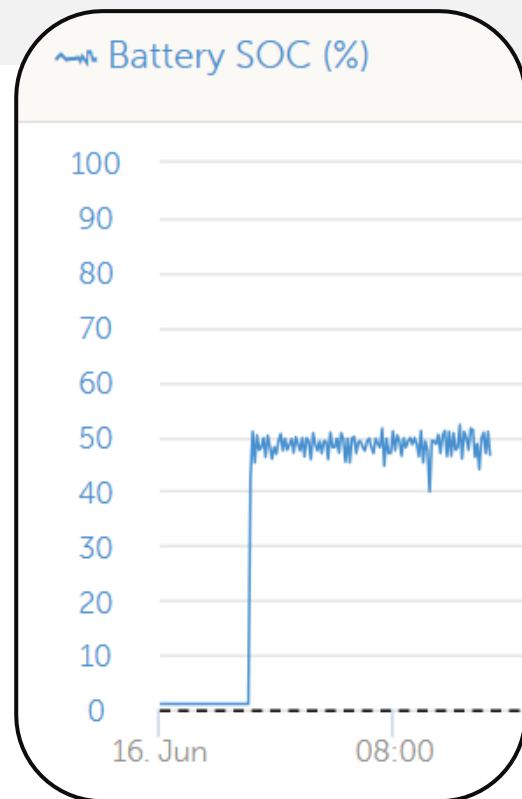
Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



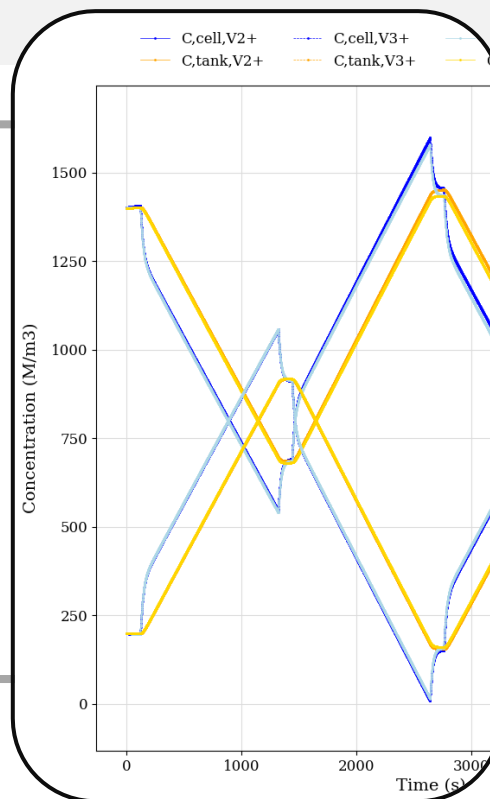
Kokeellinen työ virtausakulla



Mittausdata;
tekninen
mitoitus

Tietoa
operaattorille

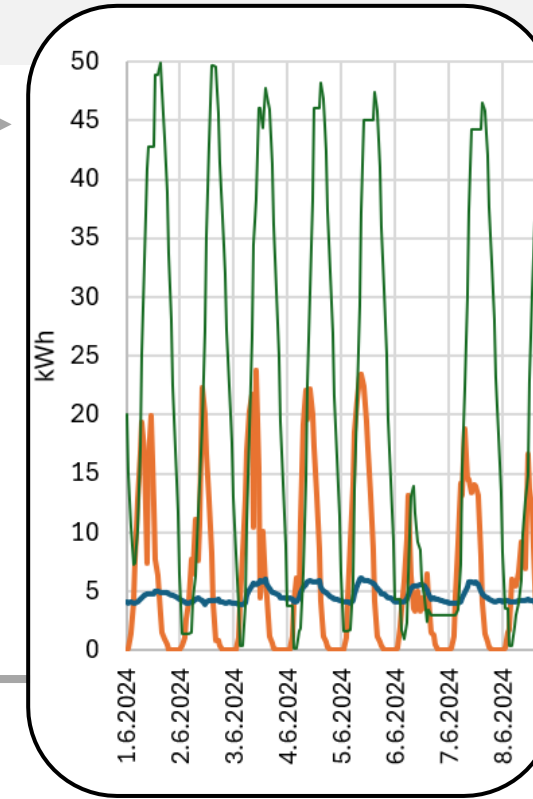
Dynaaminen malli



Dynamiikkaa
kuvaavat
parametrit;
ylösskaalaus

Optimaalinen
ajotapa

Optimointimalli



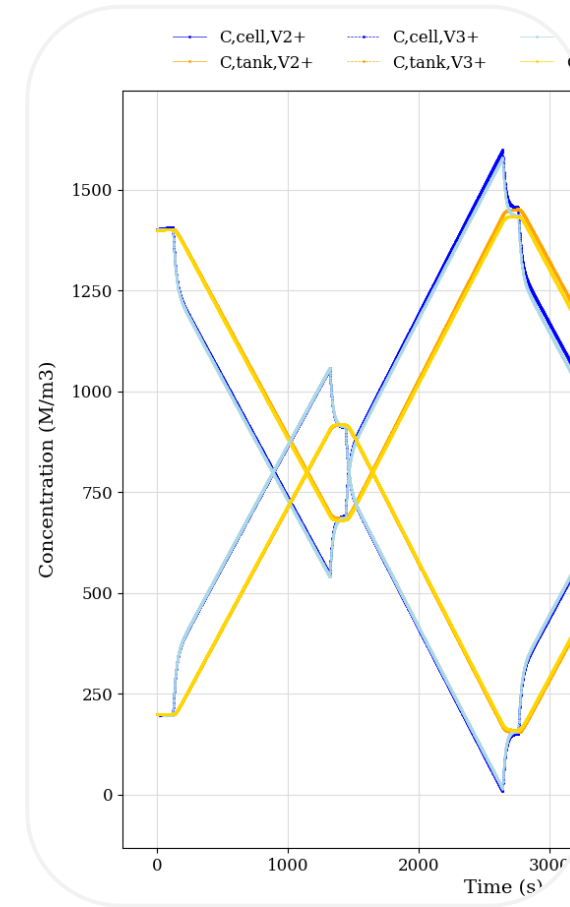
Euroopan unionin
osarahoittama

Dynaaminen malli virtausakulle

Hankkeessa kehitettiin virtausakun dynaaminen epälineaarinen malli, joka kuvaa akun toimintaa keskeisten sähkökemiallisten, termisten ja hydrodynaamisten ilmiöiden perusteella. Mallissa huomioidaan muun muassa elektrolyytin varaustilan kehitys, nestevirtaukset, lämpötilojen muutokset sekä akun sisäiset häviöt ja vastukset.

Fysikaalisen pohjan avulla voidaan tarkastella akun käyttäytymistä erilaisissa käyttötilanteissa sekä arvioida suurempien järjestelmien suorituskykyä ilman laajoja kokeellisia testejä. Mallia voidaan hyödyntää myös digitaalisen kaksosen perustana esimerkiksi akun operoinnin, ohjauksen ja lyhyen aikavälin optimoinnin tukena.

Erityisesti malli mahdollistaa nopeiden tehomuutosten, käyttöstrategioiden ja markkinaosallistumisen vaikutusten tarkastelun siten, että akuston sisäiset rajoitteet ja toimintadynamiikka tulevat huomioiduiksi.



Euroopan unionin
osarahoittama



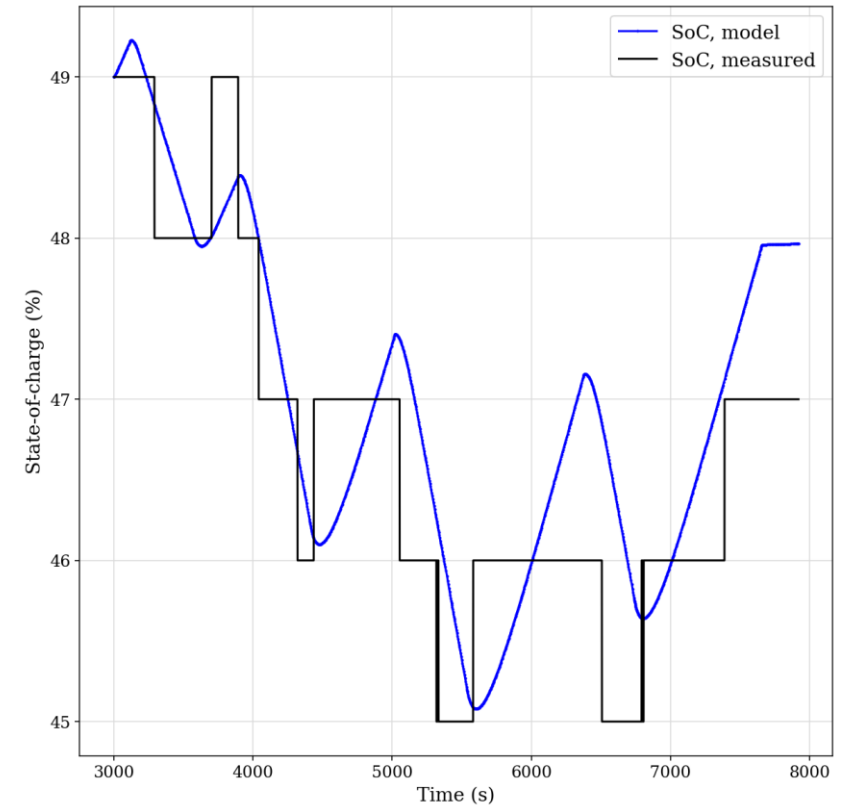
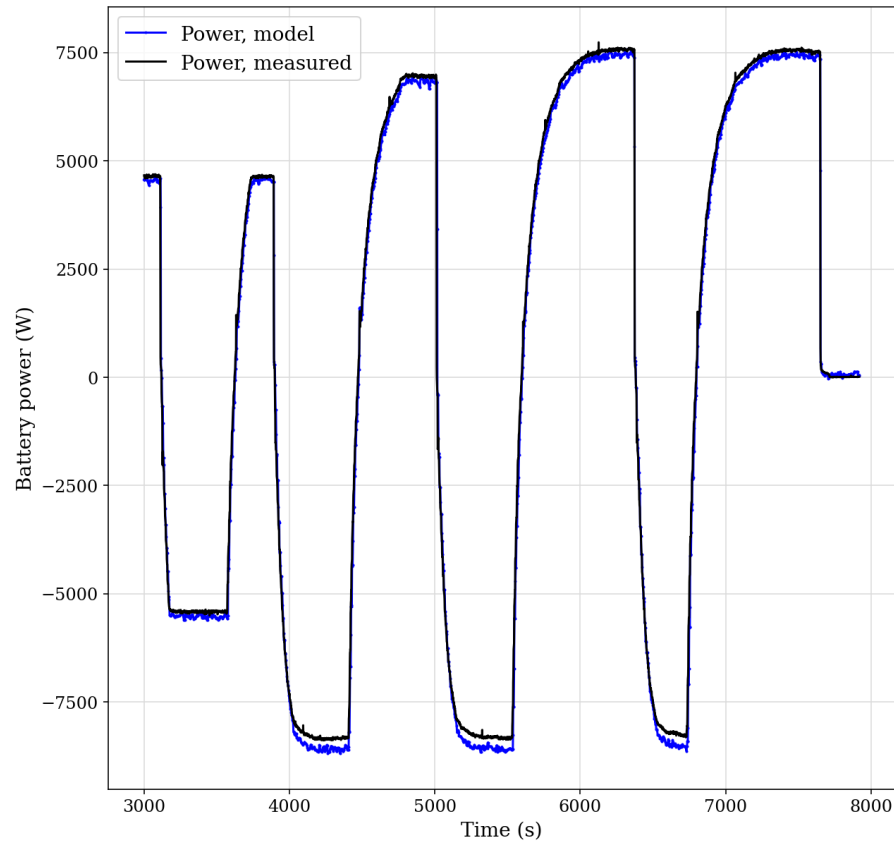
VTT



Dynaamisella mallilla lisätietoa prosessin toiminnasta

Dynaaminen malli

Kokeellinen data VTT:n akkujärjestelmästä



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT

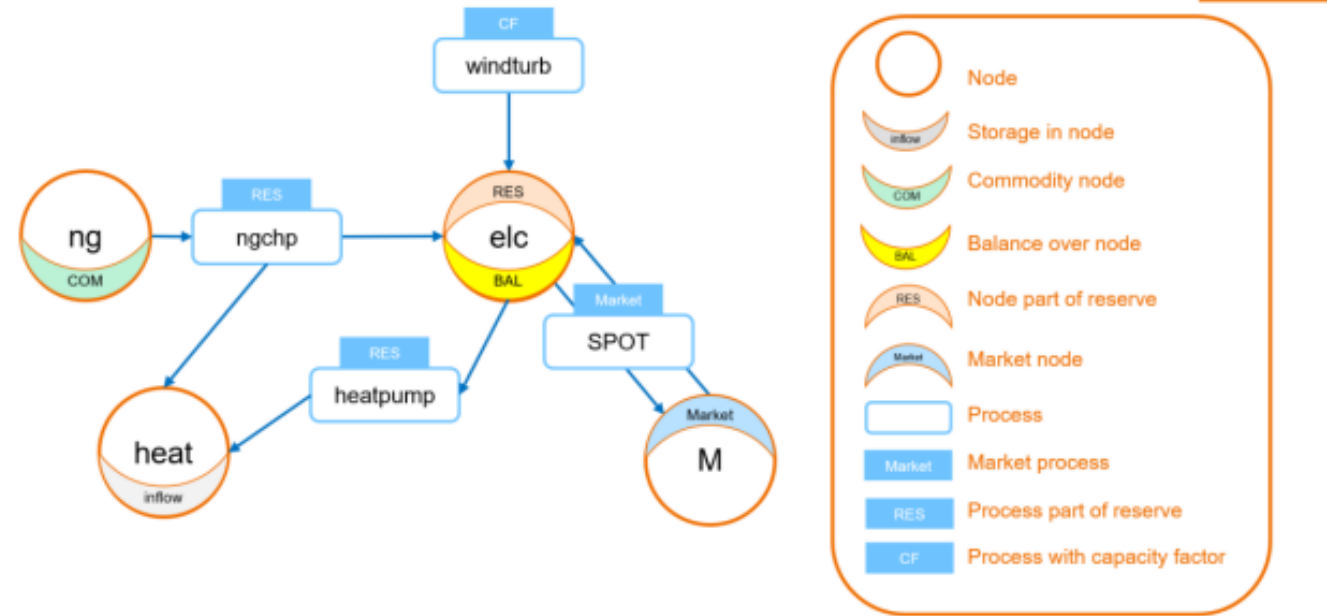


Työkalu monimarkkinaoptimointiin: *Predicer*

Virtausakun markkinaoperointia tarkasteltiin VTT:n kehittämällä Predicer-optimointialustalla. Predicer mahdollistaa energiavarojen, tuotantoyksiköiden ja joustoressurssien samanaikaisen optimoinnin useilla sähkömarkkinoilla.

Työkalua voidaan käyttää sekä deterministisessä optimoinnissa, jossa tarkastellaan yksittäistä tulevaisuusskenaariota, että stokastisessa optimoinnissa, jossa päätöksenteko perustuu useisiin vaihtoehtoihin hinta- tai tuotantoennusteisiin. Tämä mahdollistaa markkinariskien ja ennuste-epävarmuuksien huomioimisen operointistrategioissa.

Optimoinnin tuloksena muodostuvat akun lataus- ja purkuohjelmat sekä eri markkinoille tarjottavat teho- ja energiatarjoukset. Virtausakun tekniset rajoitteet ja suorituskyky voidaan samalla huomioida osana markkinaoptimointia, jolloin saavutetaan realistinen arvio järjestelmän taloudellisesta potentiaalista.



Pursiheimo, E., Sundell, D., Kiviluoma, J., & Hankimaa, H. (2023). **Predicer:** abstract stochastic optimisation model framework for multi-market operation. *Optimization and Engineering*, 1-30.



Euroopan unionin
osarahoittama



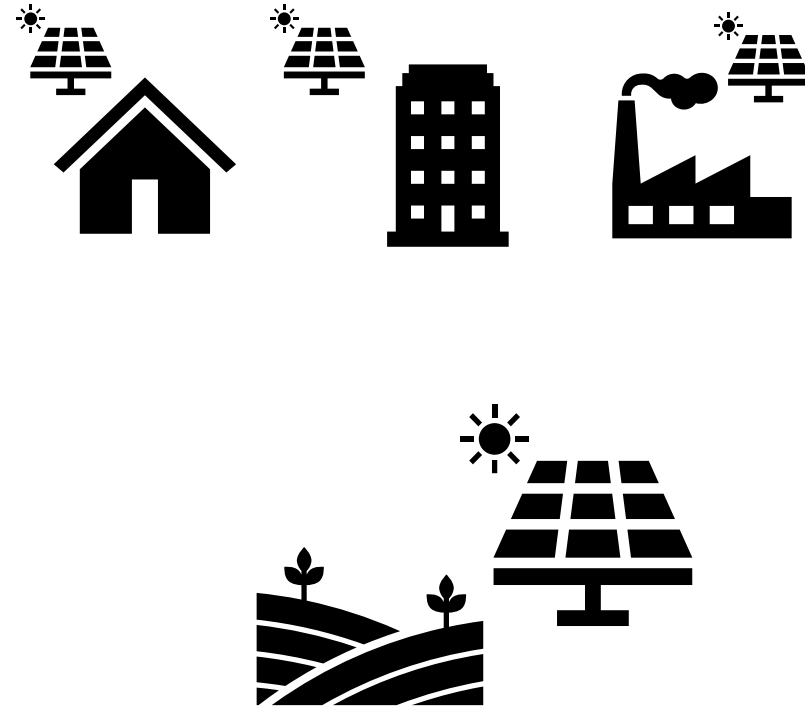
VTT



Kannattavuuden arviointi eri käyttökohteissa

Virtausakun kannattavuutta tarkasteltiin useissa käyttökohteissa aina omakotitaloluokan järjestelmistä teollisiin sovelluksiin. Tulokset osoittivat, että pelkkään aurinkosähkön oman kulutuksen optimointiin perustuva käyttö ei useimmissa tapauksissa johda riittävän lyhyisiin takaisinmaksuaikoihin. Tämä havainto päti sekä omakotitalo- että valituissa kiinteistö- ja teollisuuskokoluokan tarkasteluissa.

Kannattavuus parani merkittävästi, kun tarkastelu laajennettiin suurempaan kokoluokkaan ja akku osallistui samanaikaisesti useille sähkömarkkinoille. Tätä varten muodostettiin fiktiivinen tapaustutkimus, jossa virtausakku yhdistettiin Keski-Suomeen sijoittuvaan suureen aurinkovoimalaan. Monimarkkinaoptimointi, joka sisälsi spot-markkinan lisäksi reservimarkkinoita (FCR-N, FCR-D ja FFR), mahdollisti huomattavasti korkeamman arvonmuodostuksen ja lyhyemmät takaisinmaksuajat kuin pelkkä energiankauppa.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

VTT



KSL
Keski-Suomen liitto

2017

© Sumitomo

2026

© Rongke Power

2029?

© FlexBase



Sumitomo
2 MW / 8 MWh
California, USA



Rongke Power
200 MW / 1,000 MWh
Xinjiang, China



FlexBase
800 MW / 1,600 MWh
Laufenberg, Switzerland

BitKein-hankkeessa kokeelliset tarkastelut perustuivat pilottikokoluokan järjestelmään, jonka avulla kehitettiin ymmärrystä virtausakkujen toiminnasta, mallinnuksesta ja markkinaoperoinnista. Samanaikaisesti kansainvälinen kehitys on siirtynyt nopeasti kohti satojen megawattien ja useiden gigawattituntien energiavarastoja.

Hankkeen tulokset osoittavat, että virtausakkujen kannattavuus paranee merkittävästi järjestelmän koon kasvaessa ja akun osallistuessa useille sähkömarkkinoille. Tämä havainto on linjassa kansainvälisen kehityksen kanssa, jossa virtausakkuja tarkastellaan yhä useammin sähköjärjestelmän mittaluokan pitkän keston energiavarastoina.

BitKeinissä kehitetyt mallinnusmenetelmät tarjoavat perustan eri kokoluokan järjestelmien analysointiin myös tulevaisuudessa.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

VTT



Keski-Suomen liitto

Virtausakkujen operointi ja kannattavuus

Aleksi Ahl

Jyväskylän yliopisto



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Johdanto

- Grafiitti on tärkeä teollinen hiilimateriaali, jota hyödynnetään esimerkiksi energiavarastoinnissa ja sähkökemiallisissa sovelluksissa.
- Luonnongrafiittia saadaan louhimalla, mikä aiheuttaa ympäristövaikutuksia, energiankulutusta ja kaivostoimintaan liittyviä päästöjä.
- Samaan aikaan uusiutuvan energian osuuden kasvu lisää tarvetta kestäville energiavarastointiratkaisuille.
- Virtausakut ovat yksi potentiaalinen ratkaisu suuren mittakaavan energiavarastointiin ja niiden elektrodeissa käytetään yleisesti grafiittipohjaisia materiaaleja.
→ Voisiko grafiittia valmistaa louhinnan sijaan uusiutuvasta biomassasta?



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Virtausakkujen kehitystyön tavoitteet JyU:ssa

Virtausakututkimuksessa keskityttiin Vanadiini-Redox-Virtausakkuihin (VRFB).
Virtausakkuihin keskittyvässä työpaketissa selvitettiin virtausakkujensoveltuvuutta energiavarastoiksi (VTT)
ja kehittämään virtausakkujentehokkuutta sekä löytämään uusia virtausakkukomponenttien raaka-aineita (JY) ja valmistusmenetelmiä.

JyU:n Virtausakututkimus koostui seuraavista osa-alueista.

- Biomassojen käyttömahdollisuudet virtausakkujen elektrodien raaka-aineena.
- Elektrodien ja kennon puoliskoja erottavan selektiivisten puoliläpäisevien kalvojen kehittäminen sekä elektrolyyttiliuoksen valmistusmenetelmienkehittäminen.
- Elektrodien valmistus 3D tulostuksen ja puristustekniikoiden avulla.



Euroopan unionin
osarahoittama

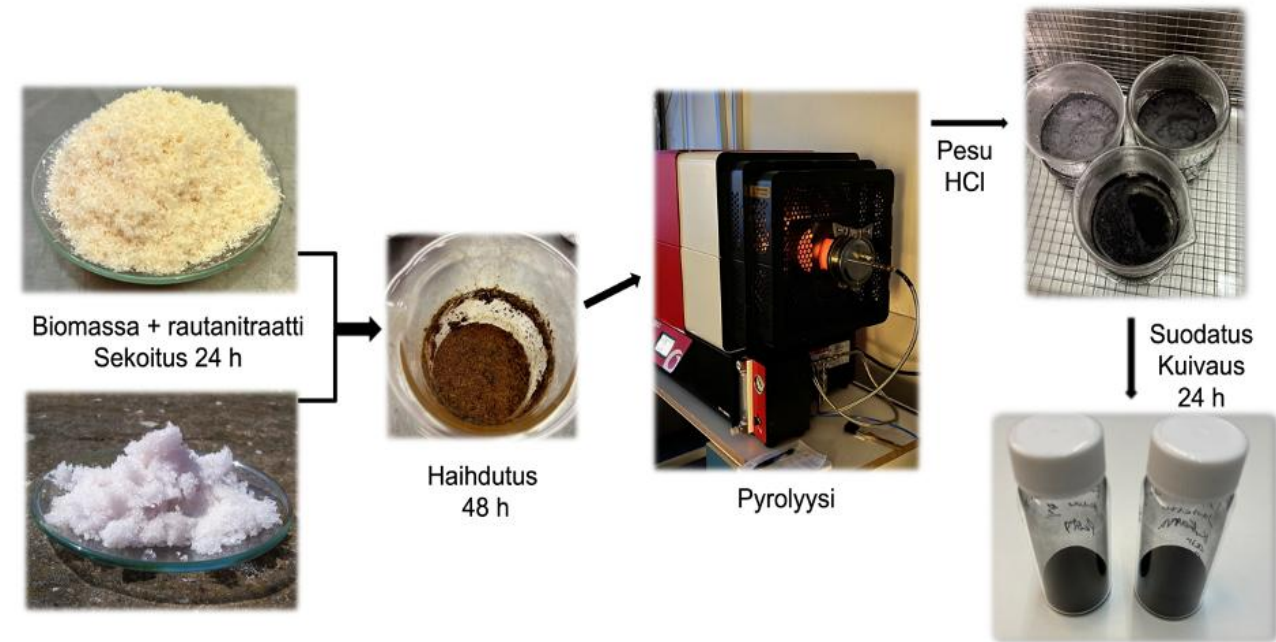


VTT



Grafiitin valmistus sahanpurusta

Raaka-aineeksi valikoitui sahanpuru. Raaka-aineen valinnan ohella valmistusolosuhteiden optimointi oli keskeinen osa hanketta. Tavoitteena oli löytää kustannus- ja energiatehokas tapa valmistaa johtavaa hiiltä. Käytännössä tämä tarkoitti katalysoitua pyrolyysiä. Katalyytiksi valittiin rauta, joka on edullinen vaihtoehto. Rauta lisättiin sahanpuruun nitraattina vesiliuoksessa. Optimoitavia parametrejä olivat katalyytin määrä pyrolyysimassassa, pyrolyysilämpötila ja -aika. Prosessin vaiheet on esitetty kaavamaisesti oheisessa kuvassa.



Biografiitin valmistusvaiheet.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Grafiitin analysointi

Menetelmä

Saatu tieto

Raman-spektroskopia

ID/IG-suhde ja grafiittisten alueiden koko (L_a)



XRD-röntgendiffraktio

Kiteisyys ja kerrosrakenne (d_{002})



**SEM
(pyyhkäiselektronimikroskopia)**

Katalyytin dispersio ja partikkelijakauma



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Raman-spektroskopia



- Raman-spektrin kaistat
 - D ($\approx 1350\text{ cm}^{-1}$)
 - Johtuu virheistä ja epäjärjestyksestä
 - Tunnusomainen amorfiselle hiilelle
 - G ($\approx 1580\text{ cm}^{-1}$)
 - Grafiitin peruskaista
 - C–C sidosten symmetriset värähtelyt
 - Suurempi intensiteetti → enemmän grafiittia
- D ja G välinen intensiteetti suhde
 - Pieni suhde → grafiitinomainen rakenne



Euroopan unionin
osarahoittama



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

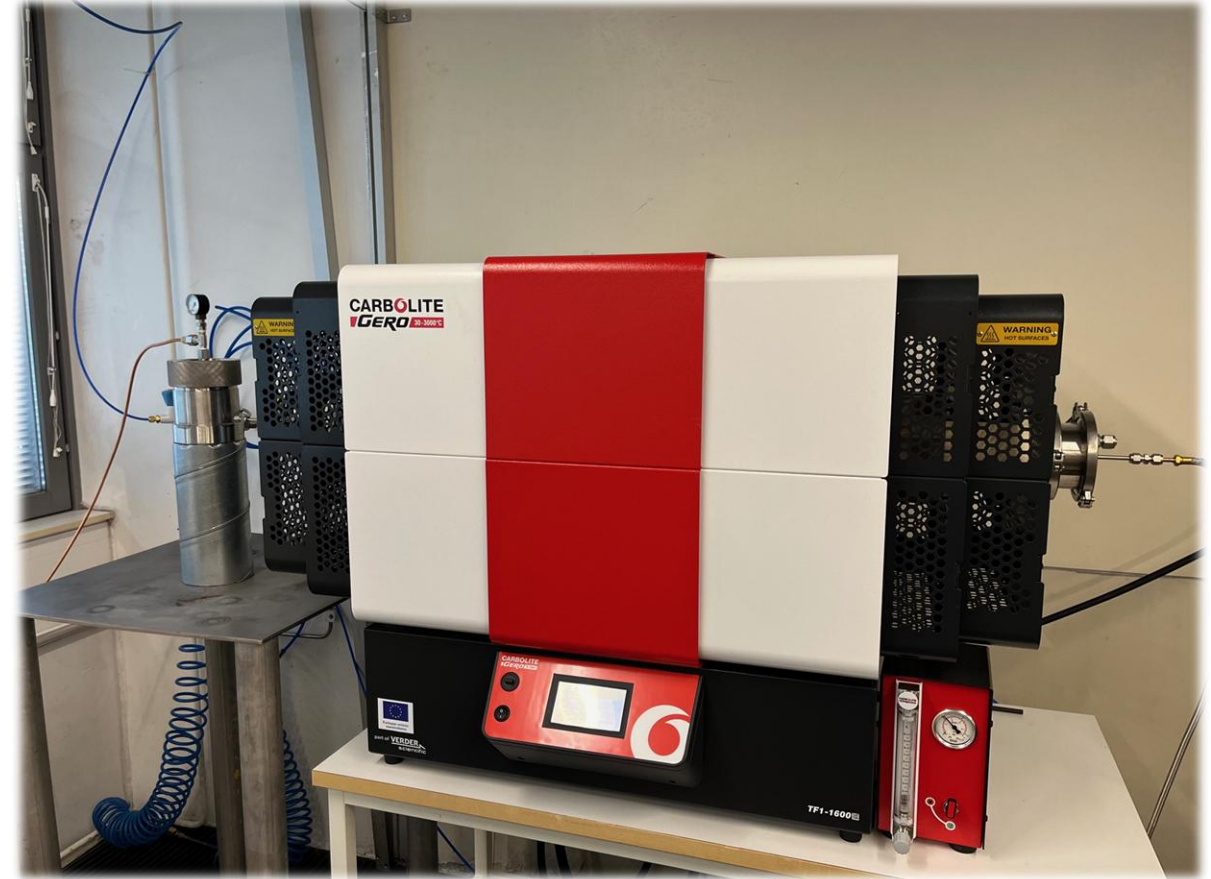
VTT



Keski-Suomen liitto

Pyrolyysissä testatut olosuhteet

- Pyrolyysiolosuhteita vaihdeltiin systemaattisesti laajalla alueella
- Lämpötila
 - 700-1300 °C
- Katalyytin pitoisuus
 - 20 – 50 wt% Fe
- Lämmitysaika
 - 1 – 9 h
- Optimoinnissa käytettiin männyn sahanpurua



Euroopan unionin
osarahoittama

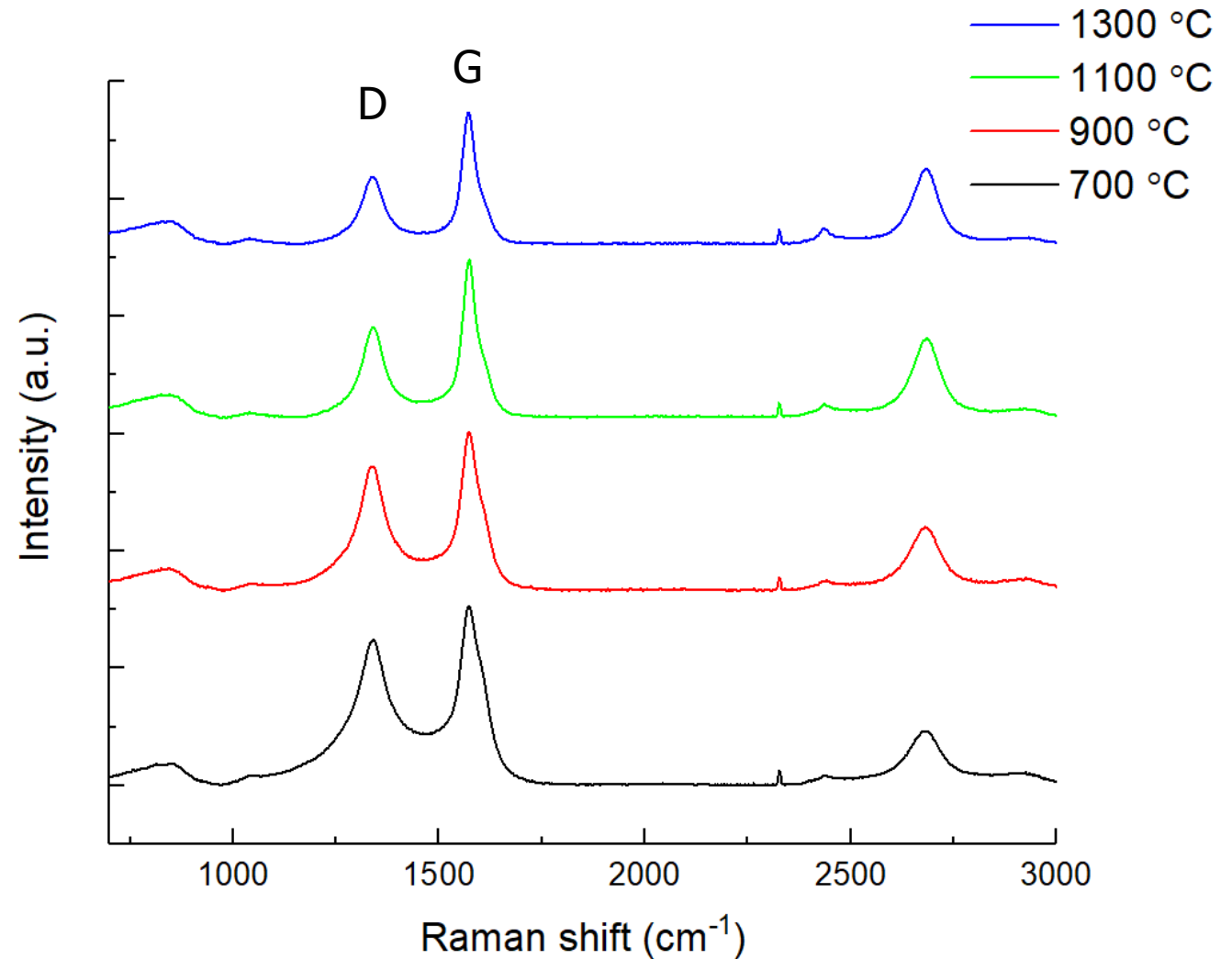


VTT



Lämpötilan vaikutus

- Lämpötilan kasvaessa
 - D-kaistan intensiteetti pienenee
 - G-kaistan intensiteetti kasvaa
- ID/IG-suhde pienenee lämpötilan noustessa: 0,75 → 0,46
 - Viittaa järjestäytyneempään rakenteeseen



Euroopan unionin
osarahoittama

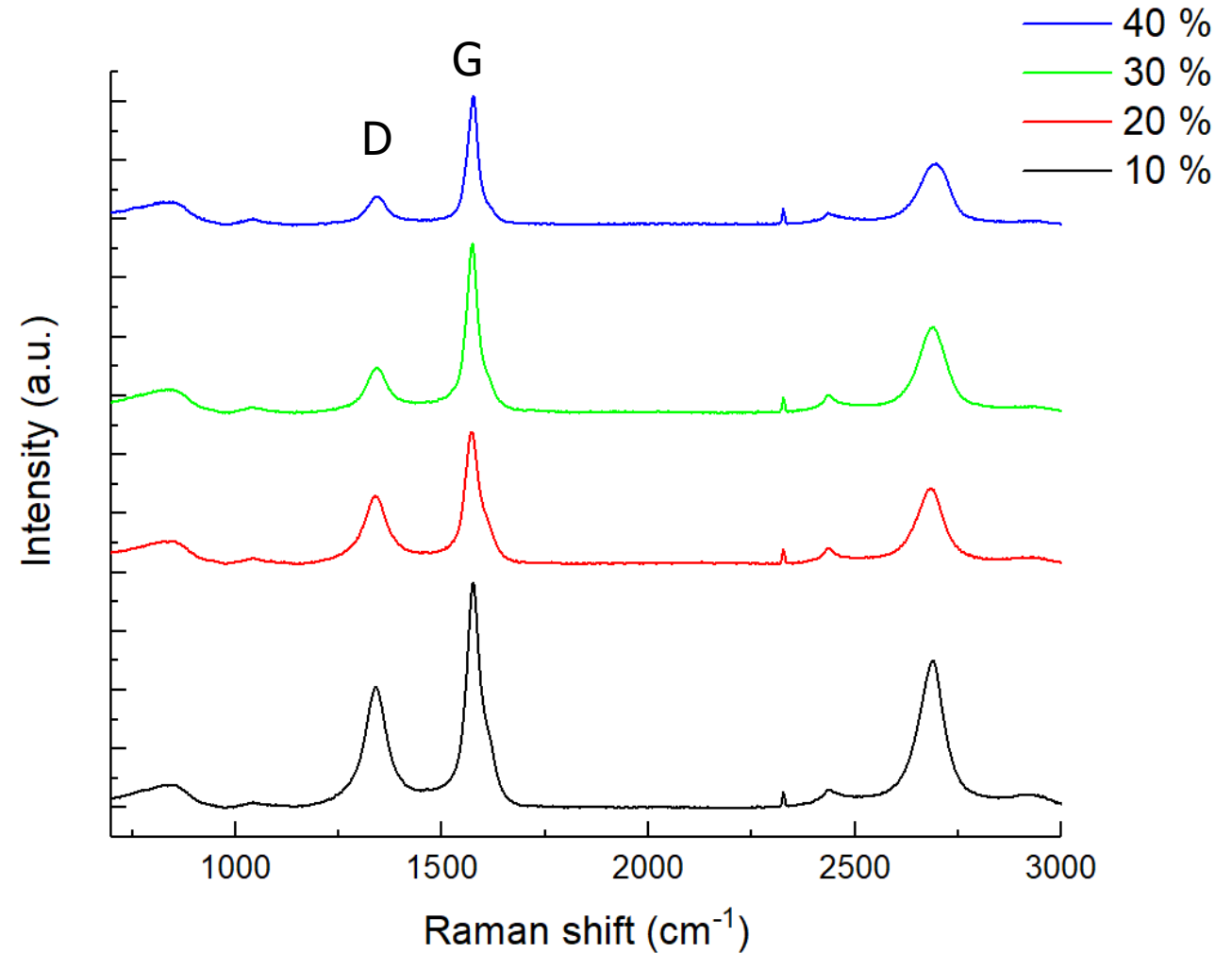


VTT



Katalyytin määrä

- Katalyytin määrän kasvaessa
 - D-kaistan intensiteetti heikkenee
 - D/G-suhde pienenee
- ID/IG-suhteen muutos
 - 10 % katalyytti: 0,54
 - 20 % katalyytti: 0,46
 - 30 % katalyytti: 0,25
 - 40 % katalyytti: 0,19
- D/G-suhteen pieneneminen viittaa rakenteen järjestäytymiseen



Euroopan unionin
osarahoittama

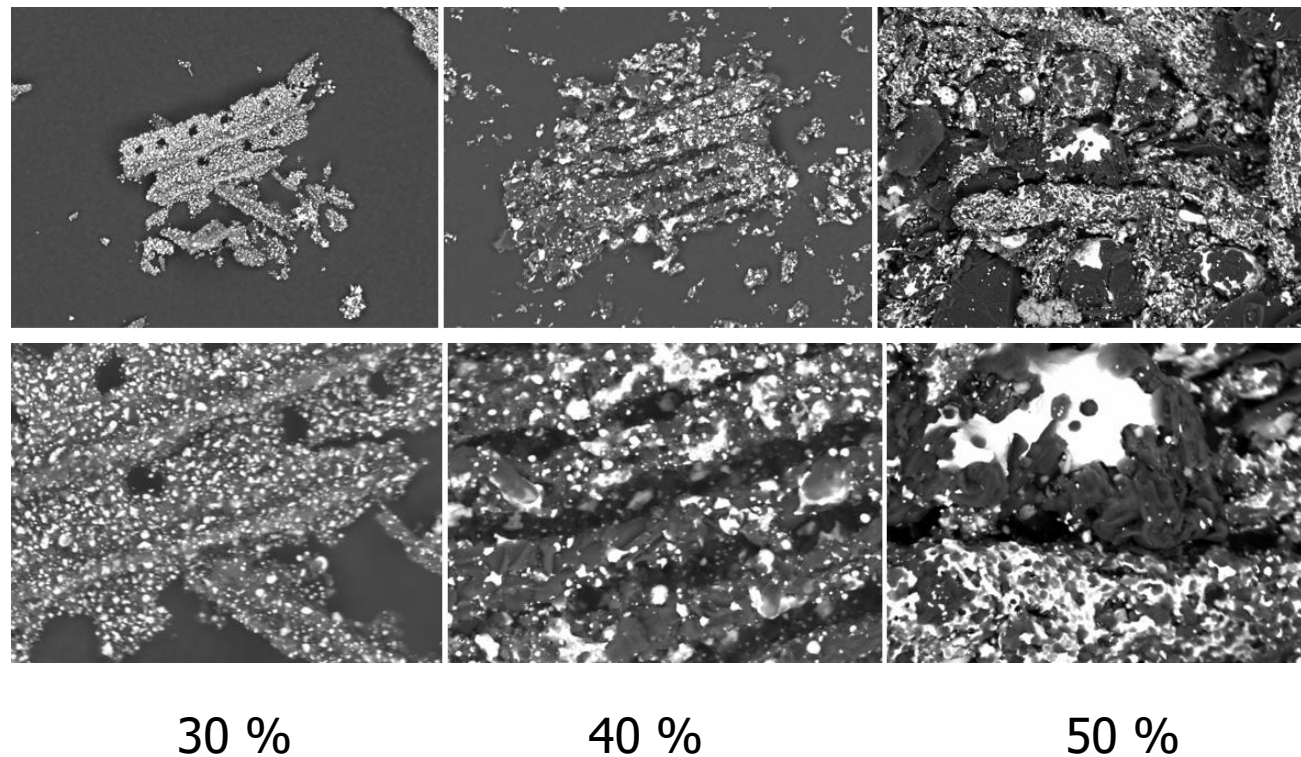


VTT



Katalyytin määrä

- 30 wt% Fe
 - tasainen dispersio
 - yhtenäinen rakenne
- 40–50 wt% Fe
 - Fe-klusterien muodostuminen
 - agglomeroituminen lisääntyy
 - epähomogeeninen rakenne
- 30 wt% Fe tuotti parhaan rakenteellisen laadun
- Paras tasapaino järjestäytymisen ja dispersion välillä



Euroopan unionin
osarahoittama

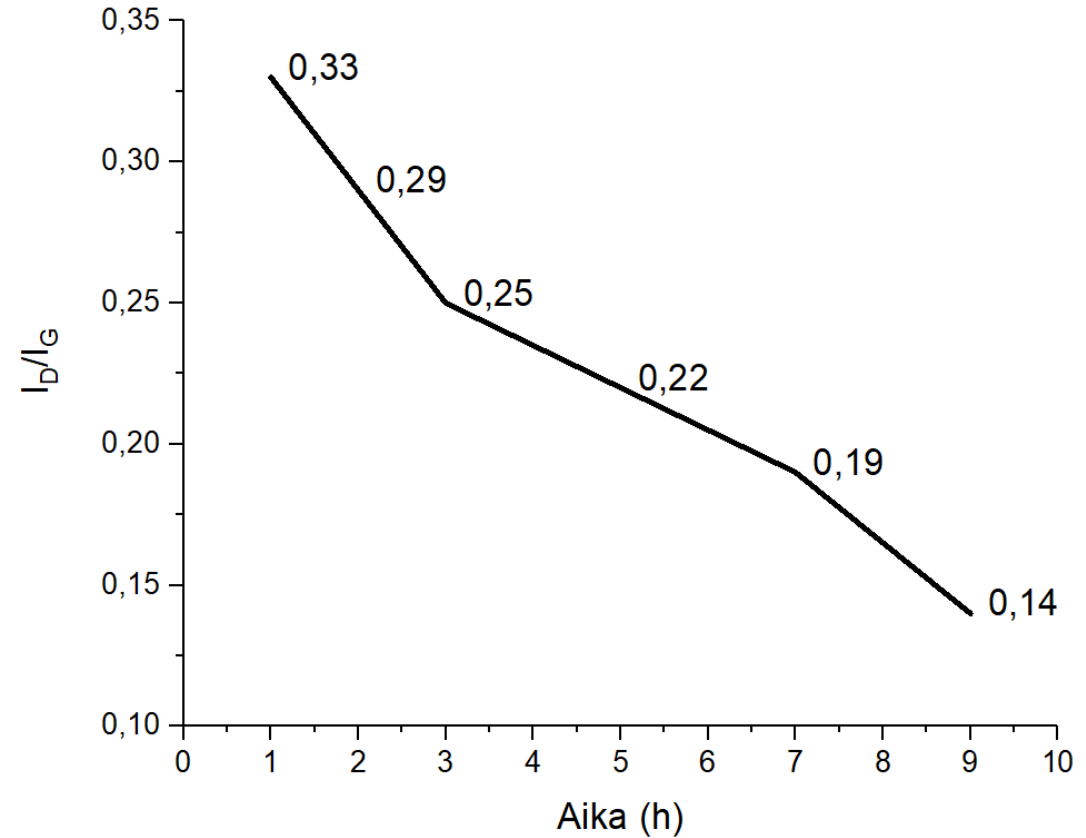


VTT



Lämmitysaika

- Lämmitysaajalla on merkittävä vaikutus tuotteen laatuun
 - Pidempi lämmitysaika edistää grafitisoitumista
 - Suurin muutos tapahtui 0-3 tunnin aikana
- Tämän jälkeen grafitisoittuminen hidastui



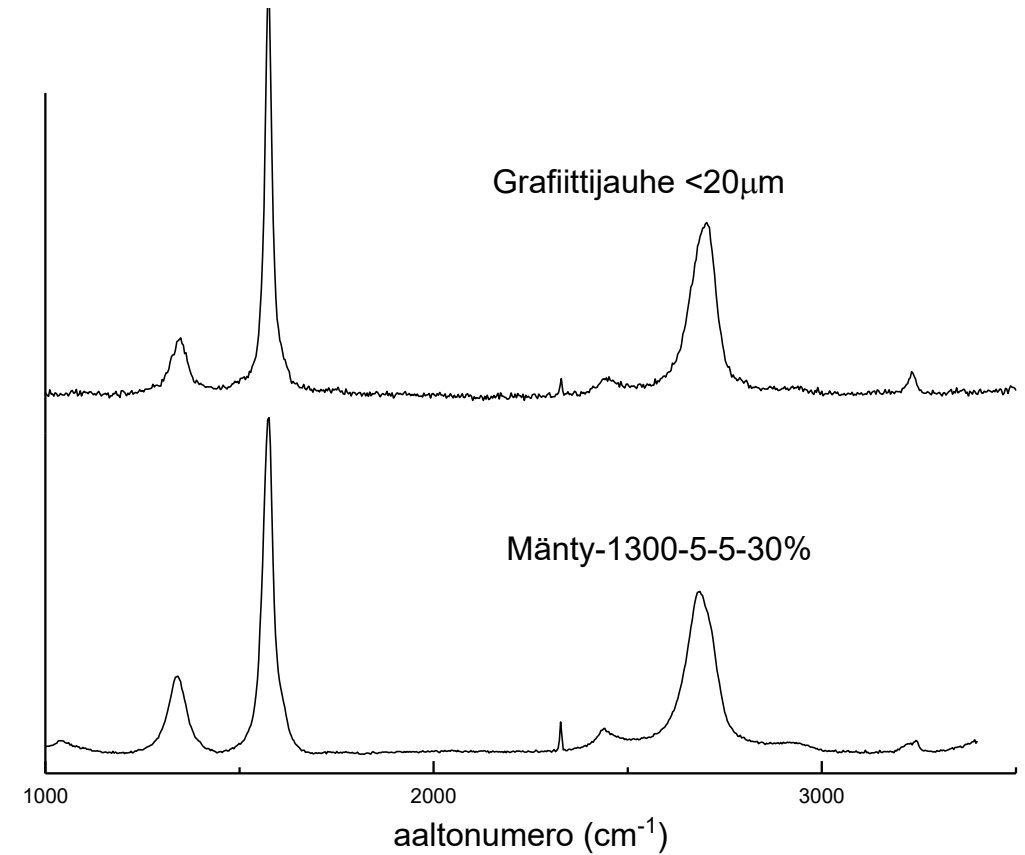
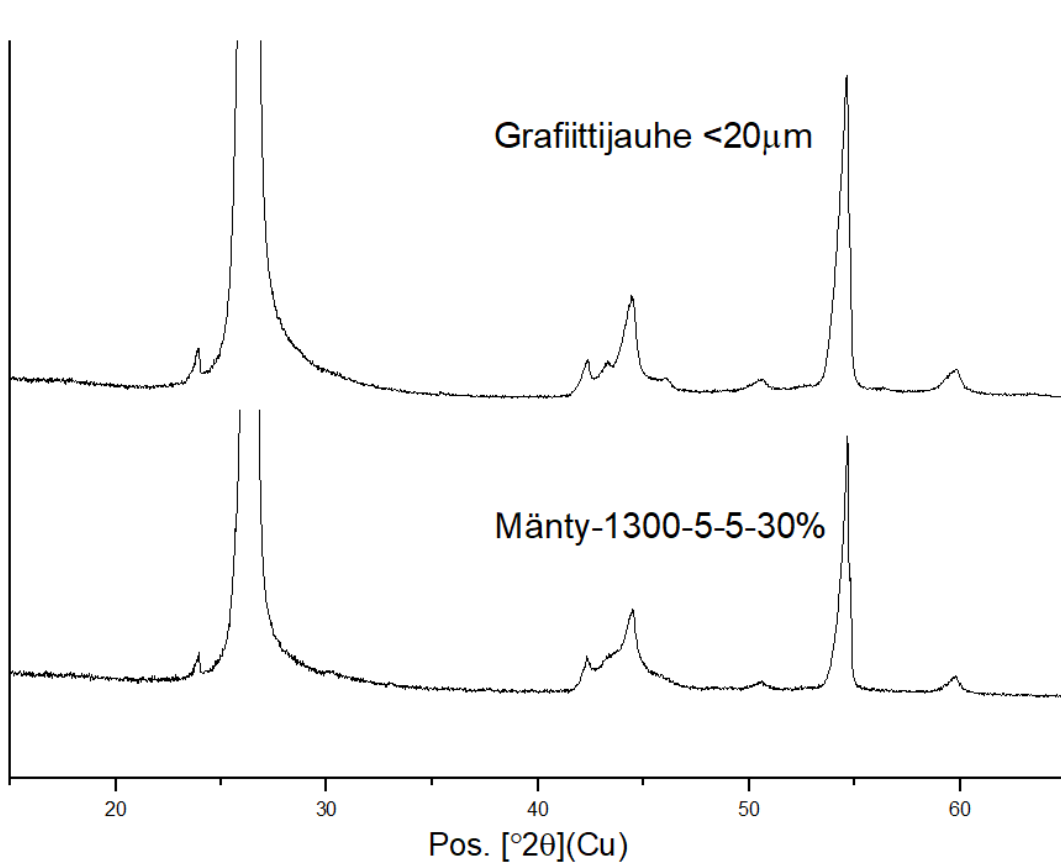
Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Vertailu kaupallisen grafiittijauheen kanssa



Euroopan unionin
osarahoittama

Optimiolosuhteet grafiitin valmistukseen

- Pyrolysointilämpötila: 1300 °C
- Pyrolysointiaika: 9 h
- Katalyytin pitoisuus 30 %

Sahanpuruja vertailtaessa paras grafiitin laatu saavutettiin koivusahanpurulla. Grafiitin laatu analysointiin röntgendiffraktion ja Raman-spektroskopian avulla. Näillä analyysitekniikoilla määritettiin valmistetusta grafiitista sen I_D/I_G -suhde, La-parametri ja d002 parametri. Pienempi I_D/I_G -suhde tarkoittaa suurempaa grafiitin osuutta materiaalissa. La kuvaa järjestäytyneen grafiitin johtavan tason suuntaista kristalliittikokoa. d002 puolestaan kuvaa grafiitin järjestäytyneisyyttä. Mitä pienempi luku sitä parempi järjestäytyneisyys.

Puulaji	ID/IG	La (nm)	d002 (Å)
Mänty	0,14	133	3,35657
Kuusi	0,13	144,98	3,35604
Koivu	0,08	251,46	3,35467
Luonnongrafiitti	0,01 – 0,05	100 – 800	3,3541 – 3,3545
<u>Elektrodivaatimukset</u>	0,05-0,10	>100	ideal 3.354



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Grafiitti/polymeeri-komposiittielektrorien valmistus 3D-tulostuksen avulla

- 3D-tulostusta testattiin kaupallisella grafiittijauheella (10–50 w-%)
- Grafiittipitoisuuden oltava <40 w-%
- Kappaleita tulostettiin eri polymeeri materiaaleilla
 - PS (polystyreeni)
 - PA12 (polyamidi 12)
 - TPU (termoplastinen polyuretaani)



Euroopan unionin
osarahoittama



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

VTT

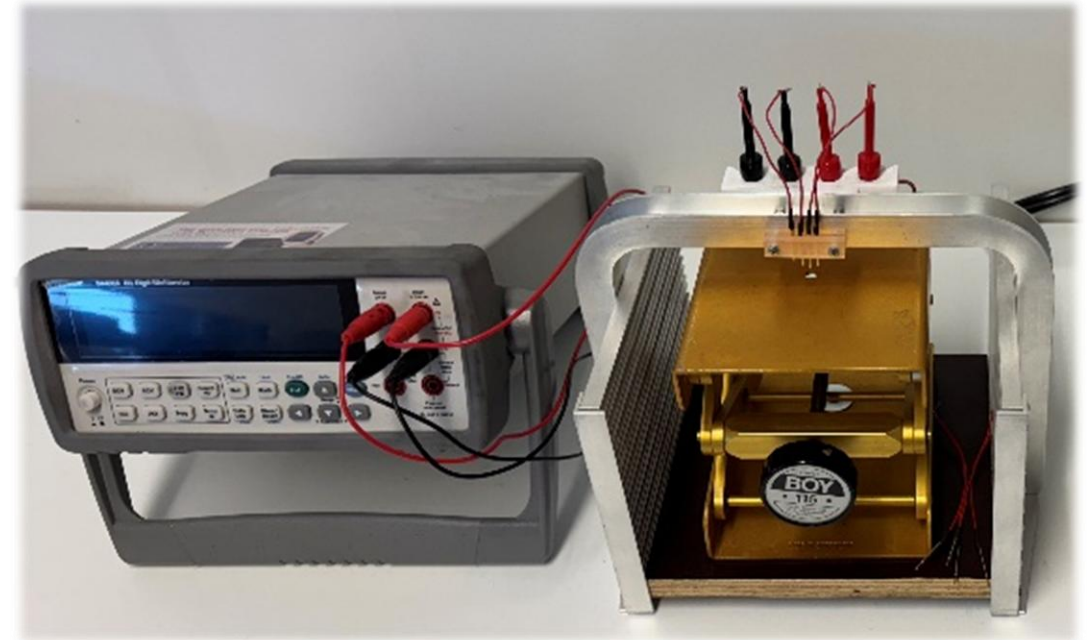


Keski-Suomen liitto

Resistanssimittaukset

Näyte	Resistanssi (Ω)
Grafiittihuopa	0,12
PS + Grafiitti 30 %	1460
PS + Grafiitti 40 %	900
PA12 + Grafiitti 30 %	2100
PA12 + Grafiitti 40 %	874
TPU + Grafiitti 30 %	1700
TPU + Grafiitti 40 %	1220

- Suurempi grafiittipitoisuus pienensi resistanssia
- Tulostettujen kappaleiden johtavuus ei vielä riitä virtausakkuovelluksiin



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Yhteenveto tuloksista

- Menetelmän kehitys biografiitin valmistukseen onnistui erinomaisesti
 - Työ antoi kattavan kuvan eri puulajien vaikutuksesta grafiitin muodostumiseen
 - Koivu (hardwood) tuotti laadukkainta biografiittia
- Elektrodien valmistus 3D-tulostuksen avulla
 - Grafiitti/polymeeri-komposiittielektrodien tulostaminen onnistui, mutta johtavuus tulosteissa jäi huomattavasti alle tavoitteiden. Lisää kehitystyötä vaaditaan, jotta menetelmää voidaan käyttää elektrodien valmistuksessa.
 - Puristustekniikalla valmistetut grafiitti/CMC-komposiitti elektrodit onnistuivat paremmin.



Euroopan unionin
osarahoittama



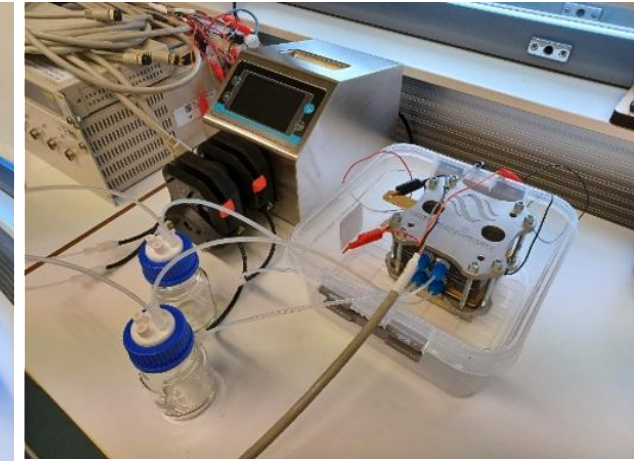
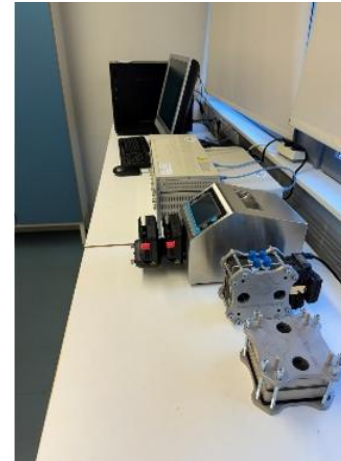
VTT



Virtausakkujen tekninen optimointi

Tavoitteena

- Investointihankkeessa ostetun vanadiini-pohjaisen virtausakkutestilaitteiston asennus, käyttöönotto ja optimointi hyödyntäen osahankkeessa kehitettyjä hiielelektrodeja sekä fluoripitoisia Nafion-kalvoja korvaavia MOF-materiaaleihin perustuvia biopohjaisia kalvoja.
- Hankkeessa optimoitiin myös kennossa käytettävän rikkihappopohjaisen elektrolyytin valmistusta.
- Aluksi valmistettiin liuos, jossa vanadiini oli hapetusluvulla 5 (V^{5+}), joka sitten pelkistettiin kemiallisesti hapetusluvulle 4 tai virtausakkuun soveltuvan elektrolyytin muodollinen hapetusluvut 3.5 saatiin yhdistämällä 1:1 suhteessa V^{4+} ja V^{3+} hapetusluvun omaavat liuokset.



Kuvassa. Redox Flow:n valmistama vanadiini- virtausakkutestijärjestelmä.



Eri hapetusasteilla olevia elektrolyyttiliuoksia (Vasemmalta vanadiinin hapetusluvut 3.5, 4 ja 3).



Euroopan unionin
osarahoittama



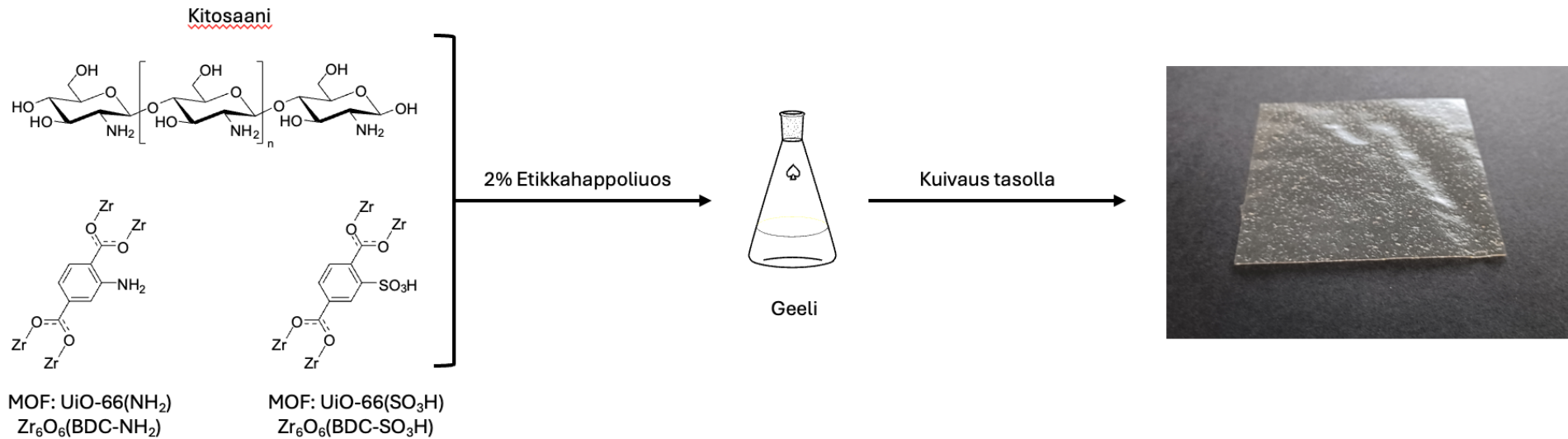
VTT



Virtausakkujen tekninen optimointi

Virtausakun kennopuoliskot erotetaan protoniselektiivisellä kalvolla. Hankkeessa tavoitteena oli kehittää fluoripitoiselle kaupalliselle Nafion-kalvolle korvaaja.

Kehitetty kalvo perustui metalliorgaanisiin (MOF) yksiköihin, jotka edesauttoivat protonien siirtymistä kalvon toiselle puolelle. MOF yksiköt integroitiin kalvoon yhdistämällä ne ensin kitosaanigeeliin, joka kuivuessaan tasaisella alustalla muodosti ohuen kalvon.



MOF-kitosaani-ioninvaihtokalvon valmistusvaiheet.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



6. Monistettavuus ja liiketoimintamahdollisuudet Keski-Suomessa



**Euroopan unionin
osarahoittama**



Monistettavuus ja liiketoimintamahdollisuudet Keski-Suomessa

- Turvetuotantoalueilla kasvatettujen biomassojen mahdollisuudet hiilen lähteinä (Jyrki Raitila, VTT)
- Polttolaitosten sähköistysratkaisun monistettavuus ja vaikutukset Keski-Suomen ja Suomen leijuihin (Timo Leino, VTT)
- Akuston soveltuvuus energiavarastona ja käyttökohteet Keski-Suomessa (Mikko Hongisto, VTT)
- Kasvaneen jouston vaikutukset tuuli- ja aurinkovoiman kannattavuuteen (Tomi Thomasson, VTT)



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Turvetuotantoalueilla kasvatettujen biomassojen mahdollisuudet hiilen lähteinä

Päätelmät

- Pajuviljelmää ei ole Keski-Suomessa ollenkaan
 - Haasteellinen ja kallis, viljelmien yleistyminen ei näköpiirissä
- 2000-luvun ruokohelpiviljelmät ajettiin alas
 - Vapautuvilla turvetuotantoaloilla olisi jonkin verran potentiaalia, mutta edellyttää markkinoita ja näkymää tulevaisuudesta
- Todellinen potentiaali on metsäteollisuuden sivutuotteilla, etenkin ligniinillä
 - Ligniiniä ei kuitenkaan vielä eroteta vaan se menee polttoon (Äänekoskella suunnitteilla koelaitos)
 - Sahanpurusta kilpailu energialaitosten ja pelletin tuotannon kanssa



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Polttolaitosten sähköistysratkaisun monistettavuus ja vaikutukset Keski-Suomen ja Suomen leijuihin

- Sähköistysratkaisu on lähinnä tarkoitettu CHP-laitoksille, joilla on tontilla olemassa jo tarvittava sähkönsiirtokapasiteetti.
- Kuumavesikattiloilla perinteinen elektrodikattila tai lämpöpumppuratkaisu on yleensä halvempi ja teknisesti yksinkertaisempi ratkaisu. Näiden lämpöpintojen lämpötilat ovat huomattavasti alhaisemmat mitä voimalaitoskattilassa, jolloin kuormanmuutoksien vaikutuksetkaan eivät ole niin suuria. Lisäksi sähköä ei yleensä ole saatavilla tarvittavia määriä.
- Suomessa energiayhtiöt ovat investoineet merkittävästi sähkökattiloihin; uutta kapasiteettia on rakennettu Suomeen noin 3000 MW.

Tarkastellun konseptin monistettavuutta ja vaikutuksia Suomeen ei arvioitu tässä projektissa. Ratkaisun kannattavuus riippuu voimakkaasti järjestelmäkohtaisista tekijöistä, kuten olemassa olevista laitoksista. Keljonkankaan tapaustutkimuksen perusteella lisähyöty voi jäädä rajalliseksi erityisesti järjestelmissä, joissa on jo käytössä erillinen sähkökattila ja mahdollinen lämpövarasto.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Virtausakun ja aurinkosähkön sovellettavuudesta Keski-Suomessa

- Toteutettu VTT:n PV-seinäasennuspaikka osoittautui haasteelliseksi: hankkeen aikana käytiin läpi kuitenkin **useita erilaisia asennustapavaihtoehtoja**
 - apuna käytettiin myös PV-GIS simulaatioita: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- Edullisimpia olisivat **laajat maa-asenteiset ratkaisumallit**:
 - **Horisontiltaan avarat** aktiivikäytöstä poistuneet alueet (pellot, ent.turvesuot ja teollisuusalueet) voisivat tulla kyseeseen.
 - Hiilijalanjäljen rinnalla olisi hyvä ottaa huomioon myös alueellisen muutoksen lämpövaikutus (säteilytase: valon absorptio pinnoilla sekä energian sitoutuminen biomassaan: rakentamisen **vaikutukset hiilinieluun.**)
 - Perustus-/maarakennustöiden kustannusten, asennusjärjestelmän materiaalien kulutuksen ja elinkaaren epäsuorien päästöjen minimointi samalla vahvistaen alueen hiilinielua ja biodiversiteettiä, miten? Puurakenteiden käyttömahdollisuudet?
 - Heijastukset jään ja lumen pinnasta olisi hyvä ottaa huomioon, **mitoitukset tapauskohtaisesti**: esim. pitkä itä-länsisuuntainen etelään suunnattu "**paneelihaasia**" 45-90 asteen kallistuksin (lumenpoiston ja heijastusten keruumahdollisuuksista riippuen) esim. pienialaisena pellon reunassa pohjoispuolisen tuulelta suojaavan metsän rajassa tai lähes vertikaalisten bi-facial paneelirivien käyttö avarilla paikoilla saattaisivat olla maatalousalueille sopivia asennustapoja perinteisten kattoasennusten lisäksi.
- Akustojen rakentaminen PJ-jakelumuuntamoiden (latvaverkkojen) yhteyteen voisi kasvattaa kohteeseen asennettavissa olevaa PV-kapasiteettia, mutta toisaalta hukkalämmön hyötykäyttömahdollisuudet tulisi myös ottaa huomioon kohteita valittaessa.
- Sähkövaraston sovellettavuus erilaisiin kriittisten järjestelmien sähkösaarekkeisiin ja esimerkiksi maatilojen dynaamisiin varavoimatarpeisiin edellyttäisivät lisätutkimusta ja -pilotointia.



Euroopan unionin
osarahoittama

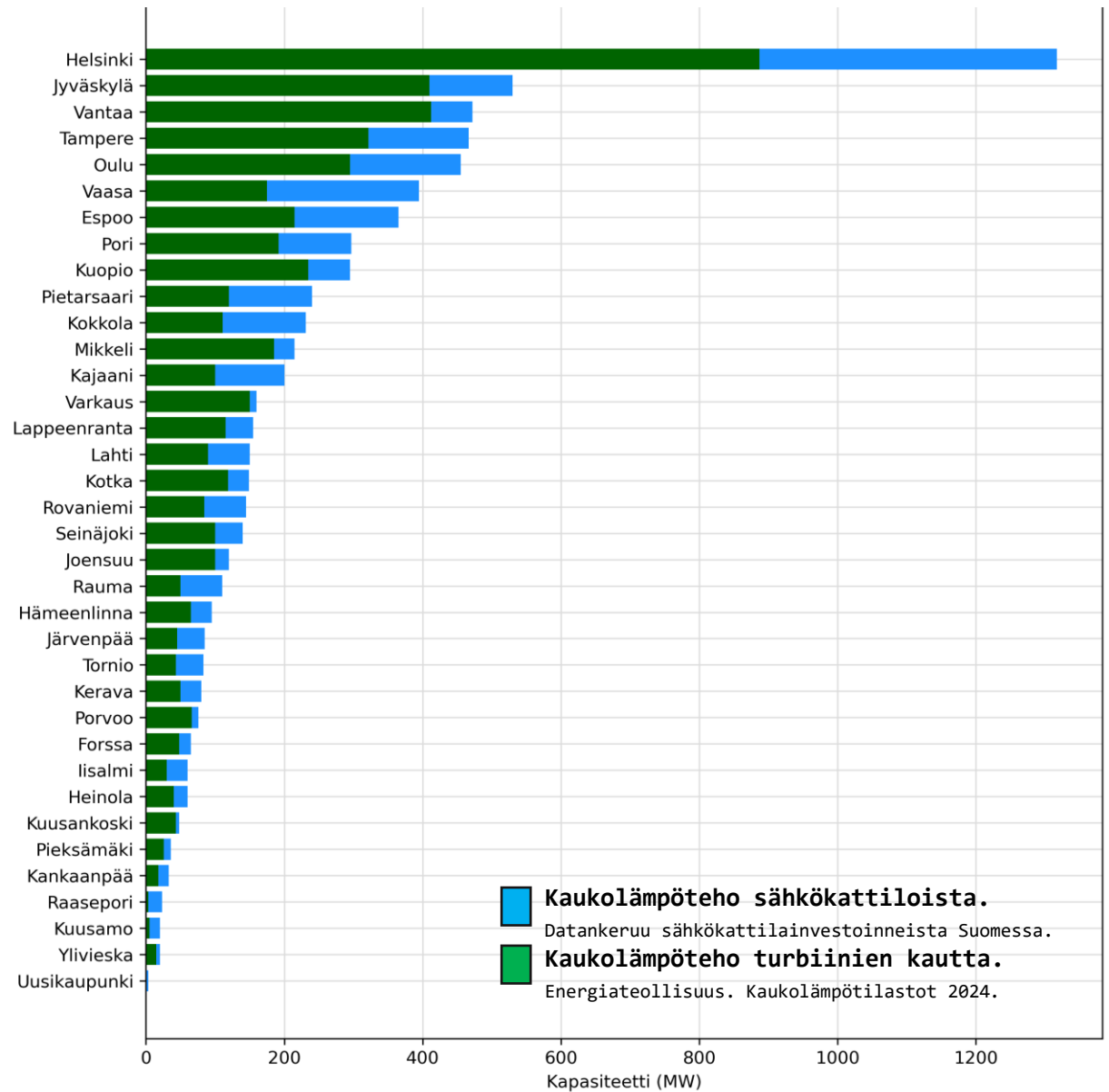


VTT



Kasvaneen jouston vaikutukset tuuli- ja aurinkovoiman kannattavuuteen

- **Sähkövastus.** Yksisuuntainen järjestelmävaikutus: kuluttaa sähköä halpoina tunteina, muttei suoraan muodosta itsenäistä joustoa. Kilpailee muun sähköistymisen kanssa (kuva) sekä on sidottu laskevaan CHP-laitosten käyttöön. Käyttöönotto jää todennäköisesti rajalliseksi.
- **Kalkkikierto.** Suurin arvo pitkäkestoisen ylitarjonnan hyödyntämisessä. Suomen potentiaali rajautuu paikallisiin teollisiin klustereihin, joten realistinen vaikutus ei ole GW-mittaluokassa. Maantieteellisesti keskittynyt.
- **Virtausakut.** Suurin suora potentiaali markkinajoustossa: eivät vaadi teollista ankkuria ja skaalautuvat parhaiten suuriin keskitettyihin sovelluksiin. Ilman kotimaista arvoketjua vaikutus voi jäädä rajalliseksi, koska kustannuskilpailukyky on yhä haaste ja toteutuvat suuret hankkeet perustuvat litiumioniakkuihin.



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



7. Tiedotus ja viestintä



Euroopan unionin
osarahoittama



BitKein www-sivut

<https://www.bitkein.fi/>

JY:n hankekortti

<https://www.jyu.fi/fi/hankkeet/bioresurssien-tehokkaampi-kaytto-energiavarastoina-ja-vihrean-siirtyma-mahdollistajana-bitkein>

Bioresurssien tehokkaampi käyttö
energiavarastoina ja vihreän
siirtymän mahdollistajana
– BitKein



Vihreän siirtymän keskiössä on sähköjärjestelmän muuttuminen vähäpäästöisempään suuntaan. Tuuli- ja aurinkovoiman kasvava määrä sähköverkossa voimistaa sähkön hinnan vaihtelua. Laajamittaisen ja riittävän nopean vihreän siirtymän edellytyksenä on, että sähköjärjestelmässä on myös energian varastointia ja vähäpäästöistä säättävää tuotantoa.

BitKein-hankkeessa keskitytään kolmeen suuren mittakaavan ratkaisuun sähköjärjestelmän säätämiseksi ja energian varastoimiseksi:

1. Rajallisten kestäväksi luokiteltujen biopolttoaineiden säästäminen polttolaitosten sähkökuumennuksella, kun sähkö on polttoainetta halvempaa
2. Kalsiumkarbonaatin sähköinen kalsinointi, kalkin ja hiilidioksidin varastointi ja uudelleen karbonointi
3. Suuriin ja paikalla pysyviin akkusovelluksiin hyvin sopivat virtausakut

Hankkeen päätavoite on ymmärtää tarkasteltavien suuren mittakaavan energian varastointiratkaisujen teknicaloudellinen kannattavuus. Hanke edistää kasvuhakuista ja uutta työllistävää liiketoimintaa sekä kansainvälistymistä niin suurten kuin pk-yritysten osalta.

Hankkeen tiedot:

- VTT:n ja Jyväskylän yliopiston ryhmähanke, päähankkeen toteuttaja on VTT
- Hankkeen toteutusaika: 1.9.2023 – 31.5.2026
- Kokonaisbudjetti: 1 548 786 €
- Keski-Suomen Liitto on myöntänyt hankkeelle EU-rahoitusta 1 152 362 €

Yritysrahoittajat:

Alva, FinnVolt, Elisa, Kainuun Voima, Kokkolan Energia, Kuopion Energia, Lahti Energia, Metsä Group, New Stars & Company, Savon Voima, Sumitomo, Sähkö-Äijät ja Vantaan Energia

ALVA

FINNVOLT

elisa

KUOPION
ENERGIA

LAHTI ENERGIA

NSC
New Stars & Company

SAVON VOIMA

KAINUUN VOIMA OY

KOKKOLAN ENERGIA
Karleby Energi

Metsä

Sumitomo
SHI-FW

SÄHKÖ-ÄIJÄT
TEOLLISUUS OY

vantaan
energia



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Projektiuutinen hankkeen käynnistymisestä julkaistiin VTT:n www- sivuilla 21.3.2024

https://www.vttresearch.com/fi/project_news/vtt-ja-jyvaskylan-yliopisto-panostavat-uusien-energianvarastointitapojen-tutkimukseen

VTT

ToimialatPalvelummeUutiset ja tarinatTietoa meistä

QFI

Etusivu > Project News > VTT ja Jyväskylän Yliopisto panostavat uusien energianvarastointitapojen tutkimukseen

VTT ja Jyväskylän Yliopisto panostavat uusien energianvarastointitapojen tutkimukseen

Projektiutiset🕒 21.03.2024 13:46





Eemeli Tsupari
Principal Scientist

BitKein - Bioresurssien tehokkaampi käyttö energiavarastoina ja vihreän siirtymän mahdollistajana -hanke on käynnistynyt syyskuussa VTT:n ja Jyväskylän Yliopiston toimesta. Hankkeessa tavoitellaan uusia ja taloudellisesti kannattavia keinoja vastata yleistyvään ja kasvavaan sähkön markkinahinnan vaihteluun. Kehitettävien ratkaisujen pitäisi laskea sähkön keskihintaa markkinoilla, parantaa aurinko- ja tuulivoiman lisärakentamisen kannattavuutta sekä säästää hiilinieluja.

Vihreän siirtymän keskiössä on sähköjärjestelmän muuttuminen vähäpäästöisempään suuntaan. Tuuli- ja aurinkovoiman kasvava määrä sähköverkossa voimistaa sähkön hinnan vaihtelua. Laajamittaisen ja riittävän



Euroopan unionin
osarahoittama



VTT



Julkaistut BitKein blogitekstit

Virtausakut – Johtavan hiilen valmistus biomassasta

Aurinko- ja tuulivoimaloiden määrät ovat kasvaneet voimakkaasti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Kuitenkin näiden uusiutuvien energiamuotojen ongelmana on alusta asti ollut niiden vaihteleva sähkön tuotto. Aurinkoisina ja tuulisina päivinä syntyy hyvinkin paljon energiaa, mutta pilvisinä ja tuulettomina päivinä energiantuotanto jää vähäiseksi. Jotta uusiutuvia energiamuotoja voitaisiin hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, on tärkeää pystyä varastoimaan niiden tuottama energia. Varastoinnin avulla voidaan verkon kuormitusta siirtää verkon kiireisimmiltä huipputunneilta vähemmän kuormittaviin aikoihin. Toisaalta varastoinnin avulla voidaan tasoittaa vaihteluita sähköntuotannossa. Virtausakut tarjoavat yhden potentiaalisen vaihtoehdon uusiutuvan energian varastointiin. Virtausakkujen skaalautuvuuden ansiosta ne soveltuvat hyvin myös suurten energiamäärien varastointiin.

Virtausakkujen anodimateriaalina käytetään yleisimmin grafiittia, joka on nykyisin luokiteltu kriittiseksi materiaaliksi sekä EU:ssa että Yhdysvalloissa. Tämän vuoksi on äärimmäisen tärkeää kehittää uusia, ympäristöystävällisiä ja edullisia sähköä johtavia hiilipohjaisia materiaaleja, joilla on kestäviä ja skaalautuvia synteesi- ja valmistusprosesseja. Hiilipohjaiset anodimateriaalit, jotka ovat peräisin biomassaresursseista, ovat herättäneet suurta kiinnostusta niiden helpon käsittelyn, myrkyttömyyden sekä biomassaresurssien maailmanlaajuisen saatavuuden ja runsauden vuoksi.

Anodimateriaaliksi soveltuvaa johtavaa hiiltä voidaan valmistaa biomassasta pyrolyysin avulla. Pyrolyysi on prosessi, jossa orgaanisia materiaaleja kuumennetaan hapettomasti. Pyrolyysissä käytettävä lämpötila, kaasukehä, lämmitysaika ja -nopeus vaikuttavat merkittävästi lopputuotteisiin. Hitaalla lämmityksellä pyrolyysiprosessi tuottaa tyypillisesti korkeimman kiinteiden aineiden saannon. Biomassan pyrolyysin aikana tapahtuu samanaikaisesti ja peräkkäin suuri määrä reaktioita, mukaan lukien dehydraatio, depolymerisaatio, isomerisaatio, aromatisoituminen, dekarboksylaatio ja hiilen muodostus.

Perinteisessä grafitoinnissa käytetään fossiilisista raaka-aineista peräisin olevaa hiilipitoista materiaalia, kuten hiiltä, öljyä ja raskasta öljyä. Lähtömateriaalit sekoitetaan, jauhetaan sekä esikäsittellään useilla erilaisilla mekaanisilla prosesseilla. Tämän jälkeen hiilipitoiset materiaalit karbonoidaan 700–1200 °C lämpötilassa. Tässä vaiheessa orgaaniset yhdisteet hajoavat ja hiilestä alkaa muodostua karkeasti pinoutunutta grafiittimaista rakennetta. Lähes täydellinen grafiittimainen rakenne saavutetaan nostamalla lämpötilaa edelleen 2750 °C:een inertissä atmosfäärissä. Halutut rakennemuutokset vaativat jopa päivän mittaisen käsittelyn korkeassa lämpötilassa, mikä kuluttaa runsaasti energiaa.

<https://www.bitkein.fi/virtausakut-johtavan-hiilen-valmistus-biomassasta/>

Kesäpäivän seisauspäivänä torstaina 20. kesäkuuta 2024 päivä on pisimmillään. Seisauspäivänä Helsingissä päivän pituus on 18 tuntia 57 minuuttia ja Oulussakin 22 tuntia 4 minuuttia. Pohjoisimmassa Suomessa Aurinko ei laske lainkaan.

Akullisilla aurinkosähköjärjestelmillä voidaan turvata kiinteistöjen kriittisten järjestelmien toimintaa, parantaa omavaraisuutta ja toimia joustavasti sähkömarkkinoilla

Kiinteistöjen ja niiden kriittisten osajärjestelmien sähköomavaraisuutta ja toimintavarmuutta sähkökatkotilanteiden varalle on mahdollista parantaa hyödyntämällä paikallista aurinkoenergiaa ja ottamalla käyttöön akullisia millisekunneissa saarekekäyttöön siirtyviä ja automaattisesti takaisin verkkoon tahdistuvia häiriöttömän sähkönsyötön mahdollistavia aurinkosähköhybridejä. Haasteena ovat kuitenkin edelleen akustojen kustannukset, tarvittavien järjestelmien häviöt ja osin tuntemattomat elinkaaren ympäristövaikutukset. Hybridi-inverterilaitteistojen hinnat ovat noin 2–3 kertaisia tavanomaisiin verkkoinverttereihin verrattuna ja lisäksi tarvitaan sopivan kokoinen ja arvokas akkujärjestelmä.

Aurinkosähköjärjestelmäinvestointien kannattavuus parantui paljon vuonna 2022 poikkeuksellisesti kohonneiden sähkön markkinahintojen vuoksi. Vuonna 2023 tuotot jäivät jo pienemmiksi ja tänä vuonna tilanne on muuttunut paljon: aurinkosähkö näyttää jo painavan aurinkoisten viikonloppupäivien tuntiintojakin alaspäin ja negatiivisten tuntiintojen tilanteita on koettu aiempaa enemmän. Ylijäämäenergian verkkoon myynnistä ja alijäämän hankinnasta voi nykyäänkin saada tuottoja läpi vuoden erityisesti, jos järjestelmässä on sopivan kokoinen energiavarasto ja ohjauskyky.

Ohjattu ja mahdollisuuksien mukaan optimoitu verkkovuorovaikutus (verkosta otto ja anto) parantaa akullisten omatuotantoinvestointien kannattavuutta ja voi pienentää kuluttaja-tuottajan nettosähkölaskua koko kesäkauden tai mitoituksista riippuen jopa 8 kk:n ajan Suomenkin olosuhteissa, varsinkin – jos helmikuisten hankien heijastukset osataan hyödyntää.

<https://www.bitkein.fi/akulliset-aurinkosahkojarjestelmat/>



**Euroopan unionin
osarahoittama**



VTT



Julkaistut BitKein blogitekstit

Biomassan hyödyntäminen johtavan hiilen valmistuksessa

Edellisessä blogikirjoituksessa käsitelimme syitä uusiutuvan energian varastoinnin tärkeydelle sekä virtausakkujen potentiaalista ratkaisua tähän haasteeseen. Erityisesti tarkastelimme, kuinka virtausakkujen anodimateriaalina käytettävät grafiittimateriaalit ovat keskeisiä mutta myös haasteellisia, koska niiden valmistus perustuu yleensä fossiilisiin raaka-aineisiin. Biomassan hyödyntäminen johtavan hiilen tuotannossa tarjoaa huomattavia etuja, erityisesti vähentämällä riippuvuutta fossiilisista raaka-aineista, kuten kivihiilestä ja öljystä, jotka perinteisesti ovat olleet grafiitin tuotannon perusta.

BitKein-projektin puitteissa on ja tehty yhteistyötä Keski-Suomen sahojen kanssa etsittäessä soveliaita, helposti saatavilla olevia biomateriaaliilähteitä, jotka soveltuvat johtavan hiilen valmistukseen. Hanke on herättänyt kiinnostusta, ja olemme saaneet lähtömateriaalia anodien valmistukseen suoraan sahojen sivuvirroista. Tämä yhteistyö mahdollistaa paikallisten ja kierrätettävien raaka-aineiden hyödyntämisen materiaalityönteossa, mikä tukee kestävän kehityksen tavoitteita ja vähentää ympäristövaikutuksia.

Johtavan hiilen valmistus biomateriaaleista perustuu materiaalin hallittuun "hiiltämiseen" pyrolyysiksi kutsun menetelmän avulla. Lisäksi johtavan hiilen tehokas tuottaminen vaatii katalyytin käyttöä pyrolyysiprosessissa. Meidän tavoitteenamme on ollut etsiä mahdollisimman kustannus- ja energiatehokas prosessi, joten kehitystyössä on keskitytty pyrolyysiolosuhteiden kuten pyrolyysilämpötilan, pyrolyysiajan ja katalyytin määrän optimointiin. Tavoitteenamme oli löytää optimaaliset prosessiparametrit, jotka tuottavat parhaiten soveltuvia materiaaleja virtausakkuihin. Pyrolyysituotteet analysoitiin Röntgendiffraktiolla (XRD) ja Raman-spektrometrillä, joiden avulla saatiin arvokasta tietoa siitä, miten eri olosuhteet vaikuttavat materiaalin rakenteeseen ja sähköisiin ominaisuuksiin.

Tähän mennessä saadut tulokset ovat erittäin lupaavia ja tarjoavat vahvan pohjan jatkotutkimuksille. Optimoinnin avulla voimme odottaa saavuttavamme entistä parempia tuloksia ja valmistavamme materiaaleja, jotka täyttävät virtausakkujen vaatimukset niin suorituskyvyn kuin kestävyysnäkökulmasta. Seuraavassa tutkimusvaiheessa keskitymme parametrien hienosäätöön, jotta voimme parantaa materiaalien laatua ja valmistusprosessin tehokkuutta.

<https://www.bitkein.fi/biomassan-hyodyntaminen-johtavan-hiilen-valmistuksessa/>

CHP-laitosten sähköistäminen

- ratkaisu energialähteen joustoon ja vihreään siirtymään?

Vuonna 2024 tuulivoima nousi Suomen toiseksi suurimmaksi sähköntuotantomuodoksi ohi vesivoiman. Tuulivoiman osuus kasvoi 24 prosenttiin sähkönkulutuksesta, kun se oli 10 % vielä vuonna 2020. Kasvu on ja tulee olemaan jatkossakin nopeaa. Tuulivoiman nopeaa kasvua on myös pitkälti kiittäminen siitä, että Suomi on sähkön suhteen lähes omavarainen.

Ydinvoimalla ja teollisuuden yhteistuotantolaitoksilla (CHP, Combined Heat and Power) tuotetaan vakiona pysyvää peruskuormaa sähköverkkoon. Tuulivoiman kasvu tuo mukanaan haasteita: sähkön hinta vaihtelee rajusti tuotantomäärän mukaan. Aurinkovoiman määrän kasvaminen tulevina vuosina tuonee kesäpäiville vastaavia haasteita. Toisaalta se voi kompensoida joiltain osin tuulivoiman laskua ja sähkön kulutuksen kasvua päiväaikana. Sähkön akkuvaroitinta on myös rakenteilla, mutta näiden ajallinen säätökapasiteetti on vielä pieni. Vesivoiman rinnalle verkon säätövoimaksi ovat tulleet kaukolämpölaitokset.



Kaukolämpölaitoksilla on siis tärkeä rooli sähköverkon tasapainottajana. Kaukolämpöä tarvitaan enemmän, kun sää kylmenee ja samalla CHP-laitos tuottaa enemmän sähköä. Tuulettomina päivinä, jolloin sähkön hinta on korkea, kattilan kuormaa voidaan kasvattaa ja sähköntuotantoa lisätä mm. lauhdeperän omaavissa voimalaitoksissa. Lisäosa tuotetusta lämpötehosta joudutaan kuitenkin hukkaamaan järveen tai mereen apujäähdytyslaitteilla, mikä laskee kattilan kokonaishyötysuhdetta.

Suuri osa kaukolämpöyhtiöistä on investoinut sähkökattilaan sekä kaukolämpöakkuun, jotta voisivat tukea sähköverkkoa myös käyttämällä sähköä tarvittaessa. Kun tuulee, sähkö on usein halvempaa kuin esim. biomassalla, jolloin kaukolämpö kannattaa tuottaa sähköllä eikä polttamalla. Mikäli fossiilisten polttoaineiden käyttöä voidaan vähentää tilanteissa, missä kattilan lämpökuormaa korvataan sähkökattilan tuotannolla, koko laitoksen CO₂-päästöt alenevat. Säästetyn fossiilisen polttoaineen verran päästään lähemmäksi vuodelle 2035 asetettua CO₂-päästövähenemää.

<https://www.bitkein.fi/chp-laitosten-sahkoistaminen/>



**Euroopan unionin
osarahoittama**



VTT



Projektiuutinen hankkeen tuloksista julkaistiin VTT:n www-sivuilla 1.7.2026

https://www.vttresearch.com/fi/project_news/bitkein-hankkeessa-rakennettiin-tutkimusymparistoja-energiajarjestelman-sahkoistymisen



Toimialat

Palvelut

Tutkimusympäristöt

Uutiset

Ura

Tietoa meistä

Yhteystiedot

Hae sivustolta



Etusivu / Project News / BitKein-hankkeessa rakennettiin tutkimusympäristöjä energiajärjestelmän sähköistymisen tueksi

BitKein-hankkeessa rakennettiin tutkimusympäristöjä energiajärjestelmän sähköistymisen tueksi

Projektiutiset 01.07.2026



Timo Leino
Senior Scientist

Energiajärjestelmän murros vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavaksi edellyttää uusia ratkaisuja, joilla lämmöntuotantoon osallistuvia voimalaitoksia voidaan sähköistää ja uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua sähköä voidaan varastoida edullisemmin suuressakin mittakaavassa. VTT:n koordinoimassa BitKein-tutkimushankkeessa rakennettiin ainutlaatuisia tutkimusympäristöjä, joissa voimalaitoskattilaa lämmitetään sähkövastuksilla ja aurinkosähköä varastoidaan virtausakkuun. Tulokset osoittavat, että joustava sähkön hyödyntäminen voi vähentää polttoaineen käyttöä ja päästöjä sekä parantaa energiajärjestelmän joustavuutta ja omavaraisuutta.



Euroopan unionin
osarahoittama



8. Yhteenveto



Euroopan unionin
osarahoittama



Yhteenvedo hankkeesta

- Energiajärjestelmän murros vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavaksi edellyttää uusia joustavia ratkaisuja, joilla lämmöntuotantoon osallistuvia voimalaitoksia voidaan sähköistää ja uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua sähköä voidaan varastoida edullisemmin suuressakin mittakaavassa.
- VTT:n koordinoimassa ja Jyväskylän yliopiston osatoteuttamassa BitKein-hankkeessa tutkittiin bioresurssien tehokkaampaa hyödyntämistä energiavarastoina sekä ratkaisuja, joilla voidaan tukea lämmöntuotannon sähköistämistä, uusiutuvan sähkön varastointia ja sähköjärjestelmän joustavuutta.
- Hankkeessa rakennettiin Jyväskylään ainutlaatuisia tutkimusympäristöjä, joissa voidaan muun muassa lämmitetään leijukoelaitteistoa sähkövastuksilla ja varastoida aurinkosähköä virtausakkuun.
- Tulokset osoittavat, että joustava sähkön hyödyntäminen voi vähentää polttoaineen käyttöä ja polttoperäisiä hiilidioksidipäästöjä sekä parantaa energiajärjestelmän joustavuutta ja omavaraisuutta.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

VTT



KSL
Keski-Suomen liitto

Tutkimusraportti VTT-R-0433-26

Raportin laatijat:

Timo Leino, Tomi Thomasson, Juho Kauppinen, Juha Toukola, Mikko Hongisto,
Kirsi Korpijärvi, VTT

Matti Haukka, Manu Lahtinen, Aleksi Ahl ja Samu Forsblom, JY

www.bitkein.fi

etunimi.sukunimi@vtt.fi, www.vttresearch.com



Euroopan unionin
osarahoittama

