

Tehokkaampaa metaanintuotantoa mädätyksen vetyrikastuksella

Saija Rasi, Luke

Ville Svan, Jamk

Mikko Lappalainen, VTT

Kirsikka Kiviranta, VTT



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

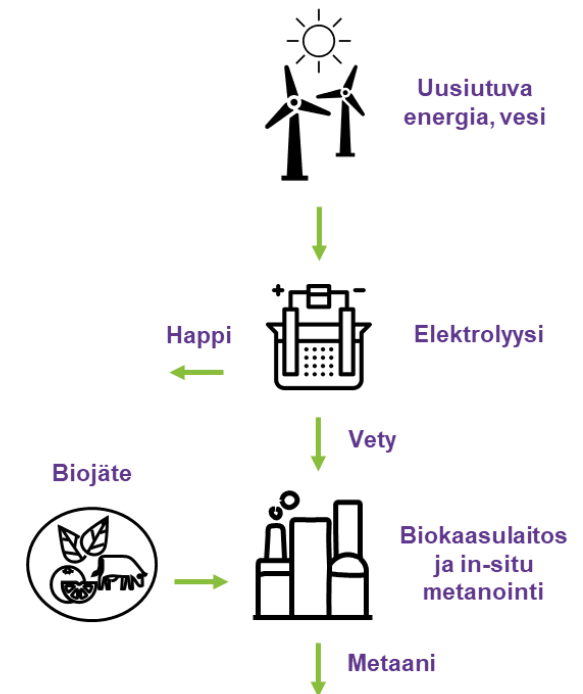
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vedyn in-situ metanointi

- Uusiutuvan sähköntuotannon lisääntyessä, energian erilaiset varastointiratkaisut tulevat entistä suurempaan rooliin
- Vedyn biologinen metanointi perustuu Sabatier – prosessiin
 - $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Biologisesta in-situ metanoinnista puhutaan, kun vetyä syötetään biokaasureaktoriin
 - Reaktorissa olevat metanogeenit hyödyntävät vedyn metaaniksi yhdessä prosesissa syntyvän hiilen kanssa
 - Ex-situ prosessista puhutaan, kun biologisessa prosessissa käsitellään vety- ja hiilidioksidi (tai – monoksidi) kaasua erikseen
- Prosessin tehokkuuteen vaikuttavat mm. vedyn osapaine, prosessin lämpötila sekä reaktorirakenne



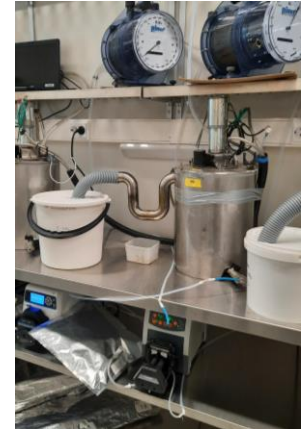
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



In-situ metanointi laboratoriomittakaavassa

- Kokeessa käytettiin jatkuvasekoitteisia reaktoreita (CSTR), joiden syötteenä erilliskerättyä biojätettä
 - Mesofiilinen ja termofiilinen lämpötila
 - HRT noin 20 päivää
 - Alhainen ORL jotta prosessi pysyisi tasaisena
- Vedyn syöttö testattiin erilaisilla parametreilla
 - Vedyn määrä 1:1 sekä 2:1 verrattuna CO₂ tuotantoon referenssi reaktorissa
 - Sekoitussuhteet 60/60 sekuntia (pois ja päällä), 30/60 sekä jatkuva sekoitus
- Lisäksi testattiin tuotetun kaasun kierrätystä prosessiin



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Tulokset laboratorikokeista

- Kaikilla parametreilla tuotettu metaanimäärä oli suurempi testireaktoreissa, kuin referenssissä
- Jatkuva sekoitus tehosti metanointia
- Kaasun kierrätystä testattiin lyhyellä kokeella
 - Vetypanoksen kulutuksessa kului 3 päivää
 - 1 ajo, 55% vedystä kulutettu, syöttöaika 8h
 - 2 ajo, 80% jäljellä olevasta vedystä kulutettu, syöttöaika 22h
 - 3 ajo, 100% jäljellä olevasta vedystä kulutettu, syöttöaika 22h

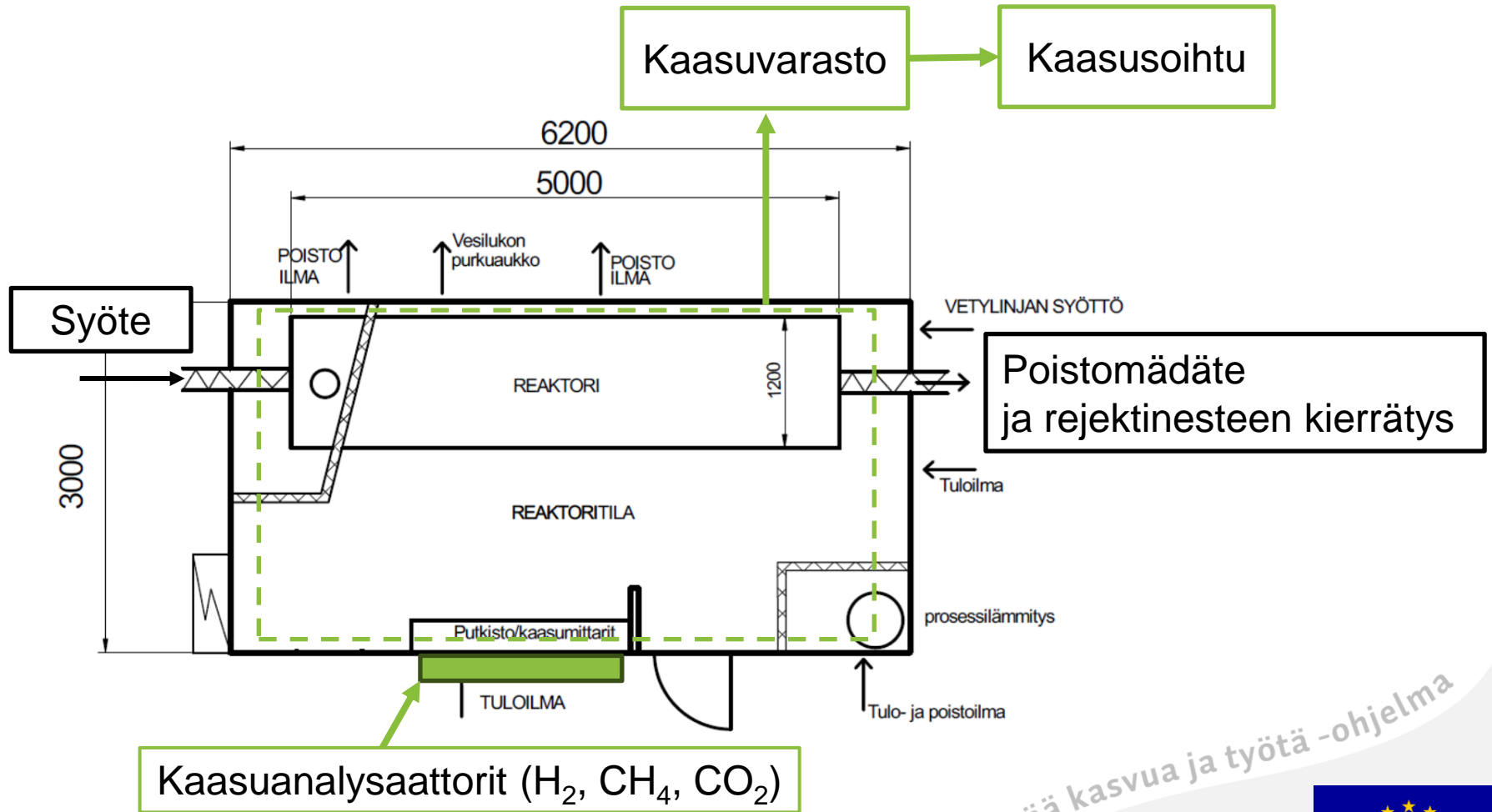


kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

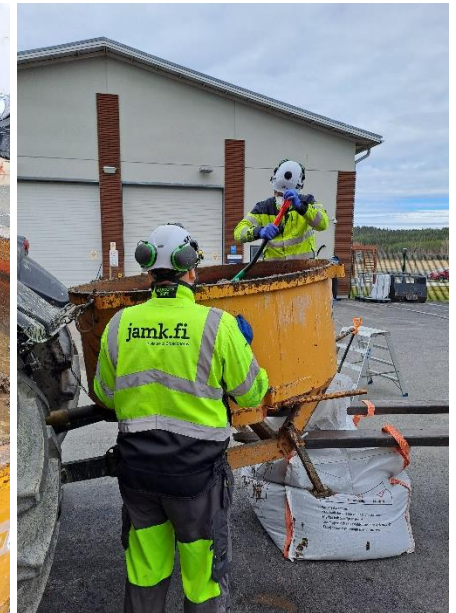
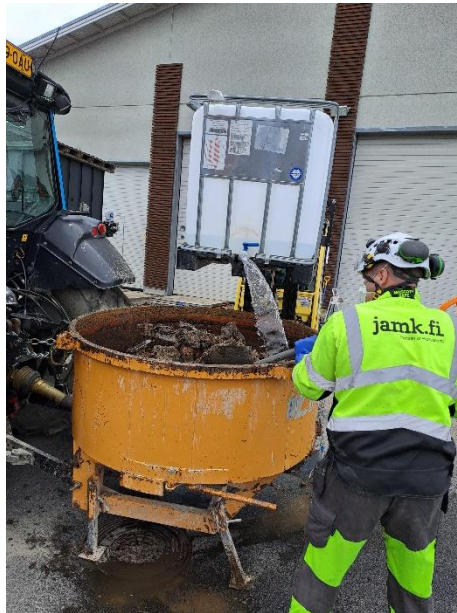


Biokaasureaktorin laitteistokaavio



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Syötteen valmistus



Erilliskerätty biojäte

TS = 30-35 %
VS = 25-28 %
pH = 4,00-4,30



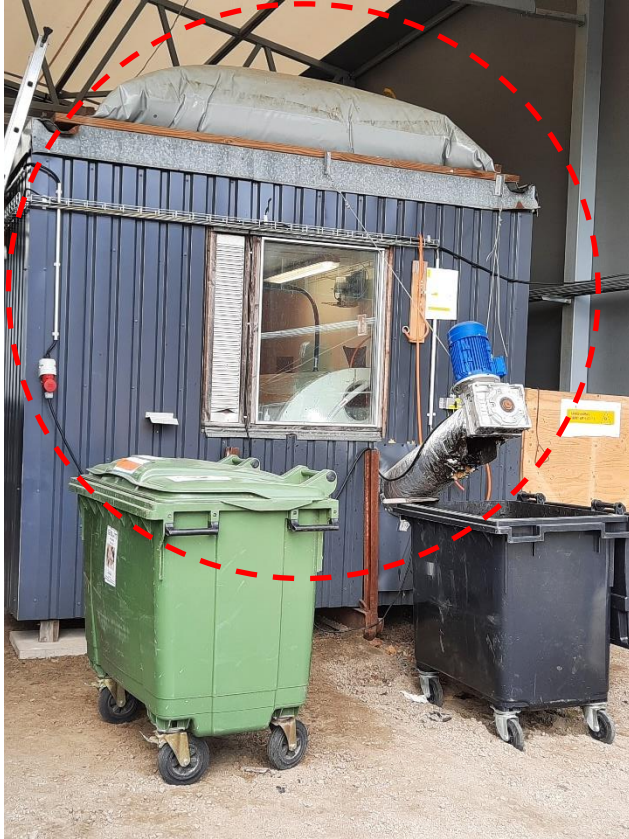
Valmiin syötteen
kuiva-ainepitoisuus n. 20 %

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Syöttölaitteisto



Räjähdyksivaaralliset alueet



Reaktori ja kaasuväkä



Kaasuanalysointilaitteet
(H₂, CH₄, CO₂)



Väkävarasto ja kaasuväkä

Mädätteen poisto



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Vetysyöttölaitteisto

- Tavoitteena oli rakentaa turvallinen, yksinkertainen (pienet investoinnit) ja etäohjattava vedynsyöttö bioreaktoriin. Haasteena oli saada vety hyödynnettyä metaaniksi mahdollisimman suurella konversiolla reaktorissa.



Syöttökammion valintaventtiilit



SIKA-R1 AX, AISI 316L
sintteri



Reaktorin sisään vedetyt
syöttölinjat

5.9.2023



3x magneettiventtiilit (Burkert) ja
massavirransäädin (Aalborg)

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

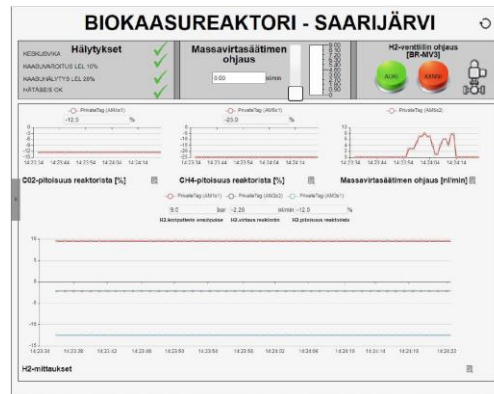
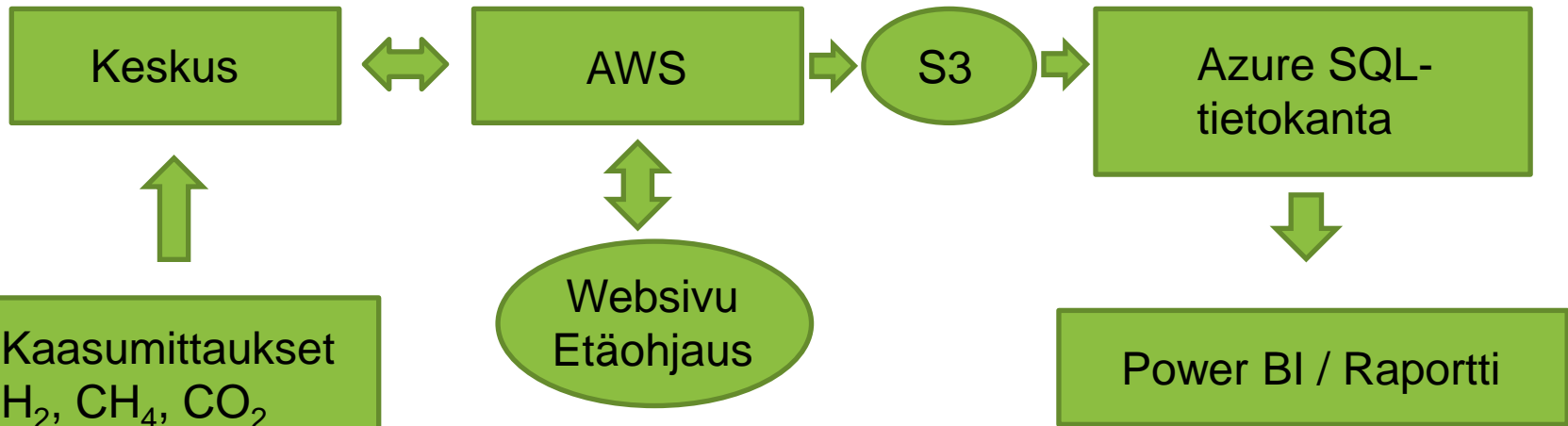
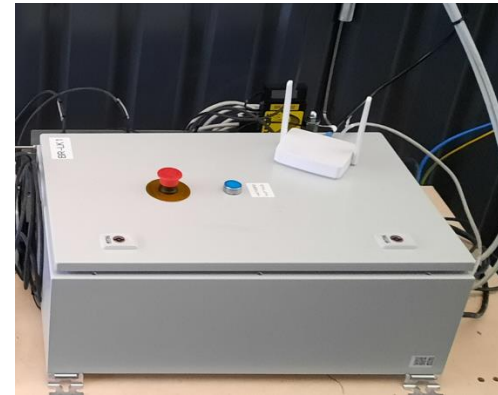
Kaasuanalysointorit

- Bluesens BCP sensorit H_2 , CO_2 ja CH_4 -kaasuille jatkuvatoimiseen analysointiin
- Jakotukkisysteemi eri reaktorin osioiden tuotekaasujen analysointiin
- Pilot-reaktorissa jo entuudestaan virtausmittarit eri kammiolle



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Turvallisuusautomaatio, etäohjaus ja datankeruu



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Havainnointia ja kokemuksia

- Syöttölaitteisto saatiin rakennettua yksinkertaiseksi ja turvalliseksi. Vedynsyötöstä ei aiheutunut hälytyksiä ja vuotoja ei ilmennyt. Myöskin yhteydet etäjärjestelmään pysyivät kunnossa ja datan keruu onnistui. Vety saatiin syötettyä halutulla tilavuusvirralla reaktoriin ja tuotekaasujen mittaus antoi tietoa prosessin tilasta.
- Suurempi määrä mittauksia helpottaisi prosessin seuranta ja vedynsyötön vaikutuksia. Etäohjausjärjestelmään lisättäviä mittauksia voisi olla esimerkiksi kammiokohtaiset painemittaukset, tuotekaasun virtausmittaukset, pH-mittaus, sekoittimen tilannetieto/ohjaus, sekä muut mädätteen syöttöön, poistoon ja koostumukseen liittyvät mittaukset.
- Automaattisen ohjauksen lisääminen vedyn syöttöön voisi olla hyödyllistä, sillä vedyn pulssittainen syöttö vaikuttaa potentiaalisestiärkevimmältä tavalta, mutta tällä hetkellä manuaalisesti tapahtuva ohjaus ei soveltunut kyseiseen ohjaukseen pitkällä aikavälillä. Myös lisämittauksista saatava tieto voisi ohjata syötettävän vedyn määrää automaattisesti ja ennakoivasti pitäen prosessin optimaalisessa tilassa.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Pilot -kokeiden tulokset

Keskimäärin 76 % teoreettisesta metaanintuottopotentialista, ilman että vedyn syöttöä huomioitu

Kokeen kesto	10	vko
Keskim. HRT	28	vrk
Keskim. ORL	4,7	kgVS/(m ³ vrk)
Keskim. syötteen TS	19	%
Kokeen kesto	2,5	HRT

NmLCH₄/gVS_{lisätty} (viikko keskiarvo)

H₂ syöttö L/vko

403	15
252	555
288	0
373	840
371	2250

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vetyrikastuksen kustannustarkastelut

- Vetyrikastuksen taloudellista kannattavuutta arvioidaan erilaisissa markkina- ja toimintaympäristössä
 - Vedyn avulla tuotetun ”lisä”biometaanin arvoa verrataan tuotantokustannuksiin
- Laskennassa otettiin huomioon kaksi eri kokoluokan biokaasulaitosta:
 - Suuri maatila
 - Kunnallinen biokaasulaitos
- Tässä esityksessä keskitytään **kunnallisen kokoluokan** biokaasulaitokseen

Parametri	
Raaka-aine (t/v)	Biojäte 14 000 + vesi 5 600 + mädätteen nestejäte 10 900
Raakabiokaasun tuotanto (m ³ /d)	6 650
CH ₄ -vol% (ennen metanointia)	60%
Tuotettu hiilidioksidi (tCO ₂ /a)	1 900
Biokaasulaitoksen lämmöntarve (MWh/a)	680

Laskennassa käytetyn esimerkkilaitoksen lähtödatat.



Hiilidioksidin ja vedyn konversio

- Laskennassa tuotekaasun CH₄-pitoisuuden oletetaan nousevan kohdelaitoksella 60 %:sta 80 %:iin, jolloin biokaasussa olevan **hiilidioksidin konversioasteeksi saadaan 50%**
 - Tässä yhteydessä konversioaste viittaa siihen, kuinka suuri osa hiilidioksidista muuntui metaaniksi
- Laskennassa hiilidioksidin metanointiin vaadittava vetymäärä laskettiin 4:1 H₂/CO₂ moolisuhteella perustuen Sabatier-reaktioon
- **Vedyn konversioasteeksi oletettiin 100%**, joka voisi olla mahdollista esim. kaasun kierrätyksen avulla
 - Käytännössä vedyn konversioasteeseen vaikuttaa moni tekijä, kuten biokaasun sekoitus ja vedyn syötön sykliittisyys
 - Kaasunkierron edellyttämä pumppausenergia ja investointi on arvioitu vähäiseksi suhteessa elektrolyytilaitteen investointiin ja sen tarvitsemaan energiaan, joten siksi vedynkierron kustannuksia ei ole huomioitu laskelmissa
- Oletetaan, että uutta investointia biokaasun jalostuslaitteistoon ei tarvitse tehdä, sillä vetyrikastusyksikkö integroidaan jo olemassa olevaan biokaasulaitokseen, jossa biokaasua jalostetaan biometaaniksi



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Elektrolyyseri ja sähkö

- Elektrolyysin kapasiteetti mitoitettiin niin, että se voi tuntitasolla tuottaa tarvittavan määrän vetyä hiilidioksidin metanointia varten
 - Arvioitu vuotuinen **elektrolyysin käyttöaika on 8000 tuntia**
- Sähkön hinta-arviossa hyödynnetään Suomen **vuoden 2021 spot-hintatietoja**
 - Huomioon otetaan myös sähkön siirron kustannukset ja verot
 - Koska sähkön spot-hinnat ovat vaihdelleet viime vuosina, lasketaan myös skenaario, jossa sähkön hintana käytetään vuoden 2020 keskiarvoa (24 €/MWh)
- Lasketaan myös skenaario, jossa elektrolyysiin saadaan **investointituki**
- Elektrolyysin lisäksi biometanointia varten tarvitaan vedynsyöttölinjasto elektrolyyseristä biokaasureaktoriin
 - Investointikustannus oletetaan pieneksi suhteessa elektrolyysin investointikustannukseen

Parametri	Arvo
Investointikustannus	1050 €/kW [2]
Lainan laskennallinen korkokanta	5%
Laitoksen pitoaika	20 vuotta
Skaalauskerroin	0.85
Elektrolyysin operointikustannus	50 €/(kg H ₂ /d)/a [1]
Elektrolyysin operointitunnit	8000 h/a
Elektrolyysin sähkökulutus	50 kWh/kgH ₂ [1]
Sähkön spot-hinta	57 €/MWh
Sähkön siirto ja verot	16 €/MWh
Veden hinta	1.7 €/t
Elektrolyysin investointituki	30%

Elektrolyysin ja sähkön kustannusparametrit lähtötilanteessa.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Elektrolyysin sivutuotteet

- Elektrolyysissä syntyy matalalämpötilaista (~60-70 °C) hukkalämpöä, joka voidaan mahdollisesti hyötykäyttää biokaasulaitoksella tai sitä ympäröivissä rakennuksissa
 - Hukkalämmön hyödyntämispotentiaali riippuu mm. laitosten lämmöntarpeen kausi- ja vuorokausivaihteluista ja muista lämmöntuotantotavoista
- Perustuen kunnallisen kokoluokan biokaasureaktorin lämmöntarpeeseen, **arvioidaan, että 75% tuotetusta hukkalämmöstä hyödynnetään** reaktorin lämmityksessä korvaten kaukolämpöä (80 €/MWh)
- Elektrolyysin sivutuotteena syntyy myös happea: arvoksi on oletettu 0€/t, sillä pienillä volyymeillä sille voi olla vaikea löytää ostajaa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biometaanin ja tiketin arvo

- Laskennassa oletetaan, että **biometaanin tuottaja myy kaiken tuotetun biometaanin liikennekäyttöön**
- Oletusarvona biometaanin pumppuhinnalle on käytetty nykyistä markkinahintaa 1.7 €/kg, alv. 24% (n. 126 €/MWh)
 - Pumppuhinnasta vähennetään arvonlisä- ja valmisteverot, jolloin biometaanin arvo tuottajalle on noin **85 €/MWh**
- Tikettikaupan osalta lasketaan skenaario, jossa **80% myydystä biometaanista voidaan myydä tiketteinä** muille toimijoille
 - Oletuksena on, että jakeluelvoite on 20%, jolloin biokaasun jakelija (tuottaja) täyttää 20%:lla omaa jakeluelvoitettaan
- Tiketin myyntihintana käytetään **60 €/MWh** perustuen Afryn (2020) arvioon tiketin hinnasta (60-65 €/MWh) [1]
 - Tiketin todellinen arvo riippuu tiketin myyjän ja ostajan kahdenvälisistä sopimuksista

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

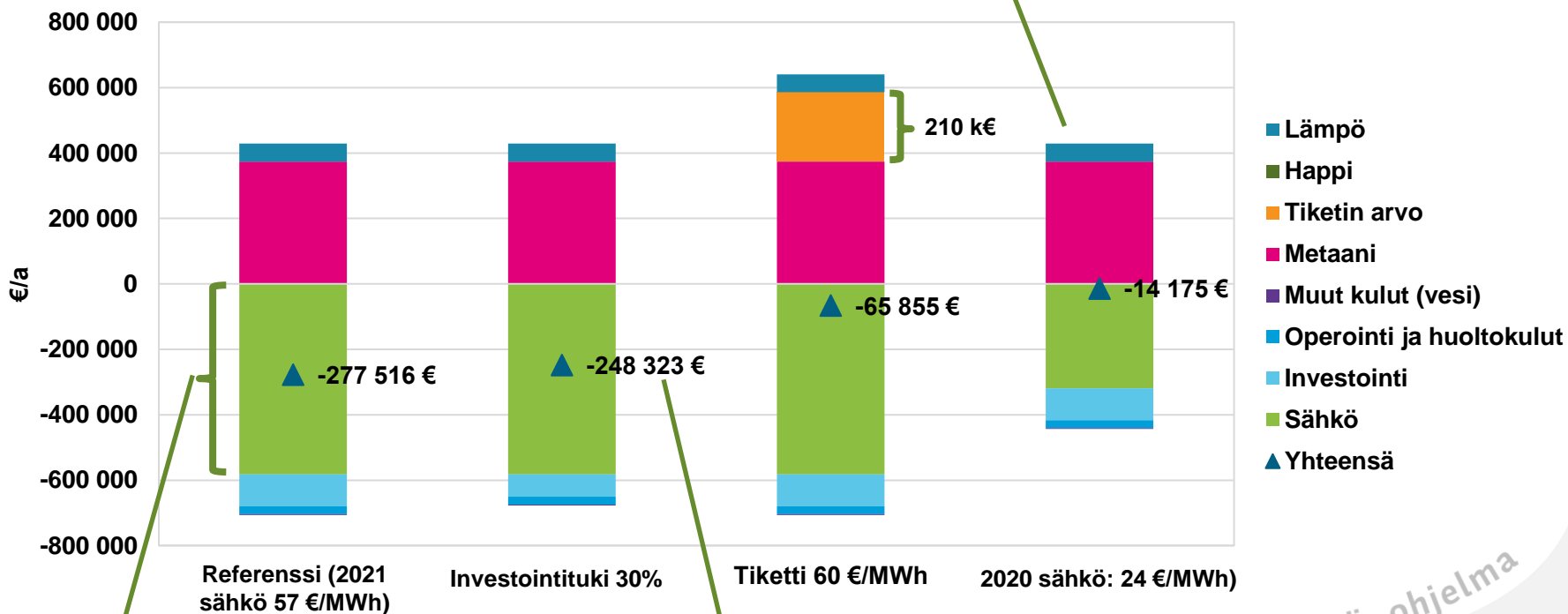


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kunnallinen biokaasulaitos: kustannusjakauma

Vuoden 2020 sähkön hinnalla kannattavuus paranee huomattavasti: mikäli tuloja saataisiin vielä tikkettikaupasta (+210 k€), kannattavuus paransi merkittävästi

Parametri	Arvo
Tuotettu lisämetaanin määrä	4 410 MWh/a
Elektrolyysin kapasiteetti	1 MW _e
Vedyn vuosituotanto (8 000h)	160 t/a
Elektrolyysin sähkönkulutus	8 000 MWh/a
Tuotettu hukkalämpö	910 MWh/a



Elektrolyysin tarvitsema sähkön on suurin yksittäinen kustannustekijä

Lähtöarvo-oletuksia käyttäen, vetyrikastus ei ole kannattavaa, vaikka elektrolyysilaitteisto saisi 30%:n tuen

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

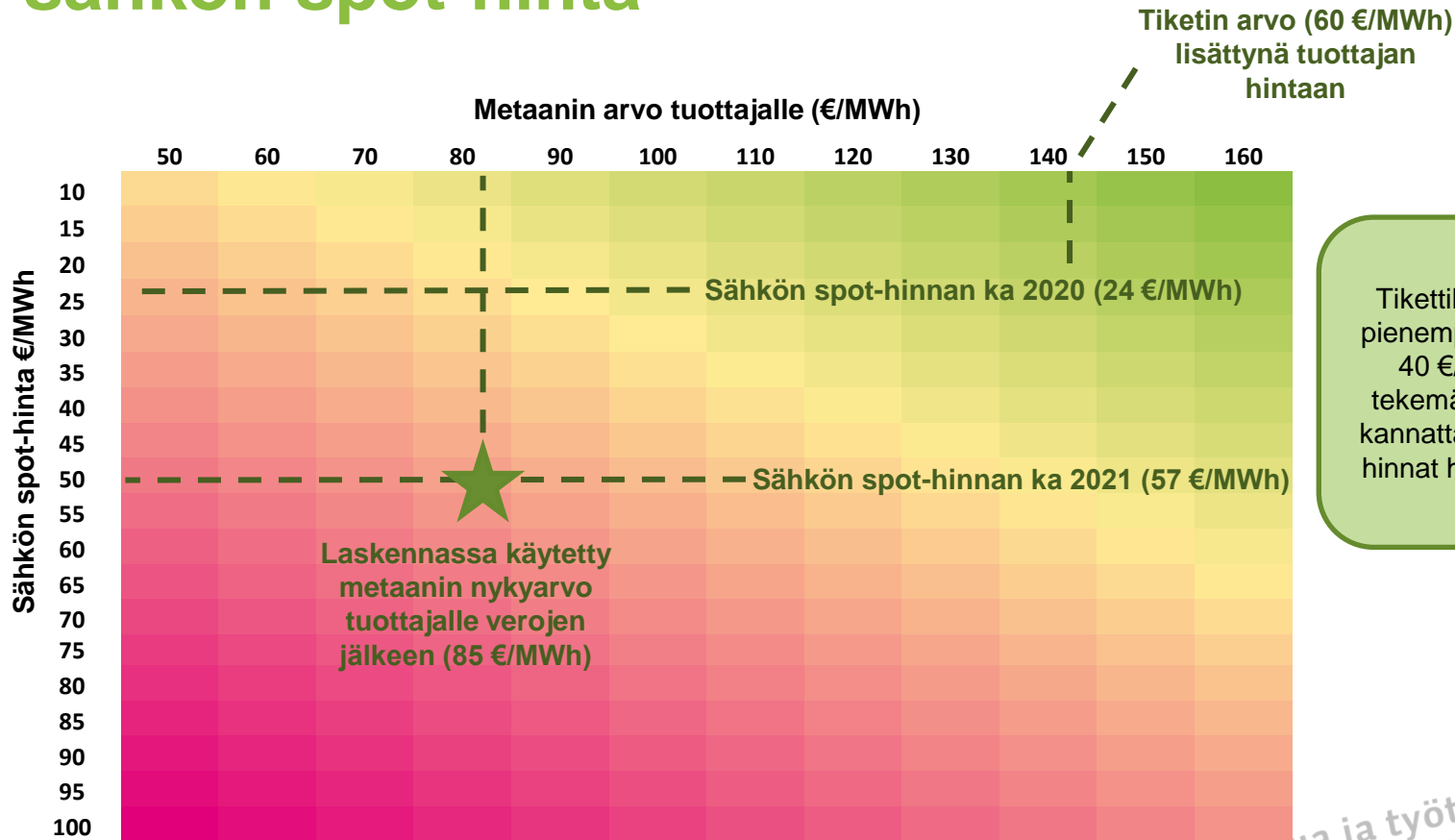


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Herkkyystarkastelu: metaanin arvo ja sähkön spot-hinta



Kuntakokoluokka:
ei tukea tai tikettiä



Tikettikaupassa myös pienempi tulo (esim. 30-40 €/MWh) riittäisi tekemään tuotannosta kannattavaa, jos sähkön hinnat hieman laskisivat

Vaikka sähkön spot-hinnat laskisivatkin esim. 2020 tasolle, biometaanin arvon on noustava esimerkiksi tikettikaupan ansiosta, jotta vetyrikastus olisi kannattavaa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014-2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kiitos!

Luke työryhmä: Saija Rasi, Ilmari Laaksonen, Markku Vainio,
Ville Pyykkönen, Niina Honkala

JAMK työryhmä: Mauno Harju, Ville Svan, Miia Jämsén

VTT työryhmä: Mikko Lappalainen, Juho Kauppinen, Kirsikka
Kiviranta

Kestävä kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto