


TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Pien-CHP:n nykytilanne ja tulevaisuus

Jukka Konttinen
 Kemian ja biotekniikan laboratorio
 12.5.2017
www.tut.fi/keb



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Pien-CHP:n potentiaalista

(Lähde: selvitys JY 2009)

- Pien- tai mikro-CHP tarkoittaa sähkön ja lämmön tuottoa 10 ... 1000 kW_e mittakaavassa biomassan polton tai kaasutuksen avulla (tai maakaasun tai biokaasun poltto)
- Noin sata ORC (Organic Rankine Cycle) laitosta on rakennettu Saksassa ja Itävallassa, joissa käytetään puubiomassaa raaka-aineena
 - Teknologioiden käytettävyys on ollut hyvällä tasolla eli siis kaupalliselta vaadittavalla tasolla
- Mikroturbiinien käyttö on lisääntynyt. Valmistuskustannusten odotetaan laskevan. Biokaasun käyttö on merkittävä uusi sovellus.
 - Suurin osa kehityksestä USA:ssa ja Japanissa
 - Suomessa Ekogen Oy:n laitos Lappeenrannassa (pellettipolttolaitos & mikroturbiini), jonka toiminta keskeytyi

TTY Kemian ja biotekniikan laitos

Kemia ja biotekniikka

Kemian ja biotekniikan laitoksella toimii tällä hetkellä kolme tutkimusryhmää. Laitoksella on yhdeksän (9) professoria. Tutkijoita ja tutkimusapulaisia on yli 50. Keskeinen laitoksen tutkimuksen ohjain on kriittisten luonnonvarojen (energia, vesi, mineraalit) rajallisuus. Tutkimus keskittyy uusien konseptien ja prosessien kehittämiseen luonnonvarojen kestävään hyväksikäyttöön.

Tutustu laitoksen [henkilökuntaan](#)

Julkaisut

Kemian ja biotekniikan laitos on yksi TTY:n tieteellisesti tuottavimmista laitoksista. Kemian ja biotekniikan laitoksen tutkijat ovat tuottaneet viime vuosina yli 50 kansainvälistä referoitua julkaisua vuodessa, mikä vastaa lähes 10 % TTY:n tuloksesta.

[Selaa laitoksen julkaisuja](#)

Tutkimusryhmät

1. Bio- ja kiertotalous (professorit Matti Karp, Piet Lens, Jukka Rintala, Jukka Konttinen sekä Industrial professor Tero Joronen) **Energia- ja voimalaitostekn & biojalostus, ympäristötekn, teoll. biotekn.**
2. Supramolekulaarinen valokemia (SPG) (professorit Timo Laaksonen, Arri Priimägi ja Nikolai Tkachenko)



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkön tuotto pien-CHP:ssä

(Lähde: selvitys JY 2009)

- Organic Rankine Cycle (ORC)
 - Biomassan polttoon liittyvien sovellusten lisäksi ORC voi soveltua energian talteenottoon **savukaasujen hukkalämmöstä**
 - **Prosessiteollisuuden jätelämpö** yksi mielenkiintoinen alue
- Mikroturbiinit
 - Pyörimisnopeus suuri (> 500 000 rpm), korkea kaasun lämpötila (> 1200 K).
 - sähköntuotto 25 kW_e - 250 kW_e.
 - Polttoaine yleensä **bio- tai kaatopaikkakaasu**. Lisäksi kierrätyspolttoaineiden poltto, biomassan kaasutuskaasu tai nestemäiset biopolttoaineet mahdollisia
 - Sovelluksia **suoraan biomassan polttoon demonstroitu** (Ekogen) ä paineistettu poltto?
- Stirling-moottori
 - Polttoaineen poltto tapahtuu prosessin ulkopuolella – täten hyvin erilaisia polttoaineita tai lämpöenergian lähteitä voidaan käyttää
 - Sähkön tuotto 1 kW_e - 150 kW_e.
 - Kaupalliset sovellukset **eniten maakaasulle**, esim. Keski-Eurooppa
 - Biomassan **poltto tai kaasutussovellukset** kehitteillä



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Pien-CHP, ominaisuuksia (2009)

Technique	Combustion engines	Micro turbine	Stirling engine	Fuel cells	Steam engine and turbine	ORC-process
Size	1 kW _e – 1000 kW _e	25 kW _e – 250 kW _e	10 kW _e – 150 kW _e	1 kW _e – 50 kW _e	Engines > 100 kW _e Turbines > 500 kW _e	150 kW _e – 1 MW _e
Power efficiency	25 – 40 %	25 – 30 %	8 – 22 %	38 – 55 %	6 – 30 %	10 – 20 %
Heat efficiency	45 – 50 %	50 – 60 %	50 – 60 %	30 – 45 %	40 – 70 %	60 – 70 %
Typical operation time	15 years	15 years	15 years	1 – 15 years	15 years	> 20 years
Development stage	Widely used	Pre-commercial stage	Pilot-stage	Development stage	Widely used	Pre-commercial stage
Strength	High power production efficiency	Low need of maintenance	Low maintenance need	High power efficiency	Proven technology	Good power efficiency also at partial load
Weakness	Large need of maintenance	Only gaseous or liquid fuel	Limited power efficiency	Short duration	Power efficiency at partial load	Limited power efficiency



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Pien-CHP:en soveltuvan teknologian ominaisuuksia

	Kehitysaste	Kokoluokka [kW _e]	Sähköntuotannon hyötysuhde [%]	Yhteistuotannon hyötysuhde [%]	Polttoaine
Kaasumootorit	Laajasti käytössä	10 – 20 000	25 – 40	n. 80	Kaasumaiset polttoaineet
Pienhöyryturbiinit/-koneet	Laajasti käytössä	100 – 500 000	15 – 35 (< 3 MW _e)	75 – 85 (< 3 MW _e)	Ei rajoitteita
Kaasuturbiinit (mikroturbiinit)	Esikaupallinen	1 – 1 000	n. 15	n. 85	Kaasumaiset polttoaineet
Stirling-mootorit	Kehitysvaihe	0,5 – 75	15 – 30	75 – 90	Ei rajoitteita
Polttokennot	Kehitysvaihe esikaupallinen	0,5 – 2 000	30 – 50	75 – 95	Kaasumaiset polttoaineet
ORC-generaattorit	Esikaupallinen vaihe	50 – 10 000	10 – 20		Ei rajoitteita

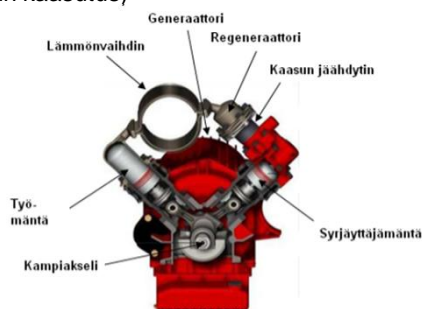
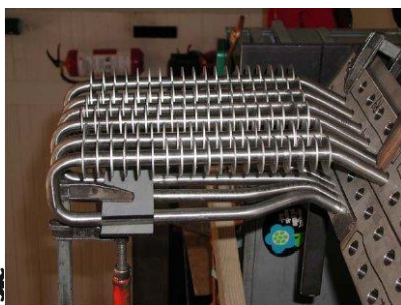
Lähde: Gaia Consulting Oy (2014): Sähkön pientuotannon kilpailukyvn ja kokonaistaloudellisten hyötöjen analyysi.



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

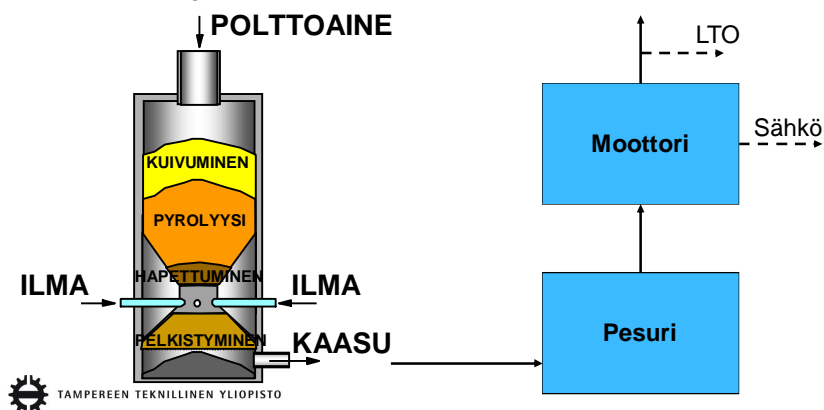
Sähköä ja lämpöä kiinteästä biomassasta pienessä mittakaavassa?

- Kiinnostava tehoalue 10 – 1000 kW_e
- Stirling-teknikka: Energiaa siirretään palamiskaasuista stirling-koneen työkaasuun lämmönsiirtimen avulla
 - Biomassan suorassa poltossa hyötysuhde n. 15 %
- Lämmönsiirtimen toiminta avainkysymys (kaasun lämpötila ja puhtaus)
- JY:n Vaajakosken pien-CHP-laboratorion toiminta lopetettu, tutkimus jatkunut HighBio2-projektissa (puun kaasutus)



Pien- tai mikro-CHP-laitteistot kaasutukseen perustuen

- Myötävirtakaasutin, ns. ”häkäpönttö” + kaasun puhdistus + kaasumoottori



Pien- tai mikro-CHP-laitteistot kaasutukseen perustuen

- Häkäpönttö + kaasun puhdistus + kaasumoottori
 - Tehoalue 100 – 1000 kW_{th}
 - Sähköntuotto noin 30 % polttoaineen termisestä energiasta
 - Kokonaishyötysuhde > 70 %
- Suomalaisia yrityksiä – teknologiakehitys ja kaupallistaminen
 - Gasek Oy (www.gasek.fi) à toimittaneet höyryn kehityslaitoksia
 - CCM-Power Oy (www.ccm-power.fi) à yhdistetty Gasekiin?
 - Entimos Oy (www.entimos.fi) – onko enää toiminnassa?
 - Turo's team à Lestijärven "vedenpolttolaitos", jonka jälkeen ei näkyviä aktiviteetteja
 - **Volter Oy (volter.fi) à Demoja Suomessa ja ulkomailta**
 - Ekogen Oy à LPR demonstraatio, toiminta lopetettu
- Haasteita:
 - Myötävirtakaasutin – tervat
 - Muunnemat perinteisestä häkäpöntöstä, tervan minimoimiseksi
 - Laitosten pitkäaikaiskäytettävyys
 - Tähän asti ajettu kymmeniä – satoja tunteja
 - Kokemäen ja Tervolan laitosdemot eivät ole onnistuneet, Ekogen Oy LPR laitoskonseptia ei jatkettu



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Pien-CHP:n taloudellisuus

(Selvitys JY 2009)

Technology	ORC	Stirling	Micro Turbine	Gasification
Plant type and size	Replacing water boiler with ORC (1000 kW _e)	Engine only (10 kW _e)	Whole plant (25 – 250 kW _e)	Whole plant (30 – 75 kW _e)
Investment cost (€/kW _e)	2765	1400 – 2200	1000 – 1700	1250 – 1800
Operating costs (cent/kWh _e)	12	6.4 – 9	4.4 – 7	6.4 – 8.5

- Puuperäisen pien-CHP-tuotannon tuotantotuki?
- Puubiomassan polton ja kaasutuksen sovelluksissa luvut voivat olla korkeampia



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Pien-CHP - investointi- ja tuotantokustannukset

Taulukko 4. Pien-CHP-laitosten investointi- ja tuotantokustannukset. Investointikustannukset on ilmoitettu sähkötehoa kohti ja sisältävät laitteiston ja asennuksen¹⁸. Kustannukset on ilmoitettu arvonlisäverottomina.

Yritys	Tekniikka ja kokoluokka	Investointi (sis. laitteiston ja asennuksen) €/kWe	Tuotantokustannus €/MWh
Volter Oy	Puun kaasutus + kangassuodatin + kaasumoottori 30 kW _e /80 kW _{th} , 40 kW _e /100 kW _{th}	4 000 – 5 000	40 – 50 ¹⁹ (sähkö & lämpö)
Ekogen Oy	Puun arinapoltto + lämmönvaihdin + mikroturbiini (puhdasta ilmaa turbiiniin) 90 kW _e /360 kW _{th}	7 000 (nopeasti saavutettavissa 5 000)	30 (sähkö & lämpö; ilman rahoituskuluja)
Gasek Oy	Puun kaasutus + tuotekaasun puhdistus (Gasek ei toistaiseksi tarjoa sähköntuotantoyksikköä) 1 MW _{th}	4 000 – 4 500 ²⁰	110 (sähkö)
Convion Oy	Maakaasu/biokaasu/metaani-vety SOFC-poltto-kenno 50 kW _e /min 25 kW _{th}	2015: < 10 000 2020: ≈ 5 000 massatuotanto: < 1 000	Vaikea arvioida luotettavasti tässä vaiheessa ²¹

Lähde: Gaia Consulting Oy (2014): Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi.



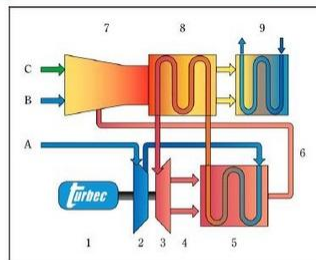
TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO



DESY Distributed Energy Systems Biomass-based CHP plants

- Companies: www.ekogen.fi, www.gasek.fi, www.htenerco.fi


Ulkoisella poltolla toimiva mikroturbiini (EFMT)



1. Generator	7. Biomass boiler
2. Compressor	8. Exhaust gas exchanger
3. Turbine	9. Cogeneration exchanger
4. Air to recuperator	A. Inlet air
5. Recuperator	B. Boiler combustive air
6. Exhaust gases	C. Inlet biomass




TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO




DESY Distributed Energy Systems Biomass-based CHP plants

- DESY yksi SHOK-teknologiaprojekteista CLEEN Oy:n koordinoimana (Nykyään CLIC Oy)
- Yritykset: www.ekogen.fi, www.gasek.fi, www.htenerco.fi
- DESY:ssä lisäksi mm. Savo-Solar Oyj, Envor Oy
- DESY-projektissa laadittiin mm. toteutettavuustarkastelut Ekogen Oy:n sekä Envor Oy:n laitospöytäkirjoista
 - Ekogen Oy: Lappeenrannan demolaitos - pellettipolttolaitos & mikroturbiini
 - Envor Oy: uusi konsepti etanolin ja biokaasun tuottamiseksi rehuviljasta
 - Mukana elinkaaritarkastelut (LCA)
- Loppuraportti ladattavissa VTT:n portaalista
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T224.pdf>



Kokemuksen rintaääntä

- Tutuksi tullut toimintatapa
 - Mennään teknologia edellä: perustetaan yritys, joko lisenssillä tai oma innovaatiolla (tyyliin "vaarin häikäpönttö")
 - Haetaan pääomasijoittajia & tukirahoitusta demon rakentamiseksi → otetaan kaikki riskit kerralla
 - Kun laitosta käyttöön otetaan, aloitetaan T&K ("tyri&korjaa")
 - Viivästykset vs. rahoittajien uskon ylläpito
 - Integroitu biopolttonesteiden tuotanto? Oma kemian laitoksensa → ei hoidu yhdellä katalyytillä
- Haasteet
 - Yleensä pelkkä konepajaosaaminen & "sikaenergia" ei riitä → heterogeeninen raaka-aine ja välituotteet, vaatii ymmärrystä ja kokemusta termisestä konversiosta (poltto, pyrolyysi, kaasutus, katalyyysi) ja luonnonlaeista (vs. mediakommentti "Lukeneet" ei ymmärrä tästä riittävästi)
 - Scale-up ja komponenttien integrointi: jos labrassa/autotallissa toimii, niin ei välttämättä isommassa
 - Murheellinen historia vs. rahoittajien löytäminen & pitkämielisyys?






TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

MIKRO-CHP ROADMAP

Veli-Heikki Vänttinen
Ohjaajat: Hanna-Leena Pesonen, Jukka Konttinen
Jyväskylän yliopisto
Syksy 2010 - kevät 2011

Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on muodostaa roadmap, jonka avulla pien- ja mikro-CHP – teknologioiden kaupallistamisen vaiheet selviävät



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tutkimuksen metodologia (1/2)

- Kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus
- Tutkimus toteutettiin puolistrukturoituna/teemahaastatteluna
- Haastateltavia oli yhteensä 10 henkilöä ja he edustivat korkeakouluja (yliopisto ja AMK), tutkimuslaitoksia, laite- ja kattilavalmistajia, rahoittajia sekä kehitysyhtiöitä



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Haastateltavat

Organisaatio	Haastateltava
Airia Oy	Reijo Alander
Ariterm Oy	Kimmo Kantalainen
Gasek Oy	Kauko Väinämö
JAMK	Jaakko Tukia
JYKES	Juha Järvi
LUT	Juha Kaikko
MW Power Oy	Juha Huotari
TEKES	Mauri Marjaniemi
Tulostekniikka Oy	Kai Oinonen
VTT	Veli Linna



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tutkimuksen metodologia (2/2)

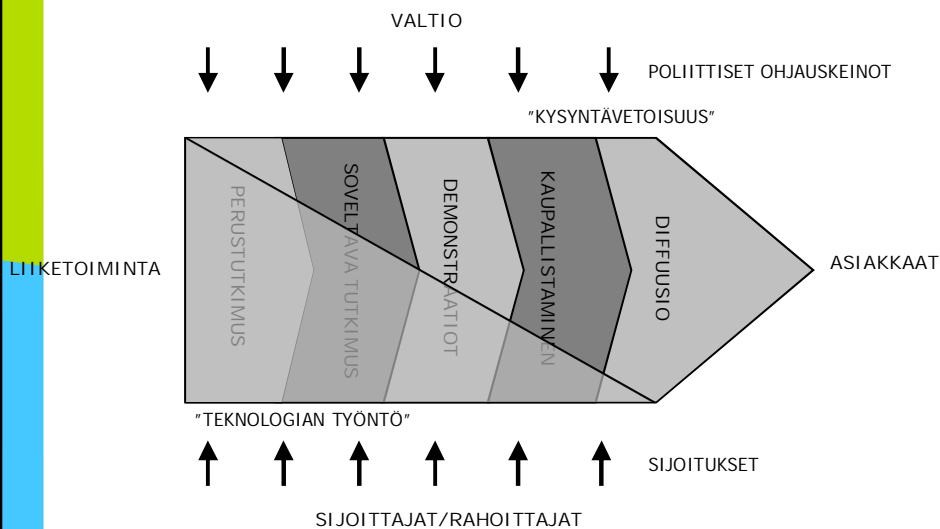
- Haastatteluissa oli käytännössä yksi kysymys:

Esteet ja edistämistekijät pien- ja mikro-CHP teknologioiden innovaatioprosessissa?

- PESTE-analyysi: viisi eri näkökulmaa (poliittinen, taloudellinen, sosiaalinen, teknologinen ja ekologinen)
- Lisäksi kysyttiin näkemystä ajankohdasta, jolloin ko. teknologiat leviävät markkinoille



Teoreettinen viitekehys



Tuloksia (1/2)

- EDISTÄMISTEKIJÄT:
 - P: kannustimet, pitkän ajan linjausten tekeminen
 - E: potentiaalisten asiakkaiden kartoitus, uudet liiketoimintakonseptit, markkinoiden kasvu, rahoitus
 - S: yhteistyön lisääminen, klustereiden muodostaminen, osaamisen hyödyntäminen, yleinen kiinnostus
 - T: potentiaalisten teknologioiden arviointi, uudet innovaatiot, toimintavarmuuden ja käytettävyyden parantaminen
 - E: ympäristöystävällisyys ja vihreä imago, CO₂-neutraalisuus, elinkaarianalyysin tekeminen
 - MUUT: hajautetun energiantuotannon edut

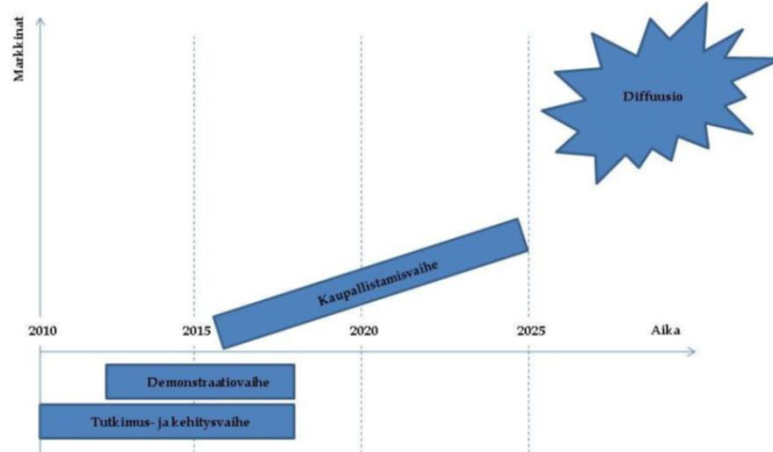


Tuloksia (2/2)

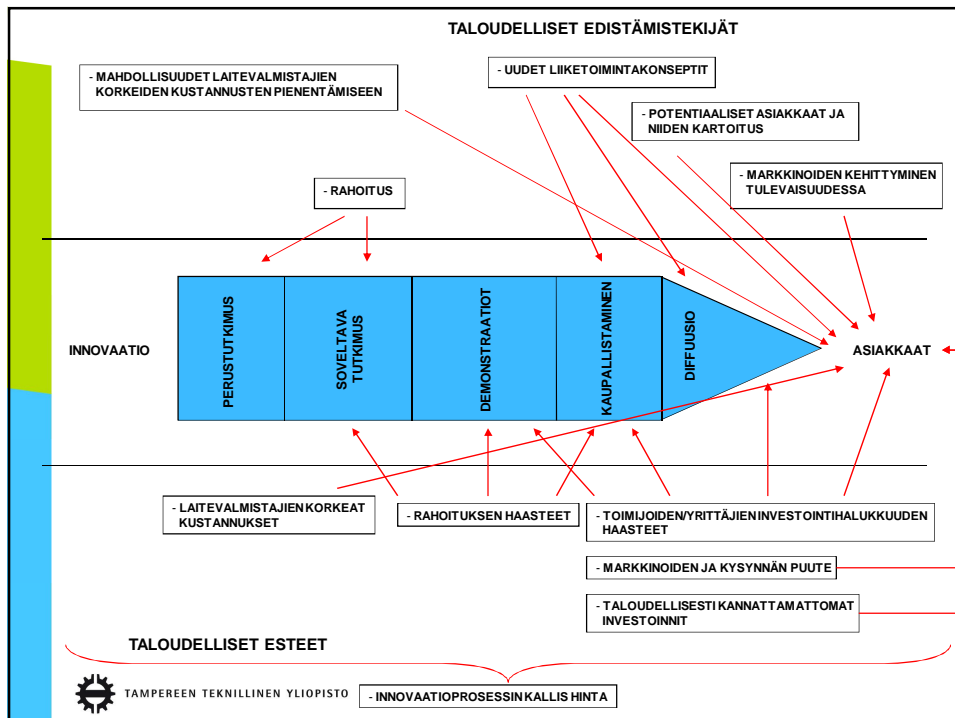
- ESTEET:
 - P: syöttötariffijärjestelmän epäkohdat, poliittisen ilmapiirin epävarmuus, suurten toimijoiden lobbaus
 - E: investointien kannattavuus, rahoitukseen liittyvät haasteet, markkinoiden/kysynnän puute, innovaatioprosessin kalleus
 - S: verkostoitumisen ja yhteistyön haasteet, NIMBY-ilmiö, negatiivinen julkisuus
 - T: sähköntuotannon hyötysuhde, tuote-/savukaasun puhtaus, materiaalien kestävyys
 - E: pienhiukkaspäästöt
 - MUUT: polttoaineen riittävyys ja logistiset ongelmat, asiakkaiden arvot



Arvio pien-CHP-teknologioiden innovaatioprosessin etenemisestä



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Hybriditeknologiat

- DESY-projektissa tehtiin case-tutkimuksia
- Projekti Biostirling-4ska (2013- 2017)
 - Rahoitus EU FP7, mukana partnereita 6 EU-maasta
 - Sähkön tuotto jakeluverkkojen ulkopuolella (radioastronomiset asemat), raaka-aineena aurinkolämpö sekä synteesikaasun/biokaasun polton lämpöenergia
 - Hybridi (n. 12 kW_e) demonstroitu Portugalissa Mourassa, peileillä keskittävä aurinkolämpökeräin & kaasun poltto & hybridilämmönvaihdin & Stirling-kone (Cleanergy AB)



www.biostirling.com
Cleanergy.com



JOHTOPÄÄTÖKSET

- Pien-CHP-teknologioita on kehitetty Suomessa yritysten, tutkimuslaitosten ja yliopistojen toimesta
- Pien-CHP:n yleistyminen tarvitsee onnistuneita pitkän aikajakson (tuhansien tuntien) demonstraatioita
- Teknologisia haasteita
 - Yleensä pelkkä "sikaenergia" & konepajaosaaminen ei riitä, tarvitaan ymmärrystä ja kokemusta luonnonlaeista sekä termisestä konversiosta, katalysista ja scale-up:ista
 - Demossa otetaan kaikki riskit kerralla (monimutkainen raaka-aine, komponenttien integroitu käyttö, scale-up)
- T&K aloitetaan vasta käyttöönottokokeilujen jälkeen ä rahoittajien löytyminen & pitkämielisyys?
- Roadmap
 - Kaupallistumisen aikataulussa epävarmuuksia (2015...2025)
 - Lisäselvityksien tarvetta asiakkaisiin ja markkinoihin liittyen
- Hybriditeknologiat (esim. aurinko & bio)
 - DESY-projekti (SHOK / Cleen Oy)
 - Biostirling-4ska

