



Anton Pelttari

OMAKOTITALOKOKOLUOKAN LÄMPÖÄ JA SÄHKÖÄ TUOTTAVAT RATKAISUT

OMAKOTITALOKOKOLUOKAN LÄMPÖÄ JA SÄHKÖÄ TUOTTAVAT RATKAISUT

Anton Pelttari
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Anton Pelttari

Opinnäytetyön nimi: Omakotitalokokoluokan lämpöä ja sähköä tuottavat ratkaisut

Työn ohjaaja: Pentti Huhtanen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013 Sivumäärä: 29 + 3 liitettä

Tämä opinnäytetyö on laadittu Oulun Eteläisen instituutille. Työn taustana on sähkön hinnan nousu ja tavoite lisätä hyödynnettävissä olevaa tietoa lämmön ja sähkön yhteistuotantomahdollisuuksista omakotitaloissa. Tämän energiatekniikan opinnäytetyön tavoitteena on hankkia tietoa eri sähkön ja lämmön yhteistuotantotavoista omakotitalossa kirjallisuustutkimuksella ja näiden tietojen perusteella hahmottaa mahdollisesti toteutettavissa olevia ratkaisuja.

Työhön valittiin tarkasteltavaksi stirlingmoottori, höyrykone ja kuuma kaasuturbiini. Mikro-CHP-laitosten polttoaineeksi valittiin biopolttoaine puu. Työssä on haettu ja sovellettu tietoa eri internetsivuilta ja alan kirjoista.

Sopivan mikro-CHP-tekniikan valinta on kiinni monista tekijöistä, mutta tärkein tekijä on tehontarve. Vielä ei ole markkinoilla tehontuotoltaan täydellistä ratkaisua. Monet ratkaisut ovat teholtaan joko vähän liian suuria tai liian pieniä. Stirlingmoottorit ovat teholtaan parhaita omakotitalokokoluokan mikro-CHP-laitoksiin, koska stirlingmoottorit ovat kestäviä ja niissä on hyvä hyötysuhde verrattuna höyrykoneeseen ja kuuma kaasuturbiiniin. Niitä on myös tutkittu ja kehitetty paljon sekä niiden valmistajia on markkinoilta useita.

Asiasanat: mikro-CHP, energiatekniikka, yhteistuotanto

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 TUOTANTOTAVAT	6
2.1 Stirlingmoottori	6
2.2 Höyrykone	9
2.3 Kuuma kaasuturbiini	10
3 POLTTOAINEENA PUU	13
3.1 Hake	14
3.2 Pelletti	15
3.3 Polttopuu	16
4 MARKKINOILLA OLEVAT MICRO-CHP-RATKAISUT	17
4.1 Stirlingmoottori	17
4.2 Höyrykone	18
4.3 Kuuma kaasuturbiini	19
5 YHTEENVETO	21
LÄHTEET	23

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Kingston-esite

Liite 3 Green Turbine -esite

1 JOHDANTO

Tämän energiatekniikan opinnäytetyön tavoitteena on hankkia tietoa eri sähkön ja lämmön yhteistuotantotavoista omakotitalossa kirjallisuustutkimuksella ja näiden tietojen perusteella hahmottaa mahdollisesti toteutettavissa olevia ratkaisuja. Työssä selvitetään erilaisia ratkaisuja lämpöä ja sähköä tuottaviksi järjestelmiksi omakotitalokokoluokkaan. Työssä keskitytään höyrymoottoriin, stirlingmoottoriin ja kuumakaasuturbiiniin. Biopolttoaineena käytetään puuta, kuten klapit, hake ja pelletit.

CHP-laitokset, eli combined heat and power, ovat voimalaitoksia, jotka tuottavat yhdistetysti lämpöä ja sähköä. CHP-laitos tuottaa pääasiassa lämpöä noin 60 prosenttia ja sähköä noin 30 prosenttia. Omakotitalokokoluokan sähkön- ja lämmöntuotannolla tarkoitetaan yleensä micro-CHP-voimalaa, jonka sähköntuotantoteho on enintään 50 kW. Etuna yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa on korkea kokonaishyötysuhde, joka on noin 90 prosenttia. (1.)

Työn tilaaja Oulun Eteläisen instituutti järjestää tutkimusta, koulutusta ja kehittämistoimintaa Oulun eteläisen alueella. Instituutti on mukana alueen kehittämisen kannalta tärkeiden yliopistollisten koulutusohjelmien järjestämisessä sekä erilaisten tutkimus- ja kehittämishankkeiden valmistelussa ja koordinoimisessa. (2.)

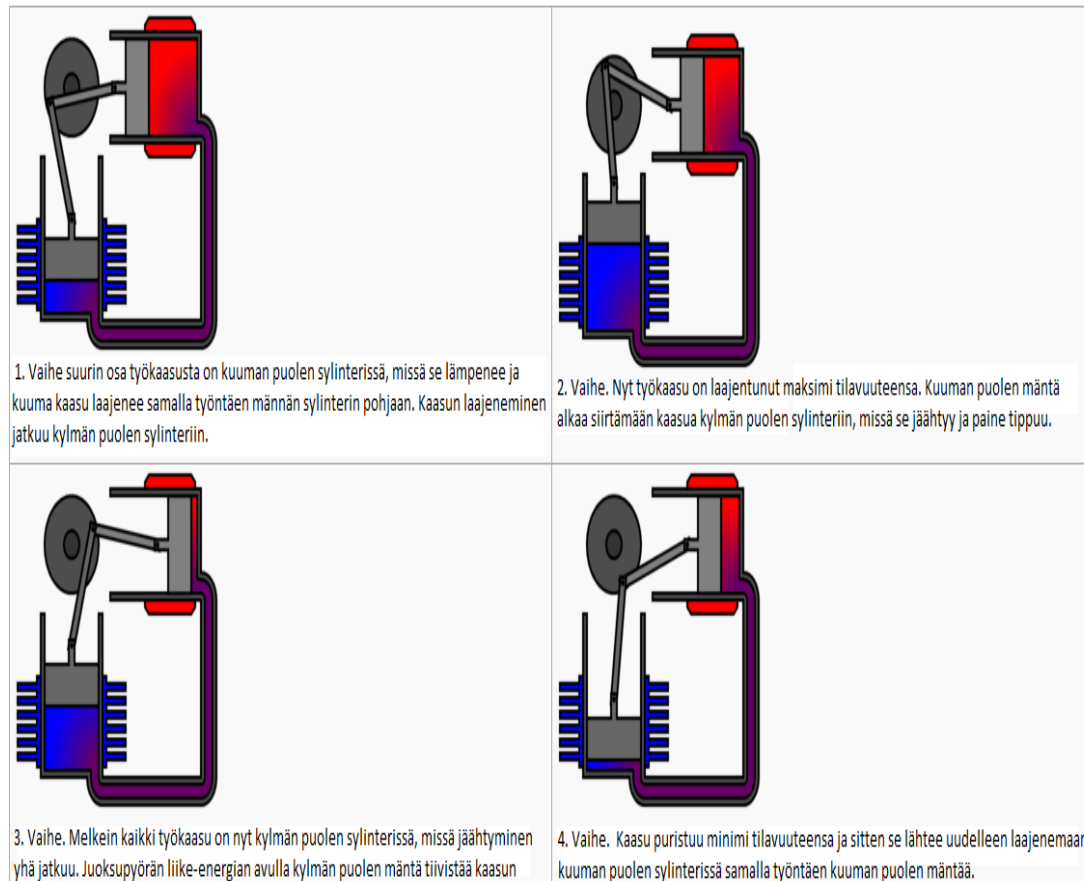
Tehtävänä Oulun Eteläisen instituutilla on kehittää koulutusta, kehittämistoimintaa ja yliopistollista tutkimusta. Instituutin toiminnan pyrkimyksenä on kehittää merkittävästi Oulun eteläisen alueen innovaatioympäristöä ja elinkeinoelämää vahvistamalla TKI-toimintaa, kansainvälisyyttä ja osaamista. Instituutin toiminnan perussuuntaukset nojautuvat Pohjois-Pohjanmaan maakuntastrategiaan ja Oulun eteläisen osan kolmen seutukunnan strategioihin sekä Pietarsaaren, Keski-Pohjanmaan ja Oulun Eteläisen yhteiseen ns. Botnia-strategiaan. (3.)

2 TUOTANTOTAVAT

2.1 Stirlingmoottori

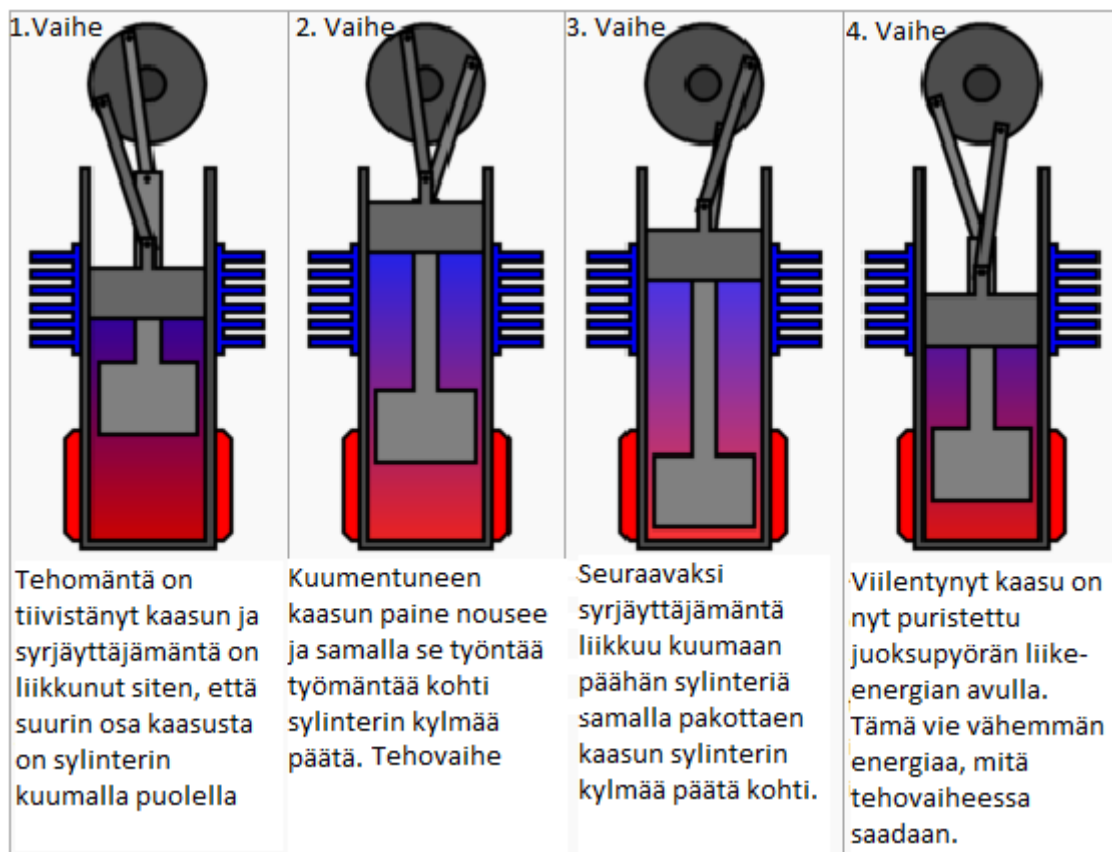
Stirlingmoottori on lämpövoimakone, jossa voimanlähteenä käytettävä lämpö tuodaan moottoriin sen ulkopuolelta. Stirlingmoottorin kehitti Robert Stirling vuonna 1816, eli kyse on jo vanhasta keksinnöstä, mutta vasta viime vuosina sitä on alettu käyttää ja kehittää mikro-CHP-sovellutuksiin. Sillä miten lämpö tuotetaan, ei ole väliä. Stirlingmoottorissa ei tapahdu palamista. Moottori toimii suljetussa piirissä, eli moottorissa oleva kaasu ei poistu sylinteristä missään työvaiheessa. Moottorissa käytettävä työkaasu on ilmaa tai muuta kaasua esimerkiksi heliumia. Stirlingmoottori toimii lämpötilaeron avulla: moottorissa oleva työkaasu lämpenee ja jäähtyy vuorotellen. Tästä syntyvä kaasun lämpölaajeneminen ja moottorin tiiviys aiheuttaa jaksottaisen paineen vaihtelun. Paineenvaihtelu muunnetaan männän ja sylinterin avulla mekaaniseksi työksi. (4.)

Stirlingmoottorit jaetaan yleensä kolmeen ryhmään: alfa-stirlingmoottoreihin, beeta-stirlingmoottoreihin ja gamma-stirlingmoottoreihin. Alfa-stirlingmoottorissa on kaksi mäntää, jotka ovat eri sylintereissä, toinen sylinteri on kuuma ja toinen kylmä. Kuuma sylinteri on sijoitettu korkeassa lämpötilassa olevaan lämmönsiirtimeen ja kylmä sylinteri taas matalassa lämpötilassa olevaan lämmönsiirtimeen. Tällaisessa moottorissa on yleensä hyvä hyötysuhde mutta kuumien sylinterien tiivisteet eivät kestä suurta lämpötilaa. Alfa-stirlingmoottorin kierto esitetty kuvassa 1. (5.)



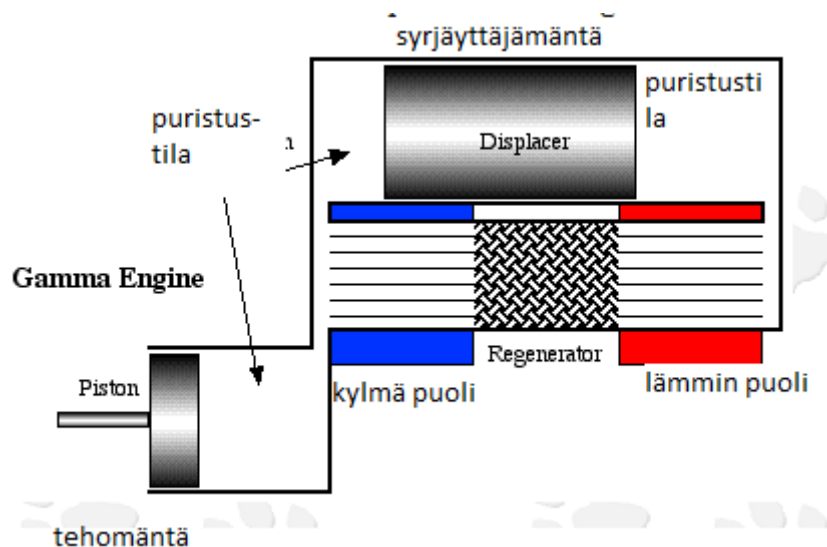
KUVA 1. Alfa stirlingmoottorin kierto (5)

Beeta-tyyppi on klassinen stirlingmoottorin tyyppi. Toisin kuin alfa-tyyppin moottorissa beeta-tyyppin moottorissa on vain yksi sylinteri. Sylinterissä liikkuu kaksi mäntää, tehomäntä ja syrjäyttäjämäntä. Tehomäntä tiivistää työkaasun sylinteriin ja syrjäyttäjämäntä kuljettaa kaasua kuuman ja kylmän puolen välillä. Syrjäyttäjämäntä on halkaisijaltaan pienempi kuin sylinteri, eikä se tuota ollenkaan tehoa laajenevasta kaasusta, vaan se ainoastaan kierrättää kaasua. Beeta-tyyppin moottorin kierto näkyy kuvassa 2. (6.)



KUVA 2. Beta stirlingmoottorin kierto (6)

Gamma-tyypin stirlingmoottori on samanlainen kuin beeta-tyypin moottori, mutta yksinkertaisempi. Siinä on tehomäntä ja syrjäyttäjämäntä, mutta ne ovat eri sylintereissä. Männät ovat edelleen kytkettynä samaan vauhtipyörään. Gamma-tyypin moottorissa lämmönsiirto tapahtuu syrjäyttäjämännän sylinterissä ja työkaasun tiivistyminen ja laajentuminen tapahtuu tehomännän sylinterissä, eli ne on eroteltu toisistaan. Tässä tyypissä puristussuhde jää pienemmäksi kuin alfa- tai beeta-tyypin moottorissa. Gamma-tyypin stirlingmoottoria käytetään yleensä koneessa, jossa on useita sylinteripareja. Gamma-tyypin koneen periaate selviää kuvasta 3. (7.)



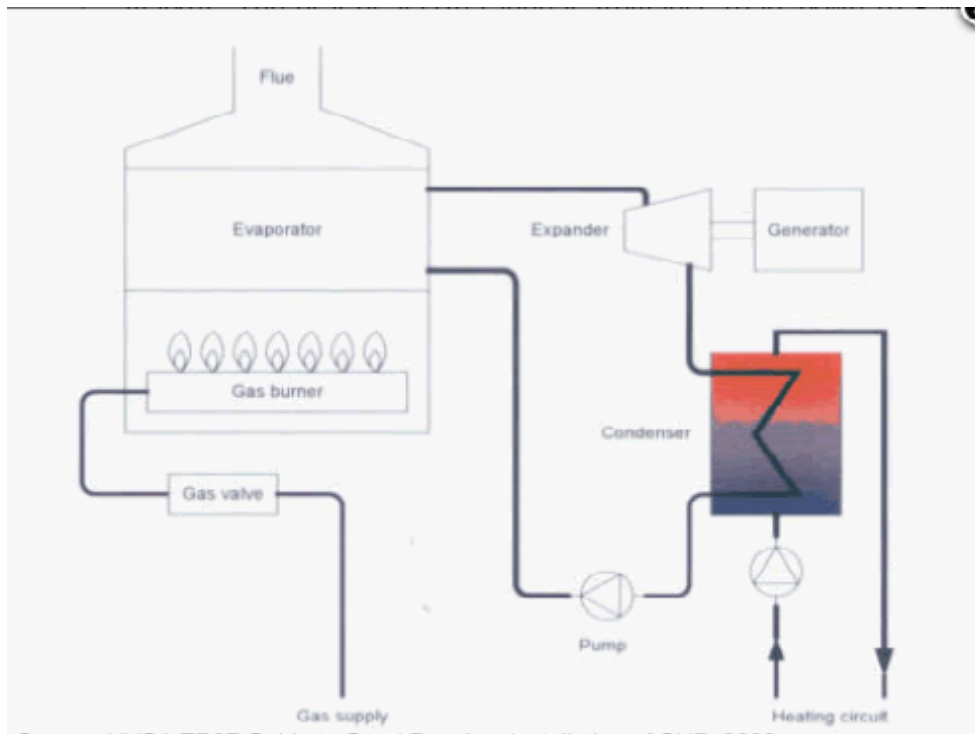
KUVA 3. Gamma stirlingmoottori (7)

2.2 Höyrykone

Höyrykone on rankine-periaatteella toimiva lämpövoimakone. Höyrykoneista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä mäntähöyrykonetta, vaikka on myös muilla periaatteilla toimivia koneita, joilla saadaan muutettua höyryn sisäinen energia mekaaniseksi energiaksi, kuten höyryturbiini. Höyrykoneen sisällä kiertää yleensä vesi, mutta siellä voi kiertää myös orgaaninen neste. Tällöin voidaan alentaa kattilan painetta ja lämpötilaa. Neste voi olla esimerkiksi silikoniöljyä tai jäähdytysnestettä. Tällaista orgaanisella kiertoaineella toimivaa kiertoprosessia kutsutaan ORC eli Organic Rankine Cycle. (8.)

Kuvassa 4 kiertoprosessi näkyy yksinkertaistettuna. Kuvassa näkyy kaksi piiriä ja niiden välissä lämmönsiirrin. Ensioipiiri kiertää kattilan ja höyrykoneen kautta. Höyrykoneessa palamisprosessi tapahtuu koneen ulkopuolella eli lämpö tuodaan koneeseen ulkopuolelta. Yleensä lämpö tuodaan höyrykattilassa, joka kuumentaa kattilassa kiertävän nesteen, joka höyrystyy höyryksi, eli tapahtuu faasimuunnos. Faasimuunnoksen avulla nesteestä saadaan enemmän tehoa höyrykoneessa käytettäväksi. Höyry laajenee ja käyttää höyrymoottorin mäntiä tai höyryturbiinin roottoreita. Samalla höyryn paine ja lämpötila laskee. Höyry-

koneelta höyry menee lämmönsiirtimeen, jossa se muuttuu takaisin vedeksi. Höyryn lämpö siirtyy johtumalla toisiopiiriin, joka lämmittää rakennuksen. (9.)



KUVA 4. Höyryn kiertoprosessi (9)

Höyrymoottori eroaa höyryturbiinista siten, että moottorissa voidaan käyttää kosteampaa höyryä kuin höyryturbiinissa. Kaasua ei tarvitse tulla niin korkeaan lämpötilaan kuin höyryturbiinissa. Tästä syystä myös höyrykattilan, joka tuottaa höyryn moottorille lujuusvaatimukset jäävät pienemmiksi. Höyrymoottori on myös halvempi kuin höyryturbiini. Moottorista lähtevässä höyryssä on vielä paljon energiaa jäljellä, tätä voidaan hyödyntää rakennuksen lämmittämiseen. (10.)

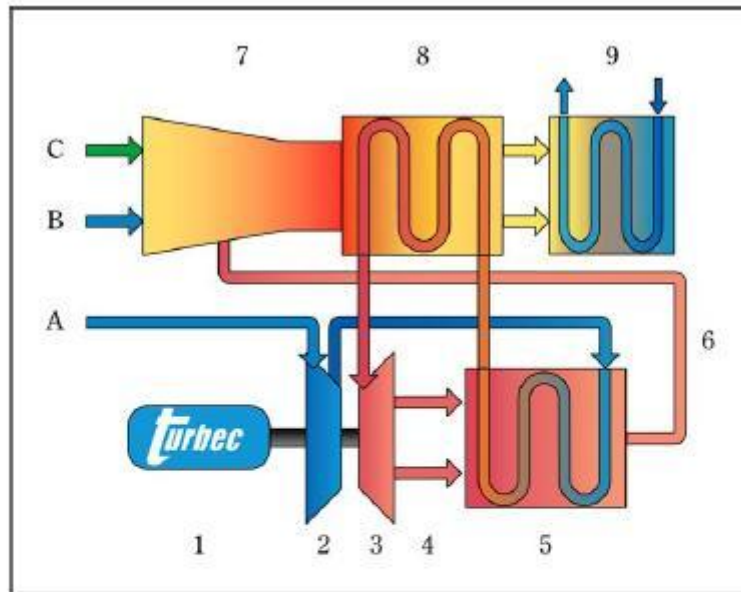
2.3 Kuuma kaasuturbiini

Kaasuturbiinin tehoväli on suuri, alle yhden megawatin mikroturbiineista 250 megawatin voimalaitoksiin. Pienin tällä hetkellä saatavissa oleva mikroturbiini on Green turbinen valmistama 1,2 kW tehoinen turbiini. Pieni tehoisia mikroturbiineja on vaikea valmistaa, koska nesteen virtauksen aiheuttamat rasitukset ja lämpötilat turbiinin roottoreille ja laakereille muodostuvat niin suuriksi, ettei turbiini kestä niitä. (11.)

Kuuma kaasuturbiini eroaa normaalista kaasuturbiinista siten, että siinä turbiinin sisäänmenolämpötila on paljon korkeampi kuin normaalissa kaasuturbiinissa. Kuuma kaasuturbiiniin sisäänmenolämpötila on noin 900–1 400 celsiusastetta. Mitä korkeampi on sisäänmenolämpötila, sitä parempi on turbiinin hyötysuhde. Näin korkea lämpötila vaatii kestävämmät materiaalit kuin normaalilämpötilassa toimiva kaasuturbiini. (12.)

Mikroturbiiniprosesseja on kaksi erilaista: suora ja epäsuora prosessi. Suora prosessi on perinteinen kaasuturbiiniprosessi. Siinä yksinkertainen kaasuturbiinikoneisto muodostuu seuraavista: kompressorista, joka nostaa palamisilman paineen, polttokammioista, jossa palamisilma palaa polttoaineen kanssa, ja turbiinista, jossa palamiskaasut paisuvat lähelle ilmanpainetta samalla pyörittäen turbiinia. Turbiinin siivekkeet on kiinnitetty akselille, jonka kautta liike siirtyy sähkögeneraattoriin. Kompressorin akseli on kiinnitetty samalle akselille kuin turbiini, jolloin turbiinista saadaan myös kompressorin vaatima teho. (13.)

Epäsuorassa prosessissa polttoaineen palaminen ja kierto tapahtuu erillään. Työssä keskitytään ulkoisella poltolla toimiviin mikroturbiineihin. Niissä lämpö tuodaan ulkopuolelta esimerkiksi pellettipolttimesta. Epäsuoran prosessin kaasuturbiinikoneisto muodostuu kompressorista, lämmönsiirtimestä, turbiinista ja polttimesta. Kompressorin akseli nostaa väliaineen paineen, minkä jälkeen väliaine johdetaan lämmönsiirtimeen. Ilma lämmitetään kuumilla savukaasuilla. Seuraavaksi kuuma ja paineistettu ilma johdetaan turbiiniin, missä se pyörittää turbiinia ja samalla turbiiniin akselille kytkettyä generaattoria. Väliaineena käytetään ilmaa. Kuva 5 näyttää periaatteen ulkoisella poltolla toimivasta mikroturbiinista. (14.)



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

KUVA 5. Ulkoisella poltolla toimiva mikroturbiinin kierto (14)

3 POLTTOAINEENA PUU

Tutkittavan mikro-CHP-laitoksen biopolttoaineena on tarkoitus käyttää haketta, pellettejä ja klapeja. Puu on hiilidioksidi neutraali polttoaine, eli puuta poltettaessa puusta vapautuu hiilidioksidia luonnon kiertokulkuun kuin sitä vapautuisi puun lahotessa. Suurin osa Suomessa tuotettavasta bioenergiasta tuotetaan puulla. Suurimmaksi osaksi puusta saatu energia tuotetaan puunjalostusteollisuuden sivutuotteilla, kuten kuorella, sahanpurulla ja selluntuotannossa syntyvällä mustalipeällä. Puun eriosista saatava biomassa jakautuu taulukon 1 osoittamalla tavalla. (15.)

TAULUKKO 1. Biomassa puun eri osissa (16)

Latvus	5 %
Oksat	10 - 15 %
Runko	60 – 65 %
Kanto	5 - 10 %
Juuristo	10 – 20 %

Puunlämpöarvo tarkoittaa sitä, kuinka paljon puun palamisessa kehittyy lämpöä puun massaa kohden. Yksikkö on MJ/kg. Kuvassa 6 on puupolttoaineiden lämpöarvoja. (17.)

Taulukko 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja.			
Lämpöarvo	Metsätähdehake	Kokopuu-hake	Rankahake
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6-9	7-10	7-11
Lämpöarvo	Kantohake	Havupuun kuori	Koivun kuori
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	21-23
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	8-13	5-9	8-11
Lämpöarvo	Pilke	Puutähdehake	Sahahake
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-19,0	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	13,4-14,5	6-15	6-10

TAULUKKO 2. Puupolttoaineiden lämpöarvoja (17)

3.1 Hake

Hake valmistetaan tavallisesti ainespuuksi kelpaamattomasta puusta. Hakkeen laatu on oltava sitä parempaa, mitä pienempi on käyttöpaikka. Hyvälaatuinen hake on kuivaa ja tasakokoista, ja myös viherainepitoisuus ja hienoaineksen osuus vaikuttavat laatuun. Suurin merkitys energiakäytössä kuitenkin on hakkeen kosteudella, koska se vaikuttaa hakkeen lämpöarvoon ja hakkeesta saa-

tavaan energiahyötyyn. Mitä kosteampaa hake on, sitä enemmän kuluu energiaa hakkeessa olevan veden höyryttämiseen. Hake poltetaan pelletteihin verrattuna paljon kosteampana. Vesipitoisuus hakkeessa on 20–50 %. Hake on suosittua polttoainetta, koska se on edullista ja sille on jo kehitetty toimivat ratkaisut tuotantoon, kuljetukseen ja polttoon. Haketta käyttävät lämpölaitokset ovat myös helposti automatisoitavissa. Hake jaetaan normaalisti hakkuutähde-, kokopuu-, runkopuu- ja kantohakkeeksi. (16.)

Hakkuutähdehake koostuu oksista neulasista ja ainespuuksi kelpaamattomista rungoista ja sen osista. Tämä on suurin mahdollinen puusta saatava energiare servi Suomessa. Tämä hake on laadultaan todella epätasaista, ja siksi sopii käytettäväksi ainoastaan suuren kokoluokan voimalaitoksissa teholtaan 800 kW - 300 MW. Hakkuutähdehake kerätään yleensä avohakkuuaukiolta. (16.)

Runkopuuhake on joko karsittua eli pelkkä runko haketetaan tai karsimatonta eli puun koko maanpäällinen osa eli oksat, lehdet, neulaset ja runko haketetaan. Karsittu runkopuuhake on parempilaatuista ja karsimaton hake taas huonompi laatuista. Runkopuuhaketta kerätään erilaisilta metsänhoitoalueilta esimerkiksi nuorten metsien harvennusalueilta. Puut ovat yleensä alle 10 metriä pitkiä. Runkopuuhaketta käytetään yleensä pienen kokoluokan, teholtaan 200–1 000 kW kattiloissa. (16.)

Kantohake saadaan yli 5 cm paksuista juuripuista tai kantopuusta. Kantohaketta on mahdollista kerätä vain alueilta, joissa tehdään uudistushakkuuta, tai alueilta, jotka poistuvat metsätalouden käytöstä. (16.)

3.2 Pelletti

Puupelletit valmistetaan puuta puristamalla. Puu on kuoretonta ja kuivaa, kuten puusepänteollisuuden kutteripuru ja -lastu. Pelletin kovuus ja muoto syntyvät puristimen kovassa paineessa ja suuressa lämpötilassa. Pelletti on kiiltäväpintainen, kova lieriömäinen kappale ja halkaisija sillä on tavallisesti 10–14 millimetriä. Pelletit ovat paljon kuivempia kuin hake tai klapit, sillä niiden kosteusprosentti on vain 10 ja esimerkiksi klapeilla kosteusprosentti on 20. Sen takia sillä onkin hyvä lämpöarvo, joka on noin 19 megajoulea pellettikiloa kohti. Pelle-

tistä syntyy hyvin vähän tuhkaa, koska puussa on tuhkaa pääasiassa vain kuorossa lehdistä ja neulasissa. (16.)

3.3 Polttopuu

Polttopuuta käytetään omakotitalojen lämmittämiseen. Puuta poltetaan yleensä omakotitalon tulisijoissa ja keskuslämmityskattiloissa. Polttopuu on yleensä halkoina tai klapeina. Puu on kuivattava ennen polttamista. Sopiva kosteusprosentti on 15–20 prosenttia. Halko on noin yhden metrin mittaista halkaistua polttopuuta, sitä käytetään yleensä omakotitalon keskuslämmityskattiloissa. Klapi on haloista pienittyä polttopuuta. Klapiin pituus on normaalisti 25–33 cm. (18.)

Polttopuuta polttavat lämmityskattilat ja tulisijat voidaan jakaa kahteen luokkaan, yläpalo- ja alapalokattiloihin. Tulisijat kuten takat, leivinuunit ja saunan kiukaat ovat yläpalokattiloita eli niissä palaminen tapahtuu polttoainekasan päällä. Alapalokattiloissa palaminen on hyvin puhdasta. Alapalokattilassa palaminen tapahtuu polttoainekasan alaosassa. (19.)

4 MARKKINOILLA OLEVAT MICRO-CHP-RATKAISUT

4.1 Stirlingmoottori

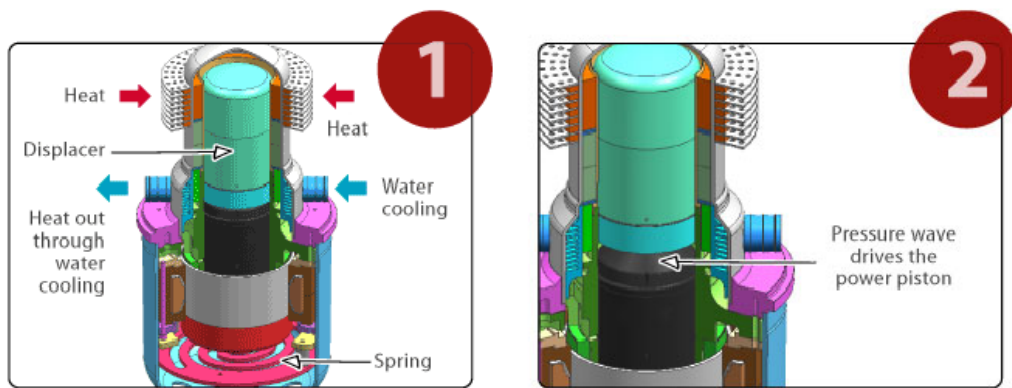
Whispergen myy stirlingmoottoreita micro-CHP-käyttöön. Whispergen perustettiin vuonna 1995 Uudessa-Seelannissa. Heidän moottorinsa sopii pienen omakotitalon lämmitykseen ja sähkön tarpeen kattamiseen. Kuvassa 4 on tarkempia teknisiä tietoja.

Fuel:Natural Gas
Heat Production:7,5-14,5 kW
Energy Production: 1 kW
Energy Consumption: 11-60W
Energy Efficiency: 96%
Saving CO2 Emissions: 1 ton per family/year
Size: 49,1cm wide*83,8cm high*56,3cm deep
Weight: 142 kg
Noise: 46 db
Nominal Head Output at 60-80°C: 7.5-8.3 kW
Heat Output with auxiliary burner at 60-80°C:13.2-14.5kW

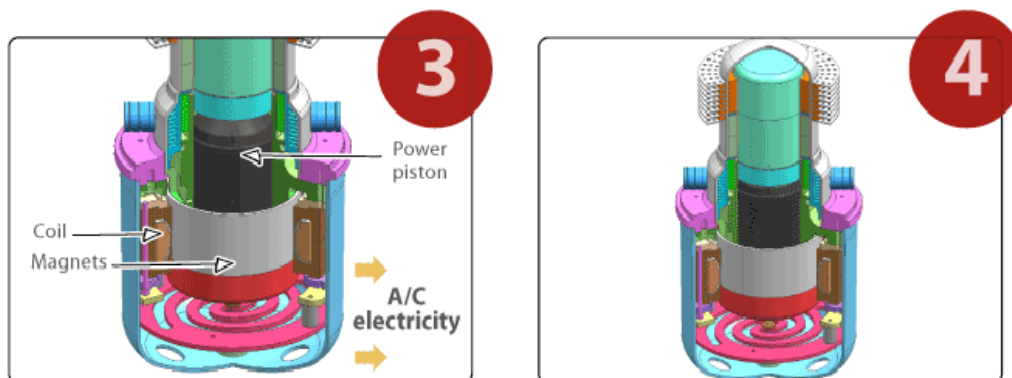
KUVA 4. Whispergenin teknisiä tietoja (20)

Whispergenin moottori toimii niin sanotulla wobble yoke -systeemillä. Tällä mekaniikalla muutetaan edestakainen liike pyörimisliikkeeksi tai päinvastoin. Tämä mekanismi on Whispergenin oma patentti. Moottorin lämmönlähteenä voidaan käyttää melkein mitä vain. (20.)

Microgen Engine Corporation tarjoaa vapaamäntämoottoria. Vapaamäntämoottori toimii muuten samalla lailla kuin normaali alfa stirlingmoottori, mutta tässä mäntiä ei ole yhdistetty kiertoakseliin. Syrjäyttäjämäntä on kiinni tehomännässä, ja heliumkaasun paineen vaihtelut liikuttavat syrjäyttäjämäntää, joka liikuttaa tehomäntää. Tehomännässä on magneetit, jotka muodostavat sylinterissä kiinni olevan kelan kanssa sähkövirran. Vapaamäntämoottorissa on paljon vähemmän liikkuvia osia kuin normaalissa stirlingmoottorissa. Microgen Engine Corporationin kehittämä vapaamäntämoottorin kierto selviää kuvassa 5. (21.)



The displacer moves Helium within the generator from the heated end to the cooled end. The spring keeps the displacer moving up and down. As the Helium is alternately heated and cooled, it expands and contracts, creating a pressure wave inside the generator.

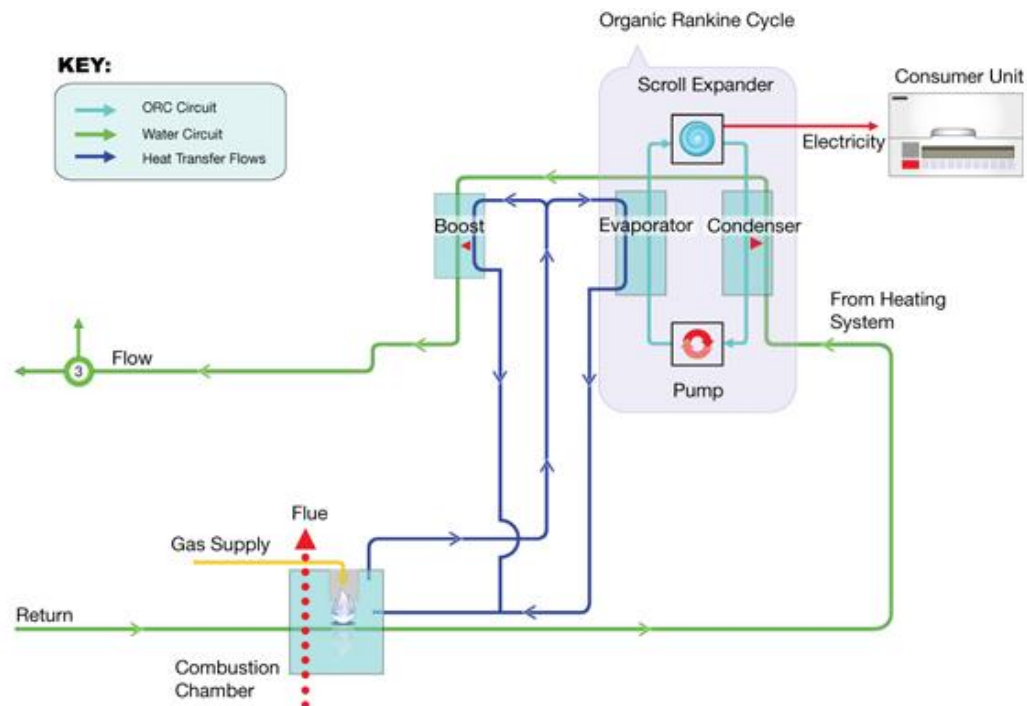


The pressure wave moves the power piston. The power piston includes magnets which move past a stationary coil. This cycle repeats 50 times a second.

KUVA 5. Vapaamäntämoottorin kierto (21)

4.2 Höyrykone

Höyrykoneita on vielä vähän markkinoilla. Energetix Group on yksi, joka tarjoaa rankine periaatteella toimivaa höyrykonetta mikro-CHP käyttöön. Yrityksen Kingston-höyrykoneratkaisuu toimii ORC-periaatteella, eli kiertoaineena toimii orgaaninen neste. Tuotteessa on yksi poltin, joka käyttää polttoaineena maakaasua, mutta yrityksellä on kehitteillä myös biopolttoaineen mahdollisuus tulevaisuudessa. Energetix on kehittänyt yrityksen tuotteensa avainalueita generaattoria, kiertoaineen pumppua ja tehoelektroniikkaa, jotta lämpö siirtyisi koneessa mahdollisimman hyvin. Kuvassa 6 esitetään Energetix groupin Kingston mikro-CHP-laitoksen kiertoprosessi. Tarkemmat tiedot tuotteesta ovat liitteessä 2. (22.)



KUVA 6. Kingstonin kiertoprosessi (22)

4.3 Kuuma kaasuturbiini

Kaasuturbiini mikro-CHP-laitoksia valmistaa MTT, eli micro turbine technology bv. MTT on hollantilainen yhtiö (24). Ensimmäiset tuotteet tulevat markkinoille vuoden 2012 lopussa ja vuoden 2013 aikana. MTT keskittyy tuotteessa alhaisiin investointikustannuksiin, luotettavuuteen, äänenvoimakkuuteen sekä alhaisiin huoltokustannuksiin. Yrityksen sivuilla sanotaan, että tuote maksaa itsensä takaisin 2–5 vuodessa, riippuen ulkolämpötiloista (25). MTT:n tarjoama mikroturbiini järjestelmä tuottaa 3 kW sähkötehoa ja 15 kW lämpötehoa. (25.)

Green Turbine on pieni yhtiö, joka on perustettu vuonna 1997. Green turbinen pääkonttori sijaitsee Alankomaissa, mutta kehitystyötä tehdään myös Yhdysvalloissa. Turbiinien kehittäminen aloitettiin vuonna 2004 ja toimiva prototyyppi saatiin valmiiksi vuonna 2008 (26).

Green Turbine kehittää pieniä turbogeneraattoreita, joilla on suhteellisen hyvä hyötysuhde. Green Turbinen kehittämät mikroturbiinit ovat kompakteja höyry-

turbiineja ulostuloteholtaan 1–15 kW. Green Turbinen hyötyjä muun tyyppisiin generaattoreihin nähden ovat seuraavat:

- korkea teho-painosuhde
- hiljainen käyntiään
- ei ole tärinää
- alhaiset kustannukset
- ulkoinen palamiskammio, eli voidaan käyttää mitä polttoainetta vain.

(27.)

Green turbine valmistaa myös muita komponentteja kuin turbiineja. Yritykseltä voi tilata koko mikro-CHP-järjestelmän komponentit.

1,2 kW tehoiselle turbiinille tulevan höyryn lämpötila pitää olla 200 celsiusastetta ja paine pitää olla 5,2 bar abs. 15 kW tehoiselle turbiinille tulevan höyryn lämpötila pitää olla 200 celsiusastetta ja paine 10 bar abs. Lisätietoja on liitteessä 3. Modernin suunnittelun ansiosta turbiinit eivät tarvitse ohjaussiivekkeitä, mikä parantaa toimintavarmuutta ja kokonaishyötysuhdetta. Kuvassa 7 näkyy Green Turbinen 1,2 kW mikroturbiini (27.)



KUVA 7. 1,2 kW mikroturbiini (27)

5 YHTEENVETO

Suomessa ja Euroopassa on tehty suuria tavoitteita kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ja samalla biopolttoaineiden käytön lisäämiseksi. Vaikkakin vielä fossiilisten polttoaineiden hinta on matalampi kuin biopolttoaineilla, ovat ihmiset tulleet tietoisemmiksi ympäristöasioista ja jotkut ovat valmiita maksamaan vähän korkeampaa hintaa biopolttoaineista. Monella on myös omaa metsää, jota käyttää. Fossiilisten polttoaineiden hinta nousee tulevaisuudessa ja samalla päästövaatimukset kiristyvät. Tämä johtaa siihen, että biopolttoaineet tulevat kannattavammaksi energiantuotannossa. Biopolttoaineet, kuten puu ovat uusiutuvia ja aina saatavissa olevia polttoaineenlähteitä, toisinkuin fossiiliset polttoaineenlähteet. Biopolttoaineita ei kannata kuljettaa kaukaa, koska niiden lämpöarvo tilavuuteen verrattuna on huonompi kuin fossiilisilla polttoaineilla, ja se johtaa suuriin kuljetuskustannuksiin.

Mikro-CHP-laitosten käyttö hajautetussa energiantuotannossa on todella mielenkiintoinen tutkimus- ja kehityskohde tulevaisuudessa. Markkinoilla ei vielä ole kovin monia vaihtoehtoja omakotitalokokoluokassa käytettäväksi, mutta niitä kehitellään koko ajan lisää. Uuden teknologian tuomat mahdollisuudet ja haasteet tekevät mahdolliseksi entistä tehokkaamman yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon. Hajautetulla energiantuotannolla estettäisiin sähkönsiirtoverkon vikaantumisista aiheutuvia sähkökatkoksia ja muutenkin lisättäisiin käyttövarmuutta, koska energiantuotantolaitoksia olisi enemmän.

Tulevaisuudessa tulisi keskittyä kehittämään laitteistojen materiaaleja ja mikro-CHP-laitteistojen kokonaishyötysuhteita sekä lämmönsiirtimien suunnittelua. Näiden ongelmien ratkaisuihin onkin menty jo paljon eteenpäin verrattuna siihen, mikä tilanne oli jokunen vuosi sitten. Yksi ongelma on myös se, miten saataisiin mikro-CHP-laitos toimimaan laadultaan epätasaisemmalla polttoaineella, koska nykyään polttoaineen pitää olla hyvin tasalaatuista. CHP-laitosten hyötysuhde on paljon parempi verrattuna pelkästään sähköä tai lämpöä tuottaviin laitoksiin. Ongelmana yhteistuotannossa on, että sähkön määrä riippuu asiakkaiden lämmön tarpeesta. Kesällä ei tarvitse lämmittää rakennusta yhtä paljon kuin talvella, mutta sähköä tarvitaan. Vaihtoehtoina on päästää liikalämpö ”ha-

rakoille” tai kerätä se esimerkiksi lämpöakkuihin talteen kylmien päivien varalle. Näiden lisäksi yksi tärkeimmistä kysymyksistä mikro-CHP-laitosten tulevaisuuden kannalta on, miten sähkön hinta kehittyy. Se määrittelee loppujen lopuksi, kuinka kannattava kokonaisprosessi on.

Eri tuotantotapoja verrattaessa keskenään nähdään, miten ne eroavat toisistaan. Kuuma kaasuturbiinin suurin etu on yksinkertaisuus: siinä ei ole montaa liikkuvaa osaa, jotka voisivat rikkoutua. Stirlingmoottori on taas monimutkaisin, mutta sitä on kehitetty eniten. Höyrykoneen ja stirlingmoottorin suurimpana etuna on, että ne pystyvät muuttamaan melkein mitä vain lämpöä mekaaniseksi työksi, toisin kuin kuuma kaasuturbiini. Stirlingmoottorin hyötysuhde ja turvallisuus on parempi kuin höyrykoneen, ja myös siksi stirlingmoottori on parempi ratkaisu mikro-CHP-laitokseen. Kuuma kaasuturbiinilla on todella hyvä tehoalue. Sitä saa 1,2 kW tehoisista yli 1 MW tehoisiin asti. Ongelmana niissä on materiaalikysymykset suuret lämpötilat ja pyörimisnopeudet vaativat todella kestävätkä materiaalit ja laakerit.

Lähtökohtana oli miten saataisiin tuotettua sähkö ja lämpö mikro-CHP-laitoksella suomalaiseseen omakotitaloon, jossa saattaa energiantarve olla esimerkiksi arkena melkein 5 kW, kun vedenkeitin ja hiustenkuivaimet ovat päällä. Nykyään markkinoilla olevilla ratkaisuilla saadaan lämpöä tuotettua tarpeeksi omakotitaloon, mutta sähköä ei. Jotta sähköä saataisiin tuotettua tarpeeksi, jouduttaisiin hankkimaan lämpöteholtaan liian suuri mikro-CHP-laitos ja lämpöä jouduttaisiin laittamaan hukkaan. Sopivan mikro-CHP-tekniikan valinta on kiinni monista tekijöistä, mutta tärkein tekijä on tehontarve. Vielä ei ole markkinoilla tehontuotoltaan täydellistä ratkaisua. Monet ratkaisut ovat teholtaan joko vähän liian suuria tai liian pieniä. Stirlingmoottorit ovat teholtaan parhaita omakotitalokokoluokan mikro-CHP-laitoksiin, ja niille luvataan jopa 96 prosentin hyötysuhdetta. Stirlingmoottoreiden valmistajat tarjoavat tuotteita, jotka ovat melkein huoltovapaita, hiljaisia ja helppo asentaa, eli sopivia omakotitaloon esimerkiksi lähiöalueelle.

LÄHTEET

1. Wikipedia. 2005. Vapaa tietosanakirja. Micro combined heat and power. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Micro_combined_heat_and_power. Hakupäivä 19.12.2012.
2. Oulun Eteläisen instituutti. Esittely. Saatavissa: www.oei.fi. Hakupäivä 24.10.2012.
3. Oulun Eteläisen instituutti. Kehittäminen. Saatavissa: www.oei.fi/kehittaminen. Hakupäivä 24.10.2012.
4. Wikipedia. 2003. Vapaa tietosanakirja. Stirling engine. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine. Hakupäivä 18.12.2012.
5. Urieli, Israel 2011. Stirling Engines - Mechanical Configurations. Dept of Mechanical Engineering. Ohio university. Saatavissa: <http://www.ohio.edu/mechanical/stirling/engines/engines.html>. Hakupäivä 13.12.2012.
6. Urieli, Israel 2011. Beta Type Stirling Engines. Dept of Mechanical Engineering. Ohio university. Saatavissa: <http://www.ohio.edu/mechanical/stirling/engines/beta.html>. Hakupäivä 18.12.2012.
7. Urieli, Israel 2011. Gamma Type Stirling Engines. Dept of Mechanical Engineering. Ohio university. Saatavissa: <http://www.ohio.edu/mechanical/stirling/engines/gamma.html>. Hakupäivä 18.12.2012.
8. Harrison, Jeremy 2012. Rankine engine. Micro Combined Heat & Power. Saatavissa: http://www.microchap.info/rankine_engine.htm. Hakupäivä 18.12.2012.

9. Building & Engineering services association 2012. Micro-CHP. Saatavissa: <http://www.b-es.org/sustainability/micro-chp-guidance/>. Hakupäivä 18.12.2012.
10. Auvinen, Risto. Quadrum – höyrymoottori. QUADRUM SteamMotor pienoisvoimala: yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto. Saatavissa: <http://steammotor.fi/?p=info&l=fi>. Hakupäivä 18.12.2012.
11. Micro CHP << Microsteamturbine 2009. Saatavissa: <http://microsteamturbine.wordpress.com/tag/micro-chp/>. Hakupäivä 18.12.2012.
12. Helynen, Satu – Hongisto, Mikko – Hämäläinen, Jouni – Korkiakoski, Martti – Kurkela, Esa – Kytö, Matti – Laurikko, Juhani – Mattila, Lasse – Mäkinen, Tuula – Peltola, Esa – Rosenberg, Rolf – Sipilä, Kari – Viinikainen, Seppo – Vanttola, Timo 2004. Energia suomessa tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. 3. Täysin uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
13. Kautz, Martin – Hanzen, Ulf. The Externally Fired Gas Turbine (EFGT-Cycle) and Simulation of the Key Components. Saatavissa: <http://www.coal2nuclear.com/MSR%20-%20Externally%20Fired%20Gas%20Combustion%20Turbine.pdf>. Hakupäivä 18.12.2012.
14. Ekogen. Teknologia. Saatavissa: <http://www.ekogen.fi/teknologia.html>. Hakupäivä 19.12.2012.
15. Bioenergia. 2012. Motiva. Saatavissa: http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia. Hakupäivä 18.12.2012.
16. Aalto, Mikko 2012. L012785 Bioenergian perusteet 3 op. Opintojakson opimateriaali keväällä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

17. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. 2012. Motiva. Saatavissa:
http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biopolttoaineiden_lampoarvoja. Hakupäivä 18.12.2012.
18. Polttopuut. 2012. Motiva. Saatavissa:
http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puun_pienkaytto/polttopuut. Hakupäivä 18.12.2012.
19. Lämmityskattilat ja tulisijat. 2012. Motiva. Saatavissa:
http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puun_pienkaytto/lammityskattilat_ja_tulisijat. Hakupäivä 18.12.2012.
20. Product specs. 2011. Whispergen– Europe. Saatavissa:
http://www.whispergen.com/productspec_en.php?fm=whispergen&fp=Product%20Specs. Hakupäivä 18.12.2012.
21. Stirling engine, how it works. 2010. Microgen engine corporation. Saatavissa: http://www.microgen-engine.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2:how-it-works&catid=6:stirling-engine&Itemid=27. Hakupäivä 18.12.2012.
22. Kingston in detail – products – Genlec limited. 2011. Energetix group. Saatavissa: <http://www.genlec.com/Products/technology.html>. Hakupäivä 19.12.2012.
23. Kingston standard specifications. 2011. Energetix group. Saatavissa:
<http://www.genlec.com/files/10133%20Genlec%20A4%20Kingston%20insert%20-210911.pdf>. Hakupäivä 19.12.2012.
24. Micro turbine technology 2012. Home. Saatavissa: <http://www.mtt-eu.com/en/home>. Hakupäivä 20.12.2012.
25. Micro turbine technology 2012. MTT's micro CHP system. Saatavissa:
<http://www.mtt-eu.com/en/applications/micro-chp>. Hakupäivä 20.12.2012.
26. Green turbine. About Us. Saatavissa:
<http://www.greenturbine.eu/en/company.php>. Hakupäivä 20.12.2012.

27. Green turbine. product. Saatavissa:

<http://www.greenturbine.eu/en/product.php>. Hakupäivä 20.12.2012.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Anton Pelttari

Tilaaja Oulun Eteläisen instituutti

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Kari Mustajärvi

Työn nimi Tutkimus: Omakotitalo omavaraiseksi sähkön ja lämmön suhteen

Työn kuvaus

Työssä tutkitaan yhdistettyä lämmön- ja sähköntuotantoa omakotitalossa käytettäväksi, jotta saataisiin omakotitalo omavaraiseksi sähkön ja lämmön osalta. Työssä keskitytään höyrymoottoriin, stirlingmoottoriin ja kuuma-kaasuturbiiniin.

Työn tavoitteet

Tavoitteena on kerätä tietoa eri sähkön ja lämmön yhteistuotantotavoista omakotitalossa vanhoista tutkimuksista ja tavoitteena hyödyntää sitä.

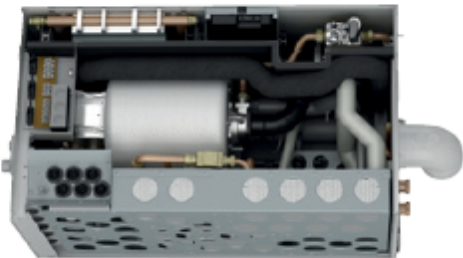
Tavoiteaikataulu Kevät 2013

Päiväys ja allekirjoitukset

Kingston®

a revolution in home energy

standard specifications



PRODUCT CODE: Kingston Delta

GENERAL DETAILS	
Engine	Organic Rankine Cycle (ORC) using steam raising primary HX
Main Burner	Dedicated pre-mix
Generator	Permanent magnet asynchronous, 1.1kW nominal
Installation Type	Wall hung room sealed appliance
Electrical Supply	230 VAC 50 Hz (Nominal grid voltage)
ELECTRICAL OUTPUT	
Nominal Mode	up to 1000 W
THERMAL OUTPUT	
Minimum	7.2kW condensing, 6.8kW non-condensing
Nominal Mode	Fully modulating
Maximum	18.0kW condensing, 16.9kW non-condensing
POWER CONSUMPTION	
Standby	c.10W including boiler standby
Generating	c.200W maximum, losses dependent on power output

FUEL	
Type	Category 12H - 2nd family natural gas
Supply Pressure	17 to 25 mbar (20 mbar nominal)
Supply Conditions	12H-G20-20 mbar
	Also suitable for LPG (propane)

FUEL CONSUMPTION	
Maximum Burner Firing Rate	1.8 m3/hour

CENTRAL HEATING SYSTEM	
Flow Rate (nominal)	13 l/min.
Type	Sealed pressurised, or open vented
Max System Pressure	PMS = Class 2, 3.0 bar maximum
Secondary Thermal Store Flow Temperature	maximum 82°C

DIMENSIONS	
Width x Depth x Height	495 x 425 x 850
Weight (dry)	70kg total weight. Comprises of 40kg boiler and frame, 35kg ORC module. The ORC module is designed for in situ installation or replacement, hence lift weight of 40 and 35kg.

Indicative, for information only, subject to change.
Genlec and Kingston are both registered trademarks of Energetix Group plc



Domestic Heat and Power
the affordable microCHP

Technical Information
and Business Development

Energetix Genlec Ltd
Capenhurst Technology Park
Capenhurst
Chester, UK
CH1 6EH

t. +44 (0) 151 348 2100
f. +44 (0) 151 348 2101
info@genlec.com
www.genlec.com



Green Turbine BV
info@greenturbine.eu
www.greenturbine.eu

GREEN TURBINE™ can be used in a number of different applications:

Concentrated Solar Power (CSP) In combination with solar dishes, parabolic trough, fresnel reflectors and solar collectors.

Biomass. All fuel types are suitable for GREEN TURBINE™. For instance, wood, solar photovoltaic, fossil fuels, fuel cell and biogas.

Waste heat Our product uses relatively low temperatures (from 120° C/248° F onwards). The use of organic fluids is also possible.

Heating units Micro CHP (Micro Combined Heat and Power) for households or small businesses

Shipping industry Small vessels with GREEN TURBINE™ can significantly reduce their emissions

Hybrid vehicle technology Hybrid cars with GREEN TURBINE™ can achieve a 20 – 40% fuel efficiency improvement . The heat from the engine is converted into electricity.

Technical description Green Turbine 1.2 kW

Dimensions:	28 x 18 cm (11 x 7.1 in)
Weight:	8 kg (282 oz)
Inlet conditions:	Superheated steam 5.2 bar abs. Temp. 200°C (392° F)
Outlet conditions:	0.1 bar abs. 40° C (104° F)
Steam consumption for 1.2 kW	0,005 kg/sec
Basic steam rate:	14.5 kg/kWh (steam to electricity after rectification)
Power output:	3 phase AC 1000 Hz, after rectification: DC. Voltage depends upon type of generator. Default is 180 V
Design speed:	30.000 rpm
Speed of steam after nozzle:	> 1000 m/sec
Temperature of turbine housing:	45°C