

# **Biokaasulaitosten käyttöönottosuunnitelma**

Antti Räikkönen

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Räikkönen, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2017
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Biokaasulaitoksen käyttöönottosuunnitelma</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hytönen, Kari Siistonen, Matti		
Toimeksiantaja(t) BioGTS Oy		
Tiivistelmä <p>Suomessa kiinnostus biokaasuteknologian hyödyntämiseen on lisääntynyt nopeasti viime vuosina. Teknologialla voidaan tehdä biojätteistä, lietteistä, eläinten lannasta ja energiasveista päästötöntä energiaa. Biokaasulaitoksen käyttöönottovaihe on tärkeässä roolissa laitoksen valmistumisen kannalta. Käyttöönotto on monivaiheinen prosessi ja vaiheiden toteutumisen seuranta on haastavaa. Käyttöönottoon liittyvien käsitteiden selvitys tuli BioGTS Oy:lle ajankohtaiseksi nopeasti kasvavan myynnin seurauksena.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selventää toimeksiantajalle biokaasulaitoksen käyttöönotossa käytettäviä käsitteitä ja erityisesti termien tehdastesti ja käyttöönotto koestus määritelmiä ja sisältöjä. Tavoitteena oli myös selventää, mitä dokumentteja tarvitaan käyttöönoton erivaiheissa, jotta käyttöönoton seuranta on systemaattista. Selvennysten avulla toimeksiantajalle luotaisiin käyttöönoton organisaatio- ja prosessikaaviokuvaukset. Tavoitteeseen kuului myös tehdä käyttöönoton aikatauluarvio ja ottaa huomioon biologisen prosessin käynnistymiseen menevä aika sekä se, miten turvallisuuteen liittyvä järjestelmä vaikuttaa käyttöönottoon.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperusta kerättiin lähinnä toimeksiantajan materiaalista, haastatte- luista, standardeista ja viranomaisten dokumenteista. Tietoa pyrittiin soveltamaan sopivaksi biokaasulaitoksen käyttöönottoon.</p> <p>Lopputuloksena saatiin luotua selkeät käyttöönoton prosessikuvaukset, organisaatiopohja ja arvio aikataulusta. Käyttöönoton käsitteiden selvitykset tukevat prosessikaavioiden kuvauksia. Tehdyt selvitykset paransivat ymmärrystä biokaasulaitoksen käyttöönoton kokonaisuuden vaikutuksesta aikatauluihin. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää toimeksiantajan laadunhallintajärjestelmän tekemisessä.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) käyttöönotto, biokaasu		
Muut tiedot Lain viranomaisen toiminnan julkisuudesta (621/1999) 24 § perusteella tämä opinnäytetyö on osittain salainen.		

Author(s) Räikkönen, Antti	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 58	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Commissioning plan of a biogas plant</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Kari, Hytönen Matti, Siistonen		
Assigned by BioGTS Oy		
Abstract  <p>Interest towards biogas technology has been growing quickly in Finland during the past years. The technology could use organic waste, sludge, manure or plants to produce emission free energy. Commissioning phase influences the completion of the biogas plant building project greatly. Commissioning is a multiphase process and tracking it can be challenging. Commissioning survey became a current topic for BioGTS Oy after their sales had been growing fast.</p> <p>The goal of the thesis was to examine specifications related to commissioning the biogas plant and specially to examine the specifications of factory acceptance testing and site acceptance testing. The aim was to clarify which documents are needed in different stages of commissioning so its tracking would be systematic. Based on the surveys, process and organization flow charts would be created for the company. Also, the value of commissioning time table was to be calculated and the time that the biological process needs to start and how the safety-related systems affect commissioning were to be considered.</p> <p>The data base of the thesis consists mainly of the company's information, standards and data from the authorities. Information was adapted so that it was suitable for commissioning a biogas plant.</p> <p>As results of the thesis a logical organization and process flow charts and the value of time schedule were created. The specifications in this thesis support the pictures of the charts and they help to understand the whole process and the time that the commissioning takes. The results of the thesis could be used in creating a quality management system for the assignor.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Commissioning, biogas		
Miscellaneous According to section 24 of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999) this thesis is partially confidential.		

## Sisältö

1	Johdanto.....	9
2	Tutkimusasetelma .....	9
	2.1 Opinnäytetyön tavoitteet.....	9
	2.2 Tutkimusote.....	10
3	BioGTS Oy .....	12
4	Biokaasulaitokset .....	14
	4.1 Biokaasuteknologia .....	14
	4.2 Biokaasun tuotannon periaatteet .....	15
	4.3 Biokaasun tuotannon tulevaisuus .....	16
5	Biokaasulaitosten käyttöönotto.....	17
6	Tehdastesti (FAT).....	18
	6.1 Tehdastestissä testattavat ohjelmistot .....	19
	6.2 Tehdastestin dokumentointi .....	20
	6.3 Tehdastestin seuranta .....	21
7	Käyttöönotto-koestus (SAT) .....	21
	7.1 Kylmäkoestus.....	22
	7.1.1 Kylmäkoestusten eteneminen.....	22
	7.1.2 Kylmäkoestusten dokumentointi .....	23
	7.2 Kuumakoestus .....	24
	7.3 Biologisen prosessin käynnistämisen vaihe .....	25
	7.3.1 Biologisen prosessin käynnistys .....	25
	7.3.2 Biologisen prosessin käynnistymisen seuranta .....	26
	7.3.3 Biologisen prosessin häiriötilanteiden hallinta .....	27
	7.4 Virittäminen, häiriötön ajo ja luovutus asiakkaalle.....	27
	7.5 Kuumakoestus- ja loppudokumentointi.....	28
8	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä.....	29
	8.1 Yleistä turvallisuuteen liittyvästä järjestelmästä .....	29

	2
8.2	Vaatusmääritys ..... 30
8.3	Suunnitelmallisuus ..... 30
8.4	Turvallisuuden eheyden tasot ..... 31
8.5	Turvajärjestelmän tarkastukset ..... 33
8.6	Tarkastuslaitos ..... 34
8.7	Määräaikaistarkastukset ..... 34
8.8	TLJ -dokumentointi ..... 35
9	Käyttöönoton organisaatio- ja prosessikaavio ..... 36
9.1	Henkilöiden määritelmät käyttöönnotossa ..... 36
9.2	Käyttöönotto-organisaation prosessikaavio ..... 38
9.3	Käyttöönoton aikatauluarvio ..... 38
10	Tulokset ..... 39
11	Pohdinta ..... 40
11.1	Työn suoritus ..... 40
11.2	Luotettavuus ..... 41
11.3	Jatkotutkimustarpeet ..... 42
	Lähteet ..... 44
	Liitteet ..... 47
	Liite 1. Käyttöönotto-organisaatio
	Liite 2. Käyttöönoton pääprosessit
	Liite 3. FAT&SAT- käyttöönotto-prosessikaavio 1/2
	Liite 4. FAT&SAT- käyttöönotto-prosessikaavio 2/2
	Liite 5. TLJ- käyttöönotto-prosessikaavio 1/2
	Liite 6. TLJ- käyttöönotto-prosessikaavio 2/2
	Liite 7. Biokaasulaitosten käyttöönoton aikataulun arvio
	Liite 8. Testauksen yliviivausesimerkki
	Liite 9. Kylmäkoestusten etenemisen seuranta laitoksella

**Kuviot**

Kuvio 1. BioGTS Oy:n Vironlahden biokaasulaitos .....	13
Kuvio 2. Biokaasulaitoksen prosessit .....	15
Kuvio 3. Yleinen riskigraafi .....	32

**Taulukot**

Taulukko 1. Esimerkki tehdastestin seuraamisesta .....	21
--	----

## Lyhenteet ja määritelmät

### Lyhenteet

ATEX	Atmospeheres explosibles, lainsäädäntö räjähdysherkille tiloille
FAT	Factory Acceptance Test, tehdastesti
HW	Hardware, laitteistot
HMI	Head monitor interface, valvomon käyttöliittymä ts. operaattorin monitori
PSA	Pressure Swing Adsorption, painenvaihteluadsorptio
SAT	Site Acceptance Test, käyttöönottokoestus
S/E/OE	Sähköinen/elektroninen/ohjelmoitava elektroninen
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SIL	Safety Integrity Level, turvallisuuden eheyden taso
SW	Software, ohjelmistot
TAJ	Turva-automaatiojärjestelmä
TET	Turvallisuuden eheyden taso
TLJ	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalikeskus

VFA Volatile fatty acids, haihtuvat rasvahapot

## Määritelmät

### **Biokaasu**

Biokemiallisen prosessin tuloksena esimerkiksi jätteestä syntyvä, pääasiassa metaania sisältävä kaasuseos (Maakaasu tankkausasemaohje n.d.).

### **Biokaasulaitos**

Biokaasulaitos tuottaa biokaasua, jota voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmöntuotantoon tai liikennekäyttöön biopolttoaineeksi (Maatalouden biokaasulaitos n.d.).

### **Biologinen prosessi**

Biokaasuteknologia perustuu mikrobiologiseen prosessiin, jossa hapettomissa olosuhteissa elävät mikrobiryhmät käyttävät eloperäistä ainetta omaan kasvuunsa ja pilkkovat sitä lukuisissa seuraavissa reaktioissa pienemmiksi osiksi. Lopputuotteeksi tulee biokaasua ja käsittelyjäännöstä. (Luostarinen 2013, 10.)

### **Mikrobiymppi**

Biokaasulaitoksen käynnistämiseen tarvittava käsittelyjäännös toiminnassa olevasta biokaasulaitoksesta (Luostarinen 2013, 28).

### **Kuumakoestus**

Kuumakoestuksen tavoitteena on todeta prosessin ja automaatiojärjestelmän toimivuus kokonaisuutena suunnitelluissa todellisissa olosuhteissa. Prosessiin otetaan mukaan todelliset prosessiaineet ja prosessi ajetaan ylös. (Tommila 2001, 75-76.)

### **Kylmäkoestus**

Kylmäkoestuksella tarkoitetaan laitoksen toiminnallista ja I/O- testausta ilman prosessin todellisia raaka-aineita. Kylmäkoestuksen päätavoite on tarkastaa laitoksen toimintakokonaisuuksia mahdollisimman todenmukaisissa, mutta turvallisissa olosuhteissa. (Tommila 2001, 73-74.)



### **Käyttö- ja perusautomaatiojärjestelmä**

Automaatiojärjestelmä, joka pyrkii pitämään prosessin normaalilla ja optimaalisella toiminta-alueella. Perusautomaatio ei sisällä turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä ja sille asetettu turvallisuuden eheystaso vaatimus on lähes aina alle yhden. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007.)

### **Käyttöönottokeustus (SAT)**

Laitoksella suoritettavaa testausta ja prosessin ylös ajoa, jossa todetaan järjestelmän vaatimustenmukaisuus ja toiminta ennen luovutusta. Käyttöönottokeustukseen sisältyy kylmä- ja kuumakoestus. (Rekola 2017.)

### **Käyttöönottosuunnitelma**

Käyttöönottosuunnitelma sisältää laitoksen aikataulut, dokumentit ja edistyksen seurannan. Dokumenteista ilmenee instrumenttien, laitteiden, säätöjen ja logiikan testaukseen ja viritukseen liittyvät asiat. Suunnitelma sisältää käyttöönottoa varten tarkat ohjeet viritys- ja käyttöarvoineen. (Rekola 2017.)

### **Lukitus**

Lukituksella tarkoitetaan vaaraa aiheuttavan toimenpitoon estoa, esimerkiksi estetään venttiilin avaaminen tai pumpun pysäyttäminen sekä käynnistäminen vaaratilanteessa (Turva- automaatio prosessiteollisuudessa 2007). Vaara voi olla ihmiselle, prosessille tai laitteelle (Rekola 2017).

### **Organisaatio**

Organisaatiolla tarkoitetaan henkilöä tai henkilöryhmää, jolla on omia toimintoja, joihin liittyy erilaisia vastuualueita, valtuuksia ja vuorovaikutussuhteita ja joilla se pyrkii saavuttamaan tavoitteensa (SFS-EN ISO 9000:2015, 17).

**Suojaus**

Suojauksella tarkoitetaan pakko-ohjausta, jolla saatetaan ohjatta kohde turvalliseen tilaan olosuhteiden vaatiessa. Suojauksen pitää toimia riippumatta mahdollisista lukuksista tai uusista ohjauksista. Turvallisuuteen liittyvän järjestelmän toiminnot ovat tyypillisesti suojaus. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007.)

**Sähköinen/elektroninen/ohjelmoitava elektroninen (S/E/OE)**

Järjestelmillä tarkoitetaan kyseisellä tekniikalla toteutettua osaa turvallisuuteen liittyvästä järjestelmästä (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007).

**Tarkastuslaitos**

Kolmas osapuoli, joka tekee tarkastuksia toiminnallisesti ja taloudellisesti riippumattomina tarkastuskohteissa. Tarkastuslaitosten toiminta perustuu kansalliseen toimialakohtaiseen lainsäädäntöön. Tarkastuslaitosten tehtävät sisältävät laitteistojen ja laitteiden käyttöönoton sekä käytönaikaiseen toimintaan liittyviä arviointeja ja testejä sekä erilaisia henkilöiden ja organisaatioiden kelpoisuuden arviointeja. (Tarkastuslaitokset 2017.)

**Tehdastesti (FAT)**

Järjestelmätoimittajan tiloissa suoritettavaa testausta, jossa todetaan järjestelmän vaatimustenmukaisuus ja toiminta ennen toimitusta asennuspaikalle (Rekola 2017).

**Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä (TLJ)**

Toteuttaa ohjelmoitavan laitteiston turvallisen tilan saavuttamiseksi tai ylläpitämiseksi tarpeelliset vaaditut turvatoiminnot. TLJ on tarkoitettu saavuttamaan yksin tai muiden S/E/OE turvallisuuteen liittyvien järjestelmien ja muiden riskin vähennysmenetelmien kanssa vaadittujen turvatoimintojen tarpeellinen turvallisuuden eheys. (SFS-käsikirja 631-1 2015, 285) Turva-automaation (TLJ) tarkoituksena on suojata prosessia, laitosta, henkilöstöä sekä ympäristöä mahdollisissa vaara- ja poikkeustilanteissa (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007).

**Turva-automaatiojärjestelmä (TAJ)**

Turva-automaatiojärjestelmä koostuu mittausantureista, logiikkaosasta, ohjattavista kohteista sekä niiden välisestä kaapeloinnista. Turva-automaatio on osa turvallisuuden liittyvää järjestelmää ja siihen ei kuulu käyttö- ja perusautomaatiojärjestelmiä. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007.)

**Vaatusmäärittely**

Vaatusmäärittelyn tarkoituksena on varmistaa, että prosessin toimintaan liittyvät ja toimialaa koskevat vaatimukset (esim. noudatettavat säädökset ja standardit) sekä riskit on otettu riittävän hyvin huomioon turvallisuuteen liittyvässä järjestelmässä (Rekola 2017.)

# 1 Johdanto

Suomessa kiinnostus biokaasuteknologian hyödyntämiseen on lisääntynyt nopeasti viime vuosina. Teknologialla voidaan tehdä biojätteistä, lietteistä, eläinten lannasta ja energiakasveista päästötöntä energiaa. Biokaasuteknologia mahdollistaa tilan energiaomavaraisuuden, lämmön, sähkön ja ajoneuvojen polttoaineen tarpeen suhteen. (Biokaasu n.d.) Kestävän bioenergian osuuden arvioidaan olevan noin puolet kaikesta uusiutuvasta energiasta vuonna 2030 (Huttunen 2017, 105).

Biokaasulaitoksia rakennetaan Suomessa nyt kiihtyvään tahtiin. Biokaasulaitoksen käyttöönottovaihe on tärkeässä roolissa laitoksen valmistumisen kannalta. Käyttöönotto on monivaiheinen prosessi ja vaiheiden toteutumisen seuranta on haastavaa. Hyvällä suunnittelulla voidaan nopeuttaa biokaasulaitoksen käyttöönottoa huomattavasti. Kun tehdastestit ja käyttöönottokoestukset saadaan tehtyä järjestelmällisesti, prosessin käynnistäminen helpottuu. Näin mahdolliset virheet ja ongelmat eivät ilmene käynnistämisen aikana, vaan ne saadaan kitkettä jo testien aikana pois.

Opinnäytetyön toimeksiantaja BioGTS on kotimainen biokaasulaitosten valmistaja. Yrityksen vahva kasvu ja useiden biokaasulaitosten rakennuttaminen samanaikaisesti loivat toimeksiantajan tarpeen selvittää käyttöönottoon liittyvää terminologiaa luoda käyttöönotolle prosessi- ja organisaatiokaavioita.

## 2 Tutkimusasetelma

### 2.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää toimeksiantajalle biokaasulaitoksen käyttöönotossa käytettäviä käsitteitä ja erityisesti termien tehdastesti ja käyttöönottokoestus määritelmiä ja sisältöjä. Tavoitteena oli myös selvittää, mitä dokumentteja tarvitaan käyttöönoton erivaiheissa, jotta käyttöönoton seuranta on systemaattista.

Selvennysten avulla toimeksiantajalle tuli luoda käyttöönoton organisaatio- ja prosessikaaviokuvaukset. Toimeksiantaja voisi kuvausten avulla hyödyntää prosessikaavioita laadunhallintajärjestelmän tekemisessä.

Käsitteiden tehdastesti ja käyttöönottokeustus selvityksessä tuli ottaa kantaa siihen, miten niitä kannattaisi toteuttaa yrityksellä ja selventää käsitteiden eroja. Toimeksiantajan toimintamallissa termit voi helposti sekoittaa keskenään. Turvallisuuden liittyvä järjestelmän kuvaus on tärkeä osa biokaasulaitosten käyttöönottoa, joten siihen liittyvää teoriaa ja toimintatapoja käytiin läpi opinnäytetyössä. Käyttöönottoajassa otettiin huomioon biologisen prosessin käynnistymisen ajan tarve, joka voi kestää useita kuukausia.

Opinnäytetyön tutkimusongelmat kannattaa muuttaa tutkimuskysymyksiksi, koska kysymyksiin on helpompaa vastata kuin tutkimusongelmaan (Kananen 2015a, 68).

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiksi muodostuivat seuraavat asiat:

- Minkälainen organisaatio biokaasulaitoksen käyttöönotossa pitäisi olla ja kuinka kauan arvioilta käyttöönotto kestää?
- Miten käyttöönoton prosessikaavio kannattaa kuvata ja miten se etenee?
- Miten biologinen prosessi vaikuttaa biokaasulaitoksen käyttöönottoon?
- Mitä määritelmät tehdastesti ja käyttöönottokeustus tarkoittavat ja mitä asioita niihin liittyy?
- Miten turvallisuuden liittyvä järjestelmä liittyy käyttöönottoon ja mitä vaatimuksia se tuo käyttöönotolle?
- Minkälaisia dokumentteja käyttöönotossa tarvitaan missäkin käyttöönoton vaiheessa?

Opinnäytetyössä keskityttiin käyttöönoton ongelmakohtiin ja kuvauksiin eikä syvennytä biokaasulaitoksen laitteistojen tai biokaasuntuotannon yksityiskohtaisiin toimintojen kuvauksiin. Työssä ei oteta kantaa mekaanisten ja sähköisten asennusten tai mittauksen menetelmiin eikä työtapoihin.

## 2.2 Tutkimusote

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää yrityksen työtapoja ja tietoisuutta biokaasulaitosten käyttöönottoon liittyvissä asioissa. Tämän takia opinnäytetyö on kehittämis-

tutkimus, joka on tutkimusotteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Kehittämistutkimusta ei yleensä pidetä omana tutkimusmenetelmänä, koska se koostuu useista eri tutkimusmenetelmistä. Kehittämistutkimuksessa käytettäviä tutkimusmenetelmiä valitaan kehittämiskohteen ja tutkimusongelman mukaisesti. (Kananen 2015b, 33.)

Laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus pyrkii ymmärtämään ilmiötä. Sen tavoitteena ei ole ratkaista ongelmaa käytännössä, vaan esittää kuvaus tai ratkaisu ongelmasta. Laadullisen tutkimuksen on määrä vastata kysymykseen ”mistä on kyse?”. Erityisen tarkkojen kysymysten esittäminen ei laadullisessa tutkimuksessa ole mahdollista, koska ilmiötä ei tunneta tarkasti. Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa sanallinen kuvaus ilmiöstä. Tutkimuksessa pyritään ilmiön kuvaamiseen, ymmärtämiseen ja mielekkään tulkinnan antamiseen, eikä yleistyksiin. (Kananen 2015b, 33-35.)

Kvalitatiivisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmiä ovat haastattelut, havainnointit ja dokumentit. Menetelmät voidaan jakaa sekundääri- ja primääriaineistoihin. Primääriaineisto kerätään erityisesti tutkimusta varten ja siihen sisältyy haastatteluista, kyselyistä ja havainnoinnista saatuja aineistoja. Sekundääriaineistolla tarkoitetaan olemassa olevia dokumentteja, jotka liittyvät aineistoihin. (Kananen 2015b, 76.)

Opinnäytetyön sisältö rakennettiin yhteistyössä toimeksiantajan ja ohjaavan opettajan kanssa. Aineistona käytettiin paljon erilaisia dokumentteja, sillä biokaasulaitoksen käyttöönotto on laaja käsite ja sen tietoperustan sisältö koostuu pääosin dokumenteista eli sekundääriaineistosta. Primääriaineistoa kerättiin mm. haastatteluiden, biokaasulaitosten ja käyttöönottokoestusten toimintaperiaatteiden kautta. Tietoa hankittiin Jyväskylän yliopiston ja ammattikorkeakoulun tietokannoista ja perehdyttiin erilaisiin tutkimuksiin biokaasulaitosten toiminnasta. Suurena osana työssä käytettiin toimeksiantajan sisäistä materiaalia. Merkittäviä lähteitä opinnäytetyössä ovat toimeksiantajan sisäinen materiaali, SFS- standardit ja Turvallisuus- ja kemikaalikeskus Tukesin opas turva-automaatiosta. Kerättyyn aineistoon perehdyttiin pääosin lukiemalla ja aineistoa tiivistettiin sekä pyrittiin kiinnittämään huomiota toistuviin käyttönoton termeihin eri aineistoissa.

Tiedon luotettavuuden tärkeys korostui opinnäytetyön aikana, koska suunniteltiin käyttöönotto-organisaatiota ja selkeitä määritelmiä käyttöönotolle. Luotettavuutta pyrittiin parantamaan vertaamalla toimeksiantajan sisäistä tietoa valmiina oleviin standardeihin ja muihin julkaisuihin alaan liittyen sekä käyttämällä useita lähteitä. Saatuja tuloksia käytiin myös tarkasti läpi, jottei väärinkäsityksiä tulisi.

### **3 BioGTS Oy**

BioGTS Oy on suomalainen, kotimaisia tehdasvalmisteisia biokaasu- ja biodiesellaitoksia sekä biojalostamoja valmistava yritys. Yrityksen tuotteen ideana on tarjota asiakkaalle avaimet käteen -periaatteella biokaasulaitos, jonka käytöstä ei tarvitse huolehtia, vaan automaatio hoitaa prosessin ajamisen. Yritys valmistaa laitoksensa omissa tiloissaan Jyväskylässä ja toimittaa valmiit osat suoraan asiakkaan tontille. (BioGTS Oy n.d.)

BioGTS perustettiin 2011, mutta sen varsinainen toiminta alkoi 2013 yrityksen lanseerattua biokaasu- ja biodiesellaitoskonseptinsa. BioGTS työllistää noin 30 työntekijää ja useita alihankkijoita täyspäiväisesti (Rekola 2017). Yrityksen liikevaihto vuonna 2015 oli 5,3 miljoonaa euroa (Asiakastieto 2015).

BioGTS:n biokaasulaitoksen toiminta perustuu kompakteihin ja kustannustehokkaisiin biokaasureaktoreihin. Biokaasureaktorit ovat kokonaisuudessaan tehdasvalmisteisia. Prosessia operoidaan kuivamädätysprosessina, jolloin saadaan huomattavasti korkeammat kuiva-ainepitoisuudet verrattuna perinteisiin biokaasulaitosprosesseihin. Tämän ansiosta saadaan pienennettyä investointi- ja käyttökustannuksia sekä reaktorirakenteiden vaatimaa pinta-alaa. Tehdasvalmisteisten moduulien käyttö reaktorirakenteissa mahdollistaa nopean asennuksen ja käyttöönoton kohteessa. (BioGTS Oy n.d.; Biokaasulaitos n.d.) Kuviossa 1 BioGTS Oy:n Vironlahden biokaasulaitos.



Kuvio 1. BioGTS Oy:n Vironlahden biokaasulaitos (Referenssit n.d.)

Tuotettua biokaasua voidaan hyödyntää sähköinä ja lämpönä tai jalostettuna ajoneuvojen polttoaineena. Yrityksen biokaasuprosessi soveltuu hyvin yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteen, eläinten lannan, kasvibiomassan ja jätevesilietteiden käsittelyyn. Maataloudessa biokaasuprosessin yhteydessä syntyy tuotetun energian lisäksi eloperäistä lannoitetta, jota voidaan käyttää maanparannusaineena. (BioGTS Oy n.d.; Biokaasulaitos n.d.)

Yrityksen biokaasun jalostusyksikön avulla voidaan raakabiokaasusta jalostaa liikennekäyttöön tai maakaasuverkkoon soveltuvaa biometaania. Jalostettua biometaania voidaan käyttää samoissa käyttökohteissa kuin maakaasua, mutta se ei ole haitallista ympäristölle eikä ilmakehälle. Jalostusyksiköllä voidaan jalostaa myös kaatopaikka-kaasusta ajoneuvojen polttoainetta. Yksikön toiminta perustuu PSA-tekniikkaan, jossa hyödynnetään painenvaihtoadsorptiota. Menetelmässä kiinteä aine sitoo itseensä raakabiokaasussa olevan hiilidioksidin ja tarvittaessa myös typen. Muut raakakaasun sisältämät epäpuhtaudet poistetaan tarvittaessa esikäsittelyn yhteydessä.



Puhdas lopputuote on polttoaineena ympäristöystävällinen ja sillä on hyvä hyötysuhde. (Biojalostamo n.d.)

BioBoksi on BioGTS:n liikennebiokaasukonseptissa liiketoimintamalli, joka perustuu biometaaninvalmistukseen, jalostukseen ja jakeluun, mikä tuodaan suoraan liikenneväylien varteen. Bioboksin ajatuksena on lähipolttoaineen valmistus ja jalostus samassa paikassa, jossa se myydään kuluttajille. Raaka-aineet pyritään hankkimaan laitoksen lähialueilta, jolloin biohajoavia jätteitä ja elintarviketeollisuuden biomassoja voitaisiin käyttää paikallisesti. Laitoskokonaisuuden ei tarvitse sijaita kaasuputkiverkoston alueella, vaan se voidaan mahdollisesti rakentaa esimerkiksi liikennöidyn valtaväylän varrelle. Pienimmillään Bioboksi tuottaa noin 100 henkilöauton vuotuiset polttoaineet. (Bioboksi n.d.)

## **4 Biokaasulaitokset**

### **4.1 Biokaasuteknologia**

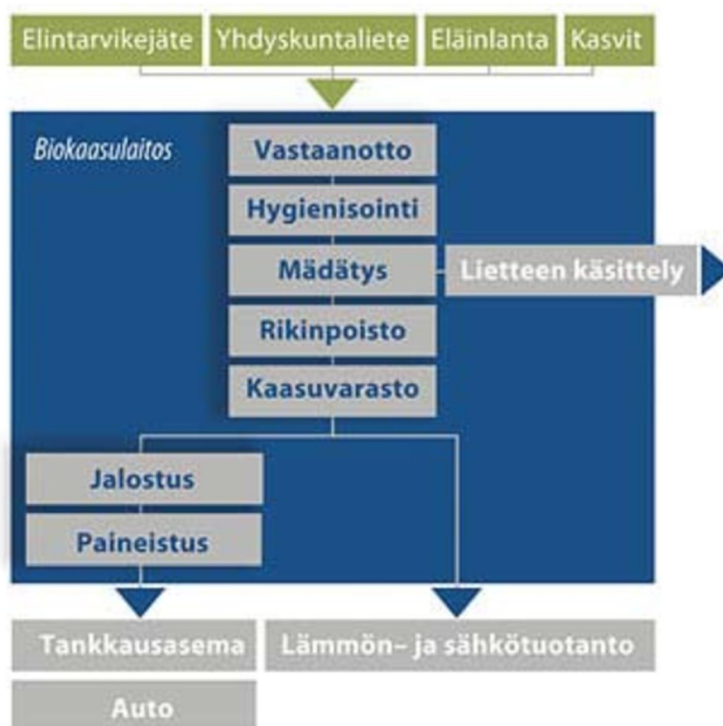
Biokaasuteknologia perustuu mikrobien biologiseen toimintaan, jossa mikrobit hajottavat eloperäistä ainetta hapettomissa olosuhteissa. Hajotuksen lopputuotteena syntyy runsaasti metaania sisältävää biokaasua. Biokaasu tyyppillisesti koostuu noin 40 % hiilidioksidista ja noin 60% metaanista. Biokaasun sisältämä metaani on monipuolinen polttoaine, jota voidaan hyödyntää sähkön ja lämmöntuotannossa sekä työkojen ja ajoneuvojen polttoaineena. (Hyttinen, Sjöholm, Peura & Pakkanen 2013, 13.) Biokaasulaitoksen sivutuotteena syntyvää jäännöstä voidaan käyttää maanparransäätöaineena ja lannoitteena. Tilalla voidaan saada lähes suljettu ravinnekierto hyödyntämällä biokaasuprosessin jäännöstä, jolloin voidaan vähentää kemiallisten lannoitteiden tarvetta. (Biokaasu n.d.)

Biokaasulaitoksen raaka-aineeksi soveltuvia materiaaleja ovat mm:

- eläinten lanta
- yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteet
- puhdistamo- ja sakokaivolietteet
- energiantuotantoa varten viljellyt energiakasvit
- erilaiset kasvituotannon sivutuotteet ja jätteet (Biokaasu n.d.)

Biokaasulaitos on tyypillinen prosessilaitos, joka koostuu kuviossa 2 nähtävistä erilaisista prosesseista:

- Vastaanotossa biomassa otetaan vastaan ja esikäsitellään mädätystä varten.
- Hygienisoinnissa biomassa kuumennetaan mahdollisten haitallisten elementtien poistamiseksi.
- Mädätyksen aikana tuotetaan kaasua ja samalla syntyy lietettä, jota voidaan käyttää kompostina.
- Biokaasusta poistetaan rikkiyhdisteitä ennen kaasun syöttämistä sähkön ja lämmöntuotantoon.
- Kaasu voidaan myös jalostaa tai paineistaa maakaasu tai liikennekäyttöön. (Gustafsson & Stoor 2008, 7.)



Kuvio 2. Biokaasulaitoksen prosessit (Gustafsson & Stoor 2008, 7)

## 4.2 Biokaasun tuotannon periaatteet

Lähtökohtana biokaasuprosessin suunnittelussa ovat käsiteltävän materiaalin ominaisuudet ja määrä, sekä suunniteltu lopputuotteiden hyödyntämistapa. Olemassa on monenlaisia biokaasuprosesseja, kuten kuiva- tai märkäprosesseja, jatkuvatoimisia tai panosperiaatteella toimivia, yksi tai monivaiheisia ja maatilakohtaisia tai keskitet-

tyjä prosesseja. (Biokaasu n.d.) Biokaasulaitos voi olla esimerkiksi yhteismädätyslaitos, jäteveden puhdistamonlaitos, kaatopaikkalaitos tai yhden maatilain laitos. Biokaasuprosessit voidaan tyypitellä mädätettävän kuiva-ainepitoisuuden mukaisesti kuiva- ja märkämädätykseen. Prosessit voivat myös olla jatkuvia tai panosprosesseja sekä yksi tai monivaiheisiä riippuen laitoksen käyttötarkoituksesta. Biokaasulaitoksia voidaan myös toteuttaa kolmella eri lämpötila alueella: ja termofolinen (n.55C), mesofolinen (n.35C) ja psykfrofiilinen (<20C). (Hyttinen ym. 2013, 13.)

Maatilakohtaisissa biokaasulaitoksissa käsitellään useimmiten tilan eläinten tuottama lanta, jonka lisäksi voidaan käsitellä muuta lähialueella syntyynyttä orgaanista jätettä tai kasvibiomassaa. Keskitetyllä biokaasulaitoksella käsitellään esimerkiksi usean maatilain lannat mahdollisesti yhdessä muun orgaanisen jätteen kanssa. Biokaasulaitosten toimintaa ja perustamista säädetään ympäristönsuojeluun, maatalouteen ja energiantuotantoon liittyvien lakien avulla. (Biokaasu n.d.)

### 4.3 Biokaasun tuotannon tulevaisuus

Pääministeri Juha Sipilän hallitusohjelman yksi tavoite on biotalouden ja puhtaiden ratkaisuiden edistäminen. Energialinjauksien kärkihankkeisiin kuuluu lisätä päästöttömän, uusiutuvan energian käyttöä niin, että sen osuus nousee 2020-luvulla yli 50 prosenttiin ja omavaraisuus yli 55 prosenttiin. Tämä perustuu erityisesti bioenergian ja muun päästöttömän uusiutuvan energian tarjonnan lisäämiseen. (Huttunen 2017, 26.)

Biokaasun käyttöä lisättäisiin 1,2 TWh:iin vuoteen 2020 mennessä Suomen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti. Tavoitteeseen pääsemiseksi biokaasulla tuotetun sähkön ja lämmön yhteistuotannon otettiin Suomessa käyttöön syöttötariffijärjestelmä, joka takaa biokaasulla tuotetulle sähkölle hinnaksi 83.50 euroa megawattitunnilta. (Biokaasu 2015.)

Maataloudessa biokaasutuotannon kiinnostusta ovat lisänneet parantuva energiaomavaraisuus, mahdollisuus kaasun hyödyntämiseen ajoneuvokäytössä sekä ympäristönäkökohtien huomioiminen (Huttunen & Kuittinen 2015). Biokaasukäyttöisten

ajoneuvojen kysyntä on ollut viime vuosina kasvussa ja niitä alkaa löytyä autonvalmistajien mallistoista (Biokaasu n.d.). Biokaasusta jalostettu ja puhdistettu biometaanin soveltuu sellaisenaan kaasukäyttöisten ajoneuvojen polttoaineeksi. Tällä tavalla lähes koko metaanin energia sisältö päästään hyödyntämään ajoneuvon polttomootorin hyötysuhteella. Jäteperäinen biometaanin todettiin useissa tutkimuksissa elinkaaritarkastelun parhaaksi biopolttoaineeksi. Ajoneuvoilla, jotka käyttävät kaasua on huomattavasti pienemmät kaasumaisten ja hiukkasmaisten yhdisteiden päästöt sekä alhaisempi melutaso kuin perinteisillä ajoneuvoilla. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 17.)

Lisäksi biokaasulle on asetettu erilaisia ohjaavia toimia lakien, asetusten ja erilaisten luvitus- ja hyväksymisprosessien kautta. Biokaasun käyttöön ja tuotantoon liittyen ei ole erikseen säädetty lakia, vaan biokaasu voidaan soveltuvien osin rinnastaa maa-kaasuun. Lisäksi erilaiset virastot valvovat biokaasun tuotantoon liittyviä prosesseja, kuten elintarviketurvallisuusvirasto Eviran toimialaan kuuluu mädätettävien materiaalien valvonta. (Hyttinen ym. 2013, 26.)

## **5 Biokaasulaitosten käyttöönotto**

Biokaasulaitoksen käyttöönotossa on tärkeää ymmärtää prosessin kokonaisuus, sillä käyttöönottoa tehdään useassa eri vaiheessa laitoksen valmistumisen aikana. Käyttöönoton kestoon asennustyömaalla voidaan vaikuttaa merkittävästi hyvällä käyttöönottosuunnitelmalla sekä tarkoituksen mukaisilla tehdasteilla ja käyttöönotto-koestuksilla. Mitä aiemmassa laitoksen työvaiheessa virhe tai muutostarve havaitaan, sitä halvempaa on sen korjaaminen. Käyttöönotto tehdään laaditun testaussuunnitelman mukaisesti ja sen suunnittelu olisi hyvä aloittaa jo laitossuunnittelun yhteydessä.

Biokaasulaitoksen käyttöönoton haasteet liittyvät biologisen prosessin käynnistämiseen ja osissa tehtäviin käyttöönoton eri vaiheisiin, jotka voivat kestää useita kuukausia. Käyttöönotto-koestuksia ei voida saattaa loppuun, ennen kuin biologinen prosessi on saatu ajettua kokonaan ylös. Tämän takia biokaasulaitoksen käyttöönottoa ja testausta tehdään yleensä osissa laitoksen valmistuessa riippuen asennuskohteen me-

kaanisesta ja sähköisestä valmiudesta. Käyttöönoton eri vaiheita testataan toimittajan tiloissa sekä toimitettuna asiakkaalla. Se hankaloittaa käyttöönoton kokonaisuuden ymmärtämistä ja voi mennä helposti sekaisin, mitä on saatu testattua ja mitä pitäisi vielä testata. Tätä varten tarvitaan selkeät suunnitelmat ja lomakepohjat käyttöönotto-organisaatiolle tehdastestissä sekä käyttöönottokoestuksessa.

Yleisesti biokaasulaitosten käyttöönotossa on tärkeää dokumentoida tehdyt testaukset ja erityisesti jos jotain on muutettu tai jäänyt testaamatta. Järjestelmän tai laitteistojen kehitysehdotukset ja muutokset käyttöönoton aikana pitää kirjoittaa raportteihin tai tarkastuslomakkeisiin selkeästi muistiin.

Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä ja siihen liittyvät standardit ohjaavat myös vahvasti käyttöönoton etenemistä. TLJ:n käyttöönottoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska sen dokumentit annetaan tarpeen mukaan viranomaisille.

Käyttöönotto koostuu useista eri kokonaisuuksista, joista kerrotaan tarkemmin seuraavissa luvuissa:

- tehdastesti (FAT)
- käyttöönottokoestus (SAT)
  - o kylmä- ja kuumakoestus
  - o biologisen prosessin ylösajo
  - o häiriötön ajo
  - o luovutus asiakkaalle
- turvallisuuteen liittyvä järjestelmä
- käyttöönotto-organisaatio

Biokaasulaitoksen käyttöönotto kuvataan prosessikaavioiden avulla liitteissä 2-6 ja arvio aikataulusta liitteessä 7.

## **6 Tehdastesti (FAT)**

Tehdastestillä tarkoitetaan ohjelman testausta toimittajan tai valmistajan tiloissa ennen kuin se viedään käyttökohteeseen. Testauksella varmistetaan ohjelmistojen toimivuus simuloimalla prosessiautomaation mittaukset ja ohjaukset. Tehdastestissä todetaan järjestelmän vaatimustenmukaisuus. Testauksessa voidaan joutua simuloimaan samaan aikaan useita eri mittaus- ja ohjauspiirejä, jotta päästään testaamaan

monimutkaisempien ohjausjärjestelmien toiminta. Tehdastestistä käytetään nimitystä FAT (Factory Acceptance test) ja se yleensä rajataan tekniseen toimivuuteen. (Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito n.d.)

Tehdastestin tarkoituksena on vähentää ongelmien määrää ennen laitteiston asennusta lopulliseen käyttökohteeseen. Tehdastestin tekijöiksi on suositeltavaa käyttää kokeneita työntekijöitä, sillä sen onnistuessa voidaan saada erityistä taloudellista ja ajallista hyötyä. (Prasard 2012.) Mitä aiemmin virheet havaitaan, sen vähemmän resursseja tarvitaan niiden korjaamiseksi.

Testaukset perustuvat aiemmin laadittuihin testaussuunnitelmiin sekä tilanteiden ja työvaiheiden mukaisiin testaustapauksiin (Tehdastestit ja kelpuutus 2014). Sovellussuunnittelija ja automaatioinsinööri suorittavat tehdastestin ja tekevät siitä vaaditut raportit ja pöytäkirjat, joista selviää testauksen edistyminen ja mahdolliset muutokset.

## 6.1 Tehdastestissä testattavat ohjelmistot

Järjestelmän eri laitteita voidaan testata useampia kertoja ja käydä läpi kaikki mahdolliset tilanteet kuluttamatta itse moottoreita. Ohjelmistoja testatessa mahdolliset ongelmat korjataan heti ja niitä testataan niin kauan ennen kuin kyseinen ongelma saadaan korjattua. (Rekola 2017.)

Tehdastestin aikana testataan ohjelmiston

- mittaukset ja ohjaukset
- säätimet
- moottorit
- pumput
- paineilmalla toimivat venttiilit
- hydraulikka venttiilit
- moottoriventtiilit
- sekvenssit
- laskentalohkot
- ryhmäohjaukset
- käsi-asetat
- muut laitteet.

Edellä lueteltuja ohjelmia simuloidaan ja tarkastetaan mm. seuraavien asioiden toimivuutta:

- operointinäyttöjen tietojen täsmävyys kentän kanssa
- lukitukset ja niiden ilmaisut
- hälytykset
- moodien vaihdot
- automaatio ja manuaalijon toiminta
- mittauksen ja säätimien asetusarvot ja lähtöarvot sekä niiden rajoitukset
- sekvenssin askeleiden toimivuus ehtojen mukaisesti ja yhteydet laitteiden ja sekvenssien välillä
- toimintahäiriön toteutuminen, jos askeleiden ehdot eivät täyty
- sekvenssi käyttäytyminen toimintahäiriön jälkeen ja miten virhe tunnustetaan/kuitataan.
- laskentalohkojen tarkistukset ja rajoitukset. (Rekola 2017.)

Tehdastestin prosessikaavio kuvataan liitteessä 2.

## 6.2 Tehdastestin dokumentointi

Tehdastestin aikana pidetään viikoittaista tai päivittäistä päiväkirjaa, jossa nähdään testauksen eteneminen ja mahdolliset ongelma- tai muutoskohdat (Rekola 2017).

Testauksessa tarkastetut piirit merkitään ylös FAT-testauslomakkeeseen. Lisäksi automaation perussuunnittelu dokumentteihin merkitään yliviivaamalla tehdastestissä suoritettavat tarkastukset. Tehdastestin seurannan yliviivaamisesimerkki nähdään liitteessä 8.

Yleensä tehdastestausten aikana huomataan muutostarpeita testattavissa laitteissa ja järjestelmissä. Kaikki huomattavat muutokset ja havainnoinnit on dokumentoitava ja selvitettävä, miksi näin tehtiin. Lopuksi tehdastestauksesta laaditaan FAT- pöytäkirja ja raportti. Näistä dokumenteista selviää, miten testaus eteni ja oliko sen aikana mahdollisia ongelmia, joita voidaan jatkossa karsia. (Rekola 2017.)

Tehdastestaukseen liittyy seuraavia dokumentteja

- sovellusdokumentit
- piirikaaviot
- I/O- lista
- hälytys- ja lukituslistat
- tehdastestauksen (FAT) ohje
- FAT-testaus-/seurantalomake
- päivittäinen/viikoittainen raportointi edistymisestä

- FAT- muutosdokumentit
- FAT- pöytäkirja
- FAT- loppuraportti.

### 6.3 Tehdastestin seuranta

Tehdastestauksen etenemistä voidaan kuvata yksinkertaisella taulukkoon tehtävällä raportoinnilla (ks. taulukko 1). Taulukosta selviää pääpiirteittäin, mitä on testattu ja kuinka paljon testauksen eri vaiheissa ollaan edetty. Taulukko on tehtävä piirikoh- taiseksi, koska eri piireillä on erilainen painotusarvo, joka määräytyy piirien testauksen haasteellisuuden mukaisesti. Esimerkiksi digitaalisten signaalien testaaminen on paljon nopeampaa ja helpompaa kuin sekvenssin tai säätimen testaaminen.

Taulukko 1. Esimerkki tehdastestin seuraamisesta

Nimi	Positio	Testattu [X]	Painotusarvo [1-5]	Huomioitavaa	Testaajat /pvm
Hygienisointi-1	TI-001	x	2	-	XX/XX
Hygienisointi-1	TI-002	x	4	korjattu	XX/XX
Hygienisointi-1					
Hygienisointi-2					
Hygienisointi-2					
Hygienisointi-2					
Hygienisointi-2					
Reaktorin syöttö					
Reaktorin syöttö					
Edistyminen					10%

## 7 Käyttöönottokeustus (SAT)

Käyttöönottokestuksella tarkoitetaan laitoksella suoritettavaa testausta, jossa todetaan järjestelmän vaatimustenmukaisuus ja toiminta ennen käynnistystä ja luovutusta asiakkaalle (Rekola 2017). Käyttöönottokeustukset aloitetaan kylmäkoestuksilla, joiden onnistumisen jälkeen prosessia päästään ajamaan todellisilla prosessiaineilla. Tätä vaihetta kutsutaan kuumakoestukseksi. Kuumakoestuksen aikana laitoksen biologinen prosessi ajetaan ylös. Koestusten ja prosessin viritysten onnistumisen



jälkeen laitoksella pyritään suorittamaan häiriötöntä ajoa 1-3 viikkoa asiakkaan sopimuksen mukaisesti, minkä jälkeen laitos on valmis luovutettavaksi asiakkaalle.

Käyttöönotto-koestuksella varmistetaan myös, ettei tehdastestin ja käyttöönotto-koestuksen välisenä aikana ole ilmennyt ongelmia jo valmiiksi testatuissa järjestelmissä. Tällä tavoin saadaan selville mahdolliset ongelmat logistiikan kanssa. (Hytönen 2017.)

Käyttöönotto-koestuksen eri vaiheissa mukana olevat henkilöt ovat

- käyttöönottaja
- automaatioinsinööri
- sähköinsinööri
- instrumenttitestaaja
- sovellussuunnittelija.

## 7.1 Kylmäkoestus

Kylmäkoestuksella tarkoitetaan laitoksen toiminnallista ja I/O- testausta ilman prosessin todellisia raaka-aineita. Kylmäkoestuksen päätavoite on tarkastaa laitoksen toimintakokonaisuuksia mahdollisimman todenmukaisissa, mutta turvallisissa olosuhteissa. Kylmäkoestuksen aikana käytetään mahdollisuuksien mukaan todellisia ja aitoja parametreja ja asetuksia. (Tommila 2001, 73.)

Kylmäkoestuksen lopputuloksena koko laitos, osaprosessi tai yksikköoperaatio ja sitä ohjaava automaatiojärjestelmä ovat valmiita koeajoon todellisilla prosessiaineilla eli kuuma-koestukseen. (Tommila 2001, 73-75.)

### 7.1.1 Kylmäkoestusten eteneminen

Kylmäkoestukset voidaan aloittaa asennuspäällikön tekemän mekaanisen- ja sähköisen asennusvalmiuden mukaisesti. Asennuspäällikön tehtävänä on ilmoittaa käyttöönotto-organisaatiota mekaanisesta ja sähköisestä asennusvalmiudesta. Kylmäkoestettavien sähkö- ja automaatiokytkentöjen tulee olla kokonaan valmiita kentältä näytölle asti. (Rekola 2017.)

Kylmäkoestukset tehdään käyttöönnotto-ohjeen mukaisesti ja tarkastukset aloitetaan turvallisuuden varmistamisella. Hälytys- ja lukitusrajat ja suojaukset tarkastetaan sekä testataan. Kaikki järjestelmään liittyvät turvalaitteistot tulee testata ja niiden testaustulokset täytyy dokumentoida. Jos laitteiston primäärinen testaus osoittautuu mahdottomaksi, testataan lukitukset ja hätäpysäytykset simuloimalla. (Tommila 2001, 73-75.)

Kylmäkoestuksessa tarkastetaan asennusten oikeellisuus, esimerkiksi sähköurakoitsijan vastuulla ovat sähkökeskusten ja -asennusten tarkastus. Kun asennusten oikeellisuus on todettu, päästään laitteiden ja instrumenttien toiminnalliseen testaukseen ja I/O- testaukseen. Testauksissa edetään tarkastamalla yksi piiri kerrallaan. Lisäksi venttiilit, taajuusmuuntajat ja muut instrumentit parametroidaan ja lopulta saavutetaan valmius kuumakoestuksen aloittamiselle.

Kaikkien biokaasulaitoksen asennusten ei tarvitse olla samanaikaisesti valmiina, vaan edetään testausvalmiuden mukaisesti. Kylmäkoestuksissa on tärkeää kommunikoida asennuspäällikön kanssa, jos testauksen aikana ilmenee tarve mekaanisille muutoksille. (Rekola 2017.)

### 7.1.2 Kylmäkoestusten dokumentointi

Kylmäkoestusten piirikohtainen dokumentointi on tehtävä päivittäin ja sen edistymisen merkitään SAT- testauslomakkeeseen. Jos edistymää ei ole tapahtunut, on syy selvitettävä ja raportoitava eteenpäin. Etenemisestä pidetään myös päivittäistä tai viikoittaista kirjallista raportointia. Kylmäkoestusten etenemistä työmaalla voidaan seurata liitteen 9 mukaisella yliviivaamisella. Kuviossa vihreällä yliviivatut laitteistot ovat testattuja.

Kylmäkoestuksen aikana tulevat muutokset esimerkiksi kaapelointiin, automaatiidokumentteihin, kytkentöihin- ja laitemuutoksiin merkataan piirikaavioihin "punakynällä", jotta muutokset tulevat tehdyksi myös luovutettaviin loppudokumentteihin. Kylmäkoestuksen aikana on tärkeää huomioida myös mittalaitteiden ja laitteiden ATEX- sopivuus, jotta oikeat turvallisuuden tasot täyttyvät. (Rekola, 2017.)

Kylmäkoestuksen valmistuessa tehdään loppuraportti sen etenemisestä ja mahdollisista ongelmakohtista. Kehitysideat raportoidaan suunnittelulle, jotta toimintaa saataisiin kehitettyä jatkossa.

Kylmäkoestuksiin liittyy seuraavia dokumentteja

- käyttöönotto-ohje
- SAT- testauslomake
- automaation perussuunnittelu dokumentit
- viikoittainen/päivittäinen raportointi
- sovellus dokumentit
- piirikaaviot
- I/O- lista
- näyttödokumentit
- etäyhteys dokumentit
- mobiilihälytyslistat
- hälytys ja lukituslistat
- muutosdokumentit
- kehitysideoiden raportointi.

## 7.2 Kuumakoestus

Kuumakoestus voidaan aloittaa onnistuneen kylmäkoestuksen jälkeen ja sen tavoitteena on todeta prosessin automaatiojärjestelmän toimivuus kokonaisuutena todellisissa olosuhteissa. Kuumakoestukseen otetaan mukaan prosessissa käytettävät prosessiaineet ja se ajetaan ylös. Kuumakoestuksessa kaikki prosessin sovellusohjelmat testataan tarvittaessa yksittäin ja laajempina kokonaisuuksina. Osaprosessien ja ulkoisten järjestelmien yhteistoiminta testataan, kuten esimerkiksi tiedonkeruun ja -siirron toimivuus. Lisäksi kuumakoestusten aikana testataan sekä varmistetaan etäyhteyksien ja mobiilihälytysten toiminta. (Rekola 2017.)

Biokaasulaitoksessa on tiloja, jotka on luokiteltu räjähdysvaarallisiksi, joten luokituksen mukaiset varotoimenpiteet tulevat viimeistään voimaan tässä vaiheessa käyttöönottoa. Tämän takia kaikkien turvalaitteiden toimivuus tulee olla tarkastettu, dokumentoitu, hyväksytty ja käyttöönotettu. (Rekola 2017.) Mikäli kylmättestauksen aikana ei päästy todellisiin lämpötiloihin tai paineisiin, tarkastetaan mahdollisesti myös

prosessilaitteiden lämpötilojen vaikutukset prosessiin. (Tommila 2001, 75-76). Järjestelmään liittyvät ATEX- alueet pitää myös olla tarkastettu ja hyväksytty (Rekola 2017).

### 7.3 Biologisen prosessin käynnistämisvaihe

Biokaasuprosessin saaminen käyntiin vaatii tarkkaa prosessien hallintaa ja seuranta. Käynnistysvaihe ja stabiilin prosessitilanteen saavuttaminen voi kestää lyhyimmillään 2-3 kuukautta. Käynnistymisen pituuteen vaikuttaa mm. mikrobiympin sopivuus syötteelle ja biokaasulaitoksen käynnistysvaiheen suunnitelma. Erityisesti, miten nopeasti kuormitusta nostetaan tavoitettuun kuormitustasoon. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 78-79.) Biologista prosessia voidaan alkaa käynnistää käyttöönottokeustusten loppuvaiheessa, onnistuneiden kuumakoestusten jälkeen.

#### 7.3.1 Biologisen prosessin käynnistys

Biokaasulaitoksen biologisen prosessin käynnistämiseen soveltuva mikrobiymppi tuodaan yleensä reaktoriin toiminnassa olevasta biokaasulaitoksesta. Mikrobiymppi on käytännössä käsittelyjäännöstä, jossa elää biologisen prosessin aloittamiseen tarvittavat mikrobipopulaatiot. (Luostarinen 2013, 28.) Mikrobiymppi voidaan tuoda toimivista kuivämädätys- tai märkämädätys biokaasulaitoksista. Kun mikrobiymppi tuodaan kuivämädätyslaitoksesta samalla periaatteella toimivaan laitokseen, biologisen prosessin ylös ajaminen kestää lyhyimmillään 2-3 kuukautta tai pidempään, jos mikrobiymppi tuodaan märkämädätyslaitokselta kuivämädätyslaitokseen. (Retkin 2017.)

Mikrobiympin lisäämisen jälkeen reaktoria täytetään haluttuun nestetilavuuteen ja aletaan nostaa lämpötilaa halutulle korkeudelle. Samalla odotetaan biologisen prosessin käynnistymistä antamalla mikrobeille varovasti, jotain helposti hajoavaa syötemateriaalia ravinnoksi (Luostarinen 2013, 28.) Ravinnoksi kannattaa antaa samaa syötettä, kuin mitä biokaasulaitoksessa tullaan käyttämään. Syötteiden muutokset vaikuttavat prosessin keston ja niiden laimentaminen vedellä taloudellisten syiden takia hidastaa biologisen prosessin toimimista. (Retkin 2017.)

Kuormitusta voidaan alkaa nostaa tavoitellulle tasolle, kun biologinen toiminta voidaan todeta käynnistyneeksi. Kuormituksen nosto kannattaa tehdä portaittain ja hiljalleen antaen prosessille aikaa sopeutua. Kuormituksen lisääminen on hyvä aloittaa alhaisesta tasosta ja nostaa kuormitusta portaittain, kunnes kaasuntuotto ei enää lisääny kuormitusta vastaavasti. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 78-79.) Alussa kuormituksen noston määrä voi olla suurempaa, riippuen syötteestä. (Retkin 2017). Prosessin tavoitekuormitustaso yleensä määritetään etukäteen laboratorion reaktorikokeilla. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 78-79.)

### 7.3.2 Biologisen prosessin käynnistymisen seuranta

Biokaasuprosessin operointia ja syöttöä ei kannata muuttaa liian isoina muutoksina kerralla. Mikrobiologialle tulee antaa aikaa sopeutua uuteen syöttöönsä, joten laitoksen toimintaa seurataan huolellisesti ja testataan tekniikan toimivuutta. (Luostarinen 2013, 28.) Prosessissa seurataan erityisesti seuraavia asioita

- metaanipitoisuutta
- kaasun tuotantoa
- pH
- lämpötilaa
- rasvahappopitoisuuksia (VFA).

Muodostettavan kaasun metaanipitoisuus on oltava 50% ennen kuormituksen aloittamista ja metaanipitoisuudessa ei saa syntyä suuria muutoksia. Myös kaasun tuotannossa ei saisi olla suurata vaihtelua. Lämpötilan vaihtelun olisi hyvä olla +/- 0.5 °C/vrk tai maksimissaan 1-2 °C/vrk. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 64)

Reaktorin pH:n seurannassa sen arvojen pitää pysyä 7-8 välillä. Jos pH-arvo laskee alle seitsemään, se tarkoittaa, että reaktoriin on laitettu liikaa syötemateriaalia. Sen seurauksena biologinen prosessi voi mennä myös ylikuormitustilaan. Ylikuormitustilassa pH arvot laskevat ja kaasun tuotanto pienenee. Tilanne palautetaan normaalkiksi lopettamalla syöttöjen käyttö ja antamalla pH:n nousta 7-8 välille, jonka jälkeen syöttöä voidaan jatkaa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 65)

Myös rasvahappopitoisuuksien (VFA) seuraaminen on hyvä mittari reaktorin käynnistysvaiheessa, koska häiriötilanteissa VFA- pitoisuudet voivat nousta kymmenkertaiseksi. Syöttömäärän lisääminen tyypillisesti nostaa VFA-pitoisuutta ja arvon laskiessa normaalitasolle prosessin on sopeutunut uuteen kuormitustasoon. Prosessi voi siis mahdollisesti palautua kohonneista VFA- arvoista. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 78-79.)

### 7.3.3 Biologisen prosessin häiriötilanteiden hallinta

Hyvällä prosessinhallinnalla voidaan pyrkiä välttämään mahdollisia häiriötilanteita, ja hallinnan tärkeimpiä tekijöitä ovat

- laatu, vakiosyöttö ja kuormitus
- syötteen laadun seuranta
- vakio prosessilämpötila
- pieni partikkelikoko ja syötteen homogeenisyys
- prosessin monitorointi; lämpötila, pH, metaanipitoisuus, VFA, kaasumäärä, koostumus ja ammoniakki.

Häiriötilanteessa on tärkeää selvittää sen syy ja tiedostaa korjaavat toimenpiteet. Biokaasuprosessit ovat yksilöllisiä ja reagoivat muutoksiin eri tavoilla. Tämän takia yhtä yleispätevää ohjetta häiriötilanteiden korjaamiseksi ja välttämiseksi on vaikea tehdä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 78-79.) Myös häiriötilanteen jäljitettävyyden on tärkeää, jotta saadaan selville juurisyy häiriötilanteen aiheuttajalle. (Retkin 2017)

Erityisen haitallisesti prosessin ylös ajamiseen voi vaikuttaa syötemateriaalien mukana tulleita mikrobitoimintaa häiritseviä kemikaaleja, kuten merkittävä määrä antibiootteja tai desinfiointiaineita. Häiriöt näkyvät yleensä biokaasutuotannon ja metaanipitoisuuden laskuna. (Luostarinen 2013, 11)

## 7.4 Virittäminen, häiriötön ajo ja luovutus asiakkaalle

Prosessin virittämistä tehdään mahdollisuuksien mukaan koko käyttöönoton ajan luovutukseen asti. Virittämisessä ja etsitään laitoskohtaisesti sopivat parametrit ja arvot ja testataan laskentojen, yksittäisten säätöjen ja säätökonseptien toimivuus. (Rekola 2017.)

Kuumakoestuksen, biologisen prosessin käynnistämisen ja virittämisen päättyessä onnistuneesti, voidaan biokaasulaitosta pyrkiä ajamaan häiriöttömänä. Laitokselle ajetaan häiriötöntä ajoa asiakkaan sopimuksen mukaisesti noin 1-3 viikkoa, jonka aikana ei tehdä enää suurempia muutoksia laitokseen. Häiriöttömän ajon lopputuloksena järjestelmä on todettu vastaamaan sopimusta laitoksen toiminnallisesta kuvauksesta. Tämän jälkeen laitos voidaan luovuttaa asiakkaalle.

## 7.5 Kuumakoestus- ja loppudokumentointi

Kuumakoestusta tehdään testaussuunnitelmien mukaisesti ja tulokset kirjataan SAT-testauslomakkeeseen ja yhteenveto testausraporttiin. Testauksista tehdään päivittäistä/viikoittaista raportointia. Asennusten ja piiritestausten aikana tehdyt muutokset kytkentäkuviin kirjataan punakynäversioihin, jotka annetaan suunnittelijoille loppullisten kuvien piirtoa varten. Tieto punakynäversioista ja muut muutokset kirjataan muutosten hallintaan, jossa niiden valmistumista seurataan. (Tommila 2001, 74-78.)

Virittämisessä testatut ja käytetyt arvot merkitään automaation perussuunnittelu dokumentteihin ja virityksen edistymisestä kirjoitetaan raportti. Mahdolliset muutokset ja kehitysideat dokumentoidaan ja lähetetään eteenpäin suunnitteluinsinööreille, jotta saadaan kehitettyä ongelmakohtia jatkossa. Lopuksi häiriöttömästä ajosta ja käyttöönotosta kokonaisuudessa tehdään yhteenveto, josta selviää kokonaisuudessa käyttöönoton selostus.

Kuumakoestukseen, virittämiseen, häiriöttömään ajoon ja loppudokumentteihin liittyviä dokumentteja

- viikoittainen/ päivittäinen raportointi edistymisestä/haasteista
- kuumakoestuksen testauspöytäkirja (SAT- testauslomake)
- virittämisen raportointi
- virityksien arvot automaation perussuunnittelu dokumentteihin
- muutosten dokumentointi
- kehitysideoiden raportointi
- häiriöttömän ajon raportti
- yhteenveto käyttöönottokoestuksesta.

## 8 Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä

### 8.1 Yleistä turvallisuuteen liittyvästä järjestelmästä

Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä (TLJ) on laaja osa biokaasulaitoksen käyttöönottoa ja se vaikuttaa merkittävästi käyttöönoton kulkuun.

Turvallisuuteen liittyvän järjestelmä toteuttaa ohjattavan laitteiston tai prosessin turvallisen tilan saavuttamiseksi tai ylläpitämiseksi tarpeelliset vaaditut toiminnot. TLJ tarkoituksena on saavuttaa yksin tai muiden sähköisten, elektronisten, ohjelmoitavien elektronisten järjestelmien, muun teknologian tai ulkoisten riskien vähennyskeinojen kanssa vaadittu turvatoimintojen tarpeellinen turvallisuuden eheys. (Turva-automaatio prosessiteknikassa 2007.) Vaarojen tunnistus ja riskien vähentäminen tulee tehdä systemaattisesti ja dokumentoidusti (Rekola 2017).

TLJ sisältää kaiken laitteiston, tukevat laitteet ja ohjelmistot, jotka ovat tarpeen määritetyn turvallisuuden parantamiseksi. Esimerkiksi tuntoelimet, muut tulolaitteet, toimielimet ja muut lähtölaitteet sisältyvät turvallisuuteen liittyvään järjestelmään. TLJ:t voidaan laajasti jakaa turvallisuuteen liittyviin ohjausjärjestelmiin ja turvallisuuteen liittyviin suojausjärjestelmiin. (SFS-EN 61508-4: 2010, 32.)

Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä tehdään laitoksille riskianalyysin perusteella, jossa selvitetään laitoksen kriittisimmät ja turvallisuuteen vaikuttavat asiat. Riskianalyysin jälkeen selvitetään laitoksen vaatimusten määrittäykset ja turvallisuuden eheyden tasojen laskennat. (Rekola 2017.)

Esimerkkejä turvallisuuteen liittyvistä järjestelmistä

- hätäpysäytysjärjestelmä biokaasulaitoksessa
- koneiden turvalukitus ja hätäpysäytysjärjestelmät
- taajuusmuuntaja, jota käytetään suojalaitteena pyörimisnopeuden rajoittamiseksi
- tietoverkon mahdollistama prosessilaitoksen etävalvonta, etäkäyttö ja etäohjelmointi. (SFS- käsikirja 631-1: 2015, 14.)



## 8.2 Vaatimusmäärittely

Vaatimusmäärittelyn tehtävänä on varmistaa prosessin toimintaan liittyvät ja toimialaa koskevat vaatimukset, kuten standardit ja noudatettavat säädökset sekä riskit on otettu riittävän hyvin huomioon turvallisuuteen liittyvässä järjestelmässä. Turva-automaation määrittelyssä on oltava turvatoimintojen luotettavuuteen ja toteuttamiseen liittyvät tiedot.

Vaatimusmäärittelyn lähtökohtana on laitteiden riskien arviointi ja vaarojen tunnistus sekä niiden perusteella tehty vaatimusmäärittely turvatoiminnoille, joilla riski voidaan pienentää hyväksyttävälle tasolle. Ennakoitavaan väärinkäyttöön liittyvät vaarat ja riskit tunnistetaan ja analysoidaan turva-automaation elinkaaren aikana. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007.)

Määrittelyn ensisijainen riskinvähentäminen tulee toteuttaa muilla todennäköisyyttä sekä seurausta pienentävillä menetelmillä. Riskien vähentäminen ja vaarojen tunnistus tulee tehdä systemaattisesti ja dokumentoidusti. TLJ-järjestelmän on täytettävä voimassa olevat asetukset, lait ja viranomaisvaatimukset. (Rekola 2017.)

## 8.3 Suunnitelmallisuus

Turvallisuuteen liittyvän järjestelmän suunnittelussa tulee noudattaa IEC 61511 standardin mukaisia vaatimuksia sekä sähkö- ja automaatio suunnitteluun liittyviä EN standardeja (Rekola 2017).

Turva-automaation tulee pysäyttää prosessi tai saattaa se muuten turvalliseen tilaan vakavan häiriön sattuessa, eikä se saa aiheuttaa turvallisuuden kannalta tarpeettomia pysäytyksiä. Järjestelmän on oltava suunniteltu ja valmistettu siten, että se on luotettava ja soveltuu hyvin vastaamaan käyttöolosuhteita. Laitteen huoltoa ja koestusta koskevat vaatimukset täytyy myös ottaa huomioon suunnittelussa. (Turva-automaatio prosessisuunnittelussa 2007.)

Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä voi olla suunniteltu estämään vaarallinen tapahtuma tai lieventämään vahingollisen tapahtuman vaikutuksia vähentäen näin riskiä pienentämällä tapahtuman seurauksia. Lisäksi ihminen voi olla osa turvallisuuteen liittyvää järjestelmää esimerkiksi, kun henkilö suorittaa turvatoimenpiteen ohjelmoivalta elektroniselta laitteelta saatavan tiedon perusteella tai elektronisen laitteen kautta. (SFS-EN 61508-4: 2010, 32.)

Turvalaitteiden on oltava muista toiminnoista riippumattomia. Niiden tulee noudattaa laatujärjestelmän mukaisia toiminta- ja suunnitteluperiaatteita, jotta saavutetaan sopiva ja luotettava suojaus. Tällaisiin periaatteisiin kuuluvat erityisesti, turvallinen vikaantuminen, erilaisuus, itsediagnostiikka ja varmennus. (Turva-automaatio prosessisuunnittelussa 2007.)

TLJ-toimintoihin liittyvien komponenttien tulee olla sertifioituja turvallisuuskäyttöön. Muiden komponenttien käyttäminen on myös mahdollista, jos niiden vikatiheys ja soveltuvuus selvitetään ja raportoidaan kirjallisesti. Sertifioimattomien komponenttien osalta tulee tehdä vika- ja vaikutusanalyysi. (Rekola 2017.)

#### 8.4 Turvallisuuden eheyden tasot

Turvallisuuden eheystaso kuvaa vähimmäistä järjestelmän tai laitteen todennäköisyyden vioittumiselle. Turvallisuuden eheystasot jaetaan neljään eri tasoon, joista taso 1 on alin mahdollinen. Yleensä taso 1 annetaan perus-automaation järjestelmille. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007.) Mitä korkeampi turvallisuuden eheyden taso on, sitä pienempi on todennäköisyys järjestelmän epäonnistumiseen turvatoimintojen toteuttamiseksi tai epäonnistuminen ottamaan määritetty tila vaa-dittaessa (SFS- EN 50491-4-1:2012, 31).

Turvallisuuden eheyden eri tasoille on annettu kattostandardissa menetelmä tai tekniikkavaatimuksia, jotka ovat sitä vaativampia, mitä korkeampi on taso. Turvallisuuden eheyden taso vaikuttaa siihen, millaisia laiteteknisiä vaatimuksia annetaan järjes-

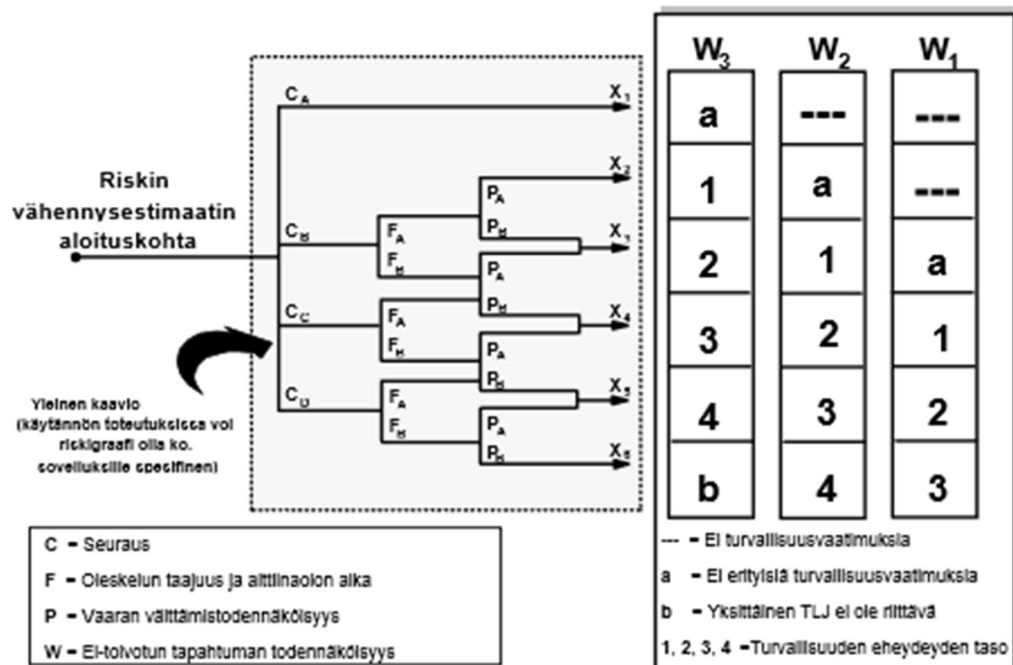
telmän rakenteelle, toimintatodennäköisyydelle ja millaisia arviointivaatimuksia asetetaan järjestelmän riittävyyden sekä vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007.)

Turvallisuuden eheys voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- ohjelmiston turvallisuuden eheys
- systemaattinen turvallisuuden eheys
- laitteiston turvallisuuden eheys (SFS-EN 61508-4:2010, 36).

Määritettäessä turvallisuuden eheyttä on huomioitava kaikki vikaantumisen syyt, jotka voivat johtaa turvattomaan tilaan, esimerkiksi ohjelmiston aiheuttamat vikaantumiset, sähköiset häiriöt ja laitevikaantumiset (SFS-EN 61508-4:2010, 36). Vaaralliset vikaantumiset ja vikaantumiset joita ei huomata, ovat kaikkein kriittisimpiä vikaantumisen muotoja (Rekola 2017).

Eheyden tasoa voidaan määrittää erilaisten riskigraafien avulla. Kuviossa 3 esitetään yleinen riskigraafi.



Kuvio 3. Yleinen riskigraafi (Tommila 2001, 214)

## 8.5 Turvajärjestelmän tarkastukset

Turvajärjestelmän tarkastus vaatii erityistä huomiota, koska sen dokumentit annetaan tarpeen mukaan viranomaisille ja laitoksen omistajille. Turvajärjestelmän testaukset täytyy aina tehdä ensisijaisesti, jotta varmistutaan laitoksen turvallisuudesta. Instrumenttien asennuksiin on myös kiinnitettävä erityistä huomiota. TLJ:n tarkastuksissa käytetään kokeneita testajia asian tärkeyden vuoksi.

Tärkeimpiä primäärisiä turvajärjestelmän tarkastuksia ovat laitteistojen lukituksen testaukset, koska nämä ovat luokiteltuja turvapiirejä. Toissijaisia testauksia ovat ohjelmistojen lukitukset. Tämän takia jokaisessa testauksessa täytyy ohittaa ohjelmistojen lukitukset, jotta varmistutaan lukituksen todella tapahtuvan laitteistojen puolella.

Jos työmaalla ei voida tehdä primääristä testausta turvajärjestelmälle, täytyy siitä kirjoittaa syy testauslomakkeeseen ja todettava millä vaihtoehtoisella tavalla testaus on suoritettu. Vaihtoehtoista tapaa kutsutaan seuraavaksi parhaaksi testaukseksi. (Rekola 2017.)

Turvallisuuteen liittyvän järjestelmän testaus jaetaan tehdastestaukseen (FAT) ja käyttöönottokeestukseen (SAT). Tärkeimpänä asiana tehdastestissä on testata ohjelmistojen lukitukset ja niiden toiminta. Tehdastestauksessa testataan myös sovelluksen toiminta, HMI, ristikytkennät ja hälytykset. Liitteissä 5-6 esitetään tarkemmin tehdastestin ja käyttöönottokeestuksen prosessien eteneminen turvallisuuteen liittyvän järjestelmän näkökulmasta.

Laitoksella suoritettavassa käyttöönottokeestuksessa testataan kaikki turvallisuuteen liittyvään järjestelmään kuuluvat laitteistot sekä turvakenttävälineet, moottorikeskukset ja kaapeloinnit. Turvalaitteet testataan primäärisesti, mittalaitteilta lukitsemaan kohteeseen. (Rekola 2017.)

Laitoksen käynnistymiset ja järjestelmän nousuajat kirjataan ylös ja todennetaan tehdastesteissä ja käyttöönottokeestuksissa. TLJ:n keskusyksiköiden pitää käynnistyä automaattisesti sähkökatkon jälkeen ilman erillisiä toimenpiteitä. Sähkökatkon jälkeen

turvakortit vaativat erillisen kuittauksen, jotta kortit saadaan toimintaan. (Rekola 2017.)

FAT ja SAT -turvallisuuteen liittyvän järjestelmän testien jälkeen on tärkeää verrata testauksien tuloksia ja etenemistä FAT/SAT- suunnitelmiin jotta varmistetaan testausten onnistuminen.

## 8.6 Tarkastuslaitos

Tarkastuslaitosten tarkoituksena on varmistaa laitteiden ja laitteistojen luotettavuus ja tekninen turvallisuus silloin, kun laitteistoja ja laitteita valmistetaan, otetaan käyttöön ja niitä käytettäessä (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007). Tarkastuslaitos on kolmas osapuoli, joka tekee tarkastuksia ja taloudellisesti ja toiminnallisesti riippumattomissa tarkastuskohteissa. Tarkastuslaitosten toiminta perustuu kansalliseen toimialakohtaiseen lainsäädäntöön. (Tarkastuslaitokset 2017.)

Tarkastuslaitoksilla saattaa olla myös omia sertifikaatteja, joita voidaan myöntää laitoksille hyväksytyjä testejä vastaan (Tehdastestit ja kelpuus 2014). Painelaitesäädöksissä turva-automaation tarkastukset liittyvät erityisesti laitekokonaisuuksien arviointeihin ja määräaikaistarkastuksiin (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007). Suomen tarkastuslaitoksia johtaa turvallisuus- ja kemikaalikeskus, Tukes ja esimerkiksi automaation tarkastuslaitoksia ovat Inspecta Tarkastus Oy, Polartest Oy ja VTT. BioGTS:n Suomessa olevien biokaasulaitosten tarkastuslaitoksena toimii Inspecta.

## 8.7 Määräaikaistarkastukset

Kaikille turvallisuuteen liittyvään järjestelmään kuuluville laitteille on määritettävä määräaikaistarkastus- tai testausväli. Määräaikaiskoestusten tavoitteena on todeta TLJ- asemien toimivan edelleen kaikilta osin suunnitellulla ja luotettavalla tavalla. (Rekola 2017.) TLJ:lle tehtävät määräaikaistarkastukset voivat paljastaa turvallisuuden liittyvän järjestelmän piilevät vaaralliset vikaantumiset. Tarpeellinen korjaus voi palauttaa järjestelmän ”kuin uusi”- tilaan tai niin lähelle tätä kuin on käytännöllistä. (SFS-käsikirja 631-1:2015, 285.) Tarkastusten ja mahdollisten korjausten tekemiseen

määritetään vastuuhenkilöt ja koestuksista pidetään erillistä määräaikaispöytäkirjaa. (Rekola 2017.)

Erilaisilla turvallisuuden järjestelmään liittyvillä komponenteilla, laitteistoilla ja toiminnoilla voi olla eri aikavälejä määräaikaistarkastuksille. Mikäli määräaikaistestausvälit poikkeavat normaaleista käytännöistä, ne dokumentoidaan TET-määrittely dokumentissa. Turvatoimintojen määräaikaistestausväli on 3 vuotta ja muuten turvallisuuden liittyvän järjestelmän laitteet tarkastetaan huolto-ohjelman mukaisesti. (Rekola 2017.)

## 8.8 TLJ -dokumentointi

Järjestelmän toteuttamiseksi ja hallitsemiseksi tarvitaan riittävät tiedot turvallisuuden liittyvistä dokumenteista koko prosessin elinkaaren ajalta. Dokumentointi on edellytys sille, että riskien vähennyksen riittävyys voidaan arvioida ja todentaa. Turvalliseen liittyvä dokumentointi pitää muodostaa omaksi selkeäksi kokonaisuudeksi. Dokumentoitavia asioita ovat määritelmät, suunnitelmat ja kuvaukset sekä erilaiset raportit. (Turva-automaatio prosessi teollisuudessa 2007)

Turvallisuuden liittyvän järjestelmän dokumentit käyttöönnotossa

- vaatimusmäärittely
- TLJ HW -todennussuunnitelma
- TLJ FAT -suunnitelma
- TLJ SAT -suunnitelma
- TLJ FAT -pöytäkirja
- TLJ SAT -pöytäkirja
- TLJ toteutuskuvaus
- TLJ muutoksenhallinta
- TET määrittely
- TLJ lukituskaaviot
- TLJ laitteistodokumentit ja piirikaaviot
- TLJ piirikaaviot, kytkentälistat ja I/O luettelot
- TLJ HMI määrittelyt
- TLJ hälytyspisteluettelo.

Kaikki turvallisuuden liittyvien järjestelmien dokumentit kerätään lopuksi erilliseen TLJ- kansioon.

## 9 Käyttöönoton organisaatio- ja prosessikaavio

Biokaasulaitoksen käyttöönotto koostuu useista eri vaiheista ja siihen liittyy paljon erilaisia työtehtäviä, dokumentointia ja turvallisuusstandardeja. Tämän takia käyttöönotto-organisaatiolla täytyy olla selkeät ohjeet, miten järjestelmät testataan ja minkälainen rooli henkilöillä käyttöönotossa on. Organisaation rakenne kuvataan liitteessä 1.

### 9.1 Henkilöiden määritelmät käyttöönotossa

Tässä luvussa käsitellään käyttöönotto-organisaation henkilöiden nimikkeitä ja työtehtäviä. Nimikkeiden tarkoituksena on selventää käyttöönoton organisaatio- ja prosessikaavioiden kuvausta sekä henkilöiden vastuualueita.

#### **Käyttöönottaja**

Käyttöönottaja on päävastuussa käyttöönoton etenemisestä. Käyttöönottaja organisoii käyttöönoton kulkua sekä suunnittelee, toteuttaa ja valvoo aikataulutusta. Ottaa käyttöön asennetut kokonaisuudet ja testaa laitteistoja luotujen testaussuunnitelmien mukaisesti. Henkilön vastuulla on käyttöönoton raporttien kirjoittaminen ja käyttöönotosta syntyvien dokumenttien sekä testausten hyväksyntät. Henkilö varmistaa, että laitteet ja prosessi toimivat suunnitelmien mukaisesti. Lisäksi käyttöönottaja tuntee yksittäisten laitteiden ajotavat.

#### **Instrumenttitestaaja**

Instrumenttitestaajan vastuulla on käyttöönottokoestuksissa (SAT) instrumenttien asennuksien oikeellisuuden tarkastus ja toiminnallinen testaus käyttöönottajan alaisuudessa. Henkilö tekee yhteistyötä automaatioinsinöörin ja sovellussuunnittelijan kanssa testattaessa I/O piirejä. Lisäksi henkilö päivittää piirikaavion edistymää. Käyttöönotossa voi olla useita instrumenttitestaajia ja heidän roolinsa voivat olla erilaisia, kuten testaaja ja ongelmien selvittäjä.

**Sähköinsinööri**

Sähköinsinöörin vastuulla on tarkastaa ja vastata sähkökeskuksien ja asennusten oikeellisuudesta käyttöönottokeustusten (SAT) alussa. Henkilö parametrisoi taajuusmuuntajat ja tarkastaa sekä päivittää sähkökytkentöjen muutokset. Tarvittaessa osallistuu instrumenttien testaamiseen sekä päivittää piirikaavioiden edistymää ja raportoi edistymästä käyttöönottajalle.

**Sovellussuunnittelija**

Sovellussuunnittelija on pääosin mukana tehdastesteissä (FAT) ja osittain käyttöönottokeustuksissa (SAT). Henkilön vastuulla on toteuttaa automaatiojärjestelmän tai ohjelmoitavien logiikoiden sovellusohjelmointi automaatio-suunnittelijan tekemistä toimintakuvauksista.

Henkilö tekee tehdasteissä ja käyttöönottokeustuksissa ilmenneet sovelluksiin liittyvät korjaukset ja muutokset. Kylmäkoestuksissa henkilö tekee tiivistä yhteistyötä instrumenttitestaajan ja sähköinsinöörin kanssa. Kuumakoestuksissa testaa automaatioinsinöörin kanssa käyttöautomaation ja turvallisuuteen liittyvän järjestelmän. Henkilö on vastuussa ohjelmiston toimivuudesta sekä etäyhteyksistä.

**Automaatioinsinööri**

Automaatioinsinööri on vastuussa testaus suunnitelman laatimisesta ja TLJ:n dokumenttien valmistelusta. Henkilö suunnittelee ja tietää miten prosessin pitäisi toimia ja miten käyttöönoton viritykset tapahtuvat sekä tuntee yksittäisten laitteiden ajotavat. Automaatioinsinööri osallistuu vahvasti tehdastestein (FAT) ja käyttöönottokeustuksiin (SAT) laitoksella.

Henkilö on vastuussa TLJ- puolen käyttöönoton toteutuksesta. Henkilö testaa piirejä ja on vastuussa niiden edistymän raportoinnista käyttöönottajalle. Automaatioinsinööri varmistaa kaikkien muutosten, korjausten, ja kehitysideoiden siirtymisestä perussuunnittelu aineistoon ja sitä kautta seuraavan projektin suunnitteluvaiheisiin. Henkilö päivittää dokumentteihin hälytykset, parametrit, mitta-alueet, lukitukset ja muut laitoksen toimintaan liittyvät arvot.



## 9.2 Käyttöönotto-organisaation prosessikaavio

Käyttöönotto-organisaation mallipohja rakennettiin MS Visiolla- ohjelmalla. Mallipohjasta selviää käyttöönotossa mukana olevat henkilöt ja heidän työtehtävänsä käyttöönoton eri vaiheiden aikana. Mallipohjassa edetään käyttöönoton testaus-suunnitelmasta biokaasulaitoksen luovutukseen asti lohkokaaavioiden avulla. Mallissa määritellään mitä dokumentteja missäkin käyttöönoton vaiheessa tarvitaan ja mitä dokumentteja sen aikana täytetään.

Mallipohjiksi tehtiin kolme eri kuvausta käyttöönotto-organisaatiosta ja käyttöönoton kulusta

- Käyttöönotto-organisaatiokaavio perusprosessit (liite2)
- Käyttöönotto-organisaatiokaavio FAT&SAT (liitteet 3-4)
- Käyttöönotto-organisaatiokaavio TLJ (liitteet 5-6).

Käyttöönotosta tehtiin useita eri kuvauksia, jotta ne pysyisivät selkeinä ja ymmärrettävinä. Perusprosessit kaaviossa kuvataan käyttöönoton pääprosessit ja tärkeimmät käyttöönotossa vaadittavat dokumentit. Kaaviossa ei perehdytä tarkemmin mitä prosessien sisällä tapahtuu, vaan edetään isoissa kokonaisuuksissa. TLJ- kaaviossa selvennetään, mistä turvallisuuteen liittyvä järjestelmä koostuu ja mitä vaatimuksia se tuo käyttöönoton eri vaiheisiin. FAT&SAT- kaaviossa käydään tarkemmin läpi, miten tehdastesti ja käyttöönottokoestus etenevät ja mitä dokumentteja niihin liittyy.

## 9.3 Käyttöönoton aikatauluarvio

Käyttöönoton aikataulu jaetaan laitoksen eri osien valmistumisen ja valmiusasteen mukaisesti. Aikaa käyttöönottoon ja sen eri vaiheisiin ennen laitoksen valmistumista voi kestää yhteensä 6-10 kuukautta. Käyttöönoton aikataulu on yleensä suoraan verrannollinen perussuunnittelu aineiston laatuun, erityisesti hyvin suunniteltu ja toteutettu tehdastesti voi lyhentää käyttöönottoon kuluvaan aikaa huomattavasti. Kuitenkaan käyttöönoton eri vaiheiden keston ei voi tehdä tarkkaa ja yleispätevää aikataulutusta, koska testausten kesto on aina projektikohtaista ja riippuu biokaasulaitosten koosta ja tyypistä.

Käyttöönnotossa ei välillä välttämättä pääse ollenkaan tekemään koestuksia, vaan joudutaan odottamaan esimerkiksi laitoksen mekaanista ja sähköistä asennusvalmiutta työmaalla. Tämä arvio käyttöönoton aikataulusta tehtiin erään laajemman BioGTS Oy:n projektin aikataulutuksen avulla, joten pienempien laitoksien käyttöönotto voi valmistua nopeammin. Liitteessä 7 esitetään tarkemmat arviot eri käyttöönoton vaiheiden aikataulutuksesta.

Käyttöönoton päävaiheiden aikatauluarviot

- Tehdastesti (FAT) 1 kuukausi
- Kylmäkoestus 5-6 kuukautta
- Kuumakoestus 5-6 kuukautta
- Biologinen prosessi lyhyimmillään 2-3 kuukautta.

## 10 Tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biokaasulaitoksen käyttöönottoon liittyviä termejä ja niiden määritelmiä sekä niissä tapahtuvat toiminnot, joiden perusteella luotiin käyttöönotto-organisaatiomallipohja ja arviot aikataulusta. Mallipohjista tehtiin selkeitä, jotta käyttöönoton vaiheiden ymmärtäminen paranisi ja raportointi olisi johdonmukaisempaa. Tulokset tulevat selkeyttämään käyttöönoton määritelmiä ja johdonmukaistamaan käyttöönottoa.

Määritelmien selvityksessä tutustuttiin tarkasti biokaasulaitoksen käyttöönoton eri vaiheisiin ja siihen liittyviin standardeihin, joita erityisesti turvallisuuteen liittyvässä järjestelmässä on paljon. Tehdastestauksen ja käyttöönottokoestuksen eri vaiheet käytiin perusteellisesti läpi ja niiden tuloksena selkeytyi, miten käyttöönotto-organisaatiota kannattaisi kehittää järjestelmällisempään suuntaan. Erityisesti dokumentoinnin merkitys eri käyttöönoton vaiheissa korostui selvityksen myötä. Raportin tuloksena yhdistetään myös biologisen prosessin ylös ajamisen vaikutus käyttöönottoon sekä käydään läpi pääpiirteet ylös ajamisen häiriötilanteiden hallinnasta.

Opinnäytetyön raportista tuli selkeä ja johdonmukainen tietopaketti biokaasulaitoksen käyttöönottoon liittyvistä vaiheista ja niiden aikataulujen kestosta. Raportti on

rakennettu tukemaan käyttöönotto-organisaation prosessikaavioita, sillä siinä määritellään kaavioissa esiintyviä termejä ja dokumentteja sekä avataan käyttöönoton työvaiheita tarkemmin. Raportti palvelee toimeksiantajaa jatkossa organisaatiokaavioiden tukena ja käyttöönoton määritelmien selvityksenä. Opinnäytetyössä tehtyjä selvityksiä ja prosessikaavioita käytetään mahdollisesti laadunhallintajärjestelmän luomisessa toimeksiantajalle.

## 11 Pohdinta

### 11.1 Työn suoritus

Käyttöönottoon liittyvien määritelmien selvittäminen oli selvästi opinnäytetyön haastavin osuus, sillä biokaasulaitoksen käyttöönottoon liittyy valtavasti erilaisia työvaiheita ja kokonaisuuksia. Toimeksiantajan käyttöönottoa voidaan tehdä eri vaiheissa riippuen laitoksen koosta ja tyypistä, mikä teki selkeiden määritelmien kirjoittamisesta haastavaa. Haastetta lisäsi se, ettei vastaavaa tutkimusta nimenomaan biokaasulaitosten käyttöönotosta ole tehty aiemmin. Tämän vuoksi hankittua tietoa pyrittiin soveltamaan yhdessä toimeksiantajan materiaalin kanssa juuri biokaasulaitoksen käyttöönoton mukaiseksi. Vaikka opinnäytetyön aihe oli laaja ja haastava, organisaatio- ja prosessikaavioista onnistuttiin tekemään selkeitä ja tavoitteiden mukaisia.

Opinnäytetyössä käytetty teoria pyrittiin rakentamaan niin, että se tukisi käyttöönoton prosessikaaviota. Teorian avulla selviäisi tarkemmin, mitä kussakin prosessikaavio- vaiheessa tapahtuisi ja samalla pyrittiin pitää teorian järjestys mahdollisimman samana, kuin prosessikaaviossa. Opinnäytetyön teoria oli samalla tärkeä osa tavoitteissa olevaa määritelmien selvitystä käyttöönotosta.

Jokaisen biokaasulaitoksen valmistaminen ja käyttöönotto on oma projektinsa, joten kaikki asennukset, syötemateriaalit, laitoksen sijainti ja halutut lopputuotteet vaikuttavat käyttöönottoon. Selvityksistä, prosessikaavioista ja aikataulutuksesta oli haastavaa tehdä yksityiskohtaista ja tarkkaa kuvausta. Tästä syystä määritelmät ja käyttöönotto-organisaatio sekä prosessikaaviot ovat enemmän suuntaa antavia kuin tarkkoja kuvauksia, jolloin tietoa voidaan soveltaa paremmin projektikohtaisena.

Käyttöönoton prosessikaavioita tehdessä oli tärkeää hahmottaa käyttöönnoton eri vaiheet ja niihin liittyvät dokumentit. Dokumenttien valtava määrä ja erityisesti käyttöönnotossa tehtävät muutostyöt sekä niiden raportointi ovat erittäin tärkeitä asioita käyttöönnoton onnistumisen kannalta. Jos muutoksia tehdään ja niiden raportointi ei ole kunnossa, se voi vaikuttaa seuraavienkin laitosten suunnitteluun ja käyttöönnottoon. Samat, aiemmin havaitut virheet jäävät korjaamatta ja käyttöönnotto sekä laitoksen ylös ajo voivat hidastua merkittävästi. Dokumenttien järjestelmällinen laatiminen jokaisessa käyttöönnoton vaiheessa parantaa tehokkuutta. Lisäksi työn aikana selvisi käyttöönnoton suunnittelun laadun merkitys käyttöönnoton aikatauluihin. Jos perussuunnittelu ja tehdastestit tehdään laadukkaasti ja niihin varataan hyvin aikaan, se näkyy laitoksella tehtävässä käyttöönnotossa tehokkuutena ja säästetään siellä tärkeää aikaa.

Opinnäytetyöhön sisältynyt biologisen prosessin ylös ajaminen vaikuttaa huomattavasti käyttöönnoton aikatauluun, koska biologisen prosessin käynnistyminen ja vaiheet voivat viedä useita kuukausia. Biologisen prosessin käynnistämisen aikataulutusta ei voida tarkkaan määrittää sen vaihtuvuuden vuoksi. Esimerkiksi eri syötemateriaalit ja minkä tyyppisestä laitoksesta mikrobiympäristö tuodaan, vaikuttavat käyttöönnottoaikaan. Lisäksi biologisen prosessin toimintaan vaikuttaa biokaasulaitoksen kokoluokka sekä reaktoreiden määrä.

Tämä opinnäytetyö tehtiin biokaasulaitoksia valmistavalle yritykselle ja sen monimutkaista käyttöönnoton selvitystä on vaikeaa hyödyntää muilla aloilla. Raportissa esiintyviä käyttöönnoton määritelmiä muokattiin juuri toimeksiantajalle sopiviksi. Liitteenä olevat dokumentit ovat pääosin vain BioGTS:n käyttöön, koska niissä käsitellään yrityksen sisäistä organisaatiota ja arvioita käyttöönnoton aikataulutuksesta.

## 11.2 Luotettavuus

Opinnäytetyössä käytetty aineisto on pääosin vahvistettua ja sitä on käyty läpi toimeksiantajan työntekijöiden kanssa palavereissa tiedon oikeellisuuden varmistamiseksi. Osa aineistosta on toimeksiantajan jo aikaisemmin käyttämää tietoa, joten

tiedon luotettavuus opinnäytetyössä on vahvistettu. Tiedonhaussa käytettiin mahdollisuuksien mukaan alkuperäisiä lähteitä ja niitä verrattiin toimeksiantajan materiaalin, jotta tieto saatiin todennettua juuri toimeksiantajalle sopivaksi. Aineistossa käytettiin myös standardeja ja turvallisuuskeskuksen ohjeita turvallisuuteen liittyvän järjestelmän selvityksen yhteydessä.

Opinnäytetyössä esiintyviä arvioita aikatauluista pitää tarkastella erittäin kriittisesti, sillä niiden suunnittelussa käytettiin toimeksiantajan aikaisemmin tehtyä aikataulusta suuremman kokoluokan biokaasulaitoksesta. Tämän takia arviot ovat suuntaa antavia ja pienemmissä biokaasulaitoksissa käyttöönottoon kuluva aika voi viedä huomattavasti lyhyemmän aikaa. Aikatauluihin vaikuttaa myös erittäin moni muu asia, joten arvioiden aikavälit tehtiin laajoiksi.

Työssä tehdyt prosessikaaviot eivät välttämättä toteudu joka projektissa samalla tavalla, kuten tässä opinnäytetyössä edetään. Käyttöönottoa voidaan tehdä esimerkiksi enemmän työmaalla tai toimeksiantajan tiloissa riippuen laitoksen tyypistä, kokoluokasta ja toimitusaikataulusta. Tästä syystä prosessikaavoihin ei voida luottaa täysin, vaan niiden etenemistä voidaan soveltaa projektikohtaisesti. Myös käyttöönotossa tarvittavien henkilöiden määrä on osittain projektikohtaista, joten tulokset ovat enemmän suuntaa antavia, kuin tarkkoja kuvauksia.

### 11.3 Jatkotutkimustarpeet

Opinnäytetyössä ei oteta kantaa jatkossa ulkomailla tehtävään käyttöönottoon ja siihen liittyviin asioihin. Jatkossa olisi hyvä selvittää, minkälaiset standardit ja säännökset liittyvät ulkomailla käyttöönotettavaan biokaasulaitoksiin ja erityisesti, missä vaiheessa mitään käyttöönottoa kannattaisi toteuttaa. Esimerkiksi valmistetaanko laitos suurilta osin Suomessa ja tehdäänkö enemmän käyttöönottoa Suomessa vai ulkomailla. Myös ulkomaille menevä käyttöönotto-organisaatio kannattaisi rakentaa juuri siihen sopivaksi, jotta siitä saataisiin kustannustehokasta.

Lisäksi käyttöönotolle voitaisiin myös luoda selkeämpi seurantajärjestelmä, jotta saataisiin tarkempaa dataa, miten kauan missäkin käyttöönotonvaiheessa kuluu. Jatkossa laitokset alkavat olla enemmän samanlaisia ja referenssikohteita tulee olemaan enemmän, joten seurannan tuloksia voitaisiin käyttää käyttöönoton tehokkuuden parantamiseksi. Tällä tavalla voitaisiin mahdollisesti hallita paremmin käyttöönoton resursointia ja aikataulutusta.

## Lähteet

Asiakastieto. BioGTS Oy, taloustiedot. 2015. Viitattu 31.01.2017

<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/biogts-oy/24466155/yleiskuva>

ATEX. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. 2015. Tukesin ohje räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuudesta. Viitattu 28.10.2016.

[http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset\\_aineet/esitteet\\_ja\\_oppaat/ATEX\\_opas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/ATEX_opas.pdf)

BioBoksi. N.d. Esite BioGTS:n bioboksi tuotteesta. Jyväskylä: BioGTS.

BioGTS - biokaasulaitos. N.d. Artikkelit biokaasulaitoksista BioGTS:n verkkosivuilla.

Viitattu 25.01.2017. [www.biogts.fi/biokaasulaitos/](http://www.biogts.fi/biokaasulaitos/)

BioGTS - biokaasun jalostusyksikkö. N.d. Artikkelit BioGTS:n verkkosivuilla. Viitattu

23.01.2017 <http://biogts.fi/kotimainen-ja-laadukas-biogts-biokaasun-jalostusyksikko/>

BioGTS Oy. N.d. Artikkelit yrityksestä BioGTS:n sivustolla. Viitattu 22.1.2017

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

Biojalostamo. N.d. BioGTS:n esite biojalostamo-konseptista. Jyväskylä: BioGTS.

Biokaasu. N.d. Artikkelit biokaasusta BioGTS:n sivustolla. Viitattu 26.1.2017.

<http://biogts.fi/biokaasu/>

Biokaasu. 2015. Motivan artikkeli biokaasusta. Viitattu 15.1.2017

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/energiaa\\_pelloilta/biokaasu](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu)

Gustafsson, M. & Stoor, R. 2008. Biokasaasun hyödyntämisen käsikirja – jätteestä energiakasi ja polttoaineeksi. 2. p. Turku: PBI- Research Institute for Project-Based Industry. Viitattu 9.2.2017.

[www.abo.fi/public/en/media/9578/biokaasunkasikirja\\_web.pdf](http://www.abo.fi/public/en/media/9578/biokaasunkasikirja_web.pdf)

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2015. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 19. Tiedot vuodelta 2015. Joensuu: University of Eastern Finland.

Huttunen, R. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriö. Julkaisu 4/2017.

Viitattu 8.2.2017. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79189>

Hyttinen, T. Sjöholm, P. Peura, P. & Pakkanen M. 2013. Kaasua, Suupohja – Biokaasua. Vaasa: Vaasan yliopiston julkaisu.

Hytönen, K. 2017. Jyväskylän ammattikorkeakoulun teollisuustekniikan opettaja. Palaveri BioGTS:llä. 16.1.2017.

Kananen, J. 2015a. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu opinnäytetyön kirjoittajalle.

- Kananen, J. 2015b. Kehittämistutimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammatti korkeakoulun julkaisu opinnäytetyön kirjoittajalle. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kone- ja proessiautomaationkunnossapito. N.d. Artikkele ohjelmistojen testaamisesta opetushallituksen sivustolla. Viitattu 19.1.2017.  
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/koneautomaatio/ohjelmistoviat.html>
- Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna. Suomen biokaasuyhdistys ry.
- Luostarinen S. 2013. Biokaasuteknologiaa maatiloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi- käytännön kokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta. MTT:n raportti. MTT Jokioinen. Viitattu 27.1.2017.  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-481-6>
- Maakaasu tankkausasemaohje. N.d. Kaasuyhdistyksen suunnitteluohje maa- ja biokaasukäyttöisten ajoneuvojen tankkausasemien suunnitteluun. Viitattu 17.1.2017.  
[http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/oppaat/Maakaasu\\_tankkausasemaohje.pdf](http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/oppaat/Maakaasu_tankkausasemaohje.pdf)
- Maatalouden biokaasulaitos. N.d. BioGTS:n Artikkelele biokaasulaitoksista. Viitattu 26.1.2017. <http://biogts.fi/wp-content/uploads/BioGTS-Maatalouden-biokaasulaitos-esite.pdf>
- Prasad, D. 2012. The Difference Between a FAT and a SAT. Artikkelele Kneat Software:n verkkosivustolla. Viitattu 18.1.2017  
<http://www.kneat.com/2012/03/29/the-difference-between-a-fat-and-a-sat/>
- Referenssit. N.d. Artikkelele ja kuvakokoelma BioGTS:n verkkosivuilla. Viitattu 31.01.2017. <http://biogts.fi/referenssit/virolahden-biokaasulaitoksesta-lampoa-ja-sahkoa-koteihin-seka-virtaa-autoihin/>
- Rekola, A. 2017. Ryhmäpäällikkö. BioGTS Oy. Haastattelu.2017.
- Retkin, R. 2017. Biokaasuprosessi asiantuntija. BioGTS Oy. Haastattelu 22.2.2017.
- SFS-EN 61508-1: 2011. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuden liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 31.1.2017.  
<https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 61508-4: 2010. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuden liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 31.1.2017. <https://janet.finna.fi/>, SFS.



SFS-EN 61508-5: 2011. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 5: Esimerkkejä menetelmistä turvallisuuden ehedyn tasojen määrittämiseksi. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 1.2.2017

SFS-EN 50491-4-1:2012. Yleiset toiminnallisen turvallisuuden vaatimukset rakennusten elektronisiin järjestelmiin (HBES) ja rakennusautomaatio- ja ohjausjärjestelmiin (BACS) integroitaville tuotteille. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 29.1.2017 <https://janet.finna.fi/>, SFS

SFS-EN ISO 9000: 2015. Laadunhallintajärjestelmä. Perusteet ja sanasto. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 8.2.2017. <https://janet.finna.fi/>,

SFS-käsikirja 631-1. 2015. Automaatio. Osa 1: Toiminnallinen turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-käsikirja 631-2. 2012. Automaatio. Osa 2: ohjelmointi ja dokumentaatio. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Tarkastuslaitokset. 2016. Artikkelit tarkastuslaitoksista Tukesin verkkosivustolla. Viitattu 27.1.2017. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Tarkastuslaitokset/>

Tommila, T. 2001. Laatu automaatiassa: parhaat käytöt. Helsinki : Suomen automaatio seura.

Tehdastestit ja kelpuus. 2014. Metropolian artikkeli Turva-automaatiosta. Viitattu 26.1.2017. <https://wiki.metropolia.fi/display/alykas/Tehdastestit+ja+kelpuus>

Tukes. 2016. Tietoa meistä. Artikkelit turvallisuus- ja kemikaaliviraston sivuilla. Viitattu 22.2.2017. <http://tukes.fi/fi/Tietoa-meista/>

Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. 2007. Turvatekniikan keskuksen opas turva-automaatiosta. Viitattu 31.01.2017. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit\\_kaasu/Turva-automaatio\\_prosessiteollisuudessa.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Turva-automaatio_prosessiteollisuudessa.pdf)

## **Liitteet**

Liite 1. Käyttöönotto-organisaatio

Liite 2. Käytönoton pääprosessit.

Liite 3. FAT&SAT- käyttöönotto-prosessikaavio 1/2

Liite 4. FAT&SAT- käyttöönotto-prosessikaavio 2/2

Liite 5. TLJ- käyttöönotto-prosessikaavio 1/2

Liite 6. TLJ- käyttöönotto-organisaatiokaavio 2/2

Liite 7. Biokaasulaitoksen käyttöönoton aikataulun arvio



Liite 8. Testauksen yliviivaamisesimerkki

Liite 9. Kylmäkoestusten etenemisen seuranta laitoksella