

# **Räjähdyksvaarallisuuden vaikutus bio- kaasulaitoksen suunnitteluun**

Nina Sallinen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2016  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Sallinen, Nina	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2016
	Sivumäärä 115	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Räjähdysvaarallisuuden vaikutus biokaasulaitoksen suunnitteluun</b>		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Ari Kuisma, Marjukka Nuutinen		
Toimeksiantaja(t) BioGTS Ltd.		
Tiivistelmä  <p>Räjähdysvaarallisiin tiloihin ja laitteisiin liittyvä direktiivi 2014/34/EU astui voimaan 20.4.2016 kumoten aiemman laitedirektiivin 94/9/EY. Vaikka uuden direktiivin myötä tekniset vaatimukset pysyivät pääosin muuttumattomina, vaati se päivityksiä lainsäädäntöön.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biokaasun räjähdysvaarallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä sekä vaatimuksia ja niiden vaikutuksia biokaasulaitoksen suunnitteluun. Selvityksen pohjalta luotiin suunnitteluohje kaasuräjähdysvaarallisten tilojen tilaluokituksien ja laitevalintojen tekoon. Opinnäytetyössä selvitettiin myös erityisesti biokaasun tuotantolaitoksiin liittyviä vaatimuksia ulkomailla sekä räjähdysvaarallisten kaasujen aiheuttamia onnettomuuksia ja niiden seurauksia Suomessa sekä ulkomailla. Opinnäytetyöhön sisältyi kaksi koulutusta toimeksiantajan henkilöstölle. Koulutukset perustuivat opinnäytetyön sisältöön ja niiden tavoitteena oli antaa tietoa räjähdysvaarallisissa tiloissa työskenteleville turvallisuuden parantamiseksi sekä suunnitteluhenkilöstölle yhteistyön helpottamiseksi BioGTS:n työntekijöiden ja alihankinnan välillä.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperusta koostuu pääosin ATEX-direktiiveihin perustuvasta lainsäädännöstä, standardeista sekä alan SFS-käsikirjoista.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvyys räjähdysvaarallisuuteen vaikuttaviin standardeihin ja lainsäädäntöön sekä suunnitteluohje helpottamaan räjähdysvaarallisten tilojen suunnittelua sekä niihin liittyviä laitevalintoja. Opinnäytetyöhön sisältyneet koulutukset selvensivät henkilöstölle, millaisia vaatimuksia räjähdysvaarallisuus asettaa työnantajalle ja vaaroja räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentelyyn liittyä.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) ATEX, biokaasu		
Muut tiedot Laki viranomaisen toiminnan julkisuudesta (621/1999) 24 §:n mukaan salassa pidettäviä ovat asiakirjat, jotka koskevat esimerkiksi kunnan liike- tai ammattisalaisuuksia. Liikesalaisuuden julkittulo voi aiheuttaa yritykselle tappioita ja aiheuttaa kilpailijoille taloudellista hyötyä. Liikesalaisuus voi olla myös tekninen salaisuus. Tämän vuoksi opinnäytetyö on osittain salattu.		

Author(s) Sallinen, Nina	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2016  Language of publication: Finnish
	Number of pages 115	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Impact of explosion hazard on designing a biogas plant</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Kuisma, Ari Nuutinen, Marjukka		
Assigned by BioGTS Ltd.		
Abstract  <p>ATEX Equipment Directive 2014/34/EU came in to effect 20.4.2016 and abolished previous directive 94/9/EY. The technical requirements are mainly unchanged, but upgrading causes changes in the law nonetheless.</p> <p>The aim of the thesis was to examine the requirements and the legislation related to the production of biogas. The guidelines for planning were created on the basis of the report. The planning guidelines include instructions for classifying hazardous areas and selecting devices for the potentially explosive areas. The thesis also includes a short report on the specific requirements for biogas production facilities abroad and accidents caused by biogas or methane. The thesis included two training sessions on the contents of the report. The objective was to increase the knowledge of planning requirements in hazardous areas and to improve the safety in working in potentially explosive areas.</p> <p>The data base consists mainly of legislation based on ATEX-directives, standards and SFS hand books which are based on the Finnish standards.</p> <p>The results of the thesis included a guideline for planning in hazardous areas and a report on the necessary standards that need to be followed. The related training sessions clarified what kind of requirements need to be considered during the planning process of a biogas plant and increased the safety in working in potentially hazardous areas when the employees know the risks of explosive gases.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) ATEX, biogas		
Miscellaneous According to section 24 of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999) any official documents containing business or professional secrets of a municipality are to be kept in secrecy. Publishing a business secret may cause losses to an entity or economic benefit to a competitor. In addition, a business secret may be a technical secret. For these reasons this thesis is partially confidential.		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	4
1.2	Aiheen rajaus.....	5
1.3	Tutkimusasetelma .....	5
1.4	Tietoperusta .....	7
1.5	Tavoitteet .....	7
<b>2</b>	<b>Lyhenteet ja määritelmät .....</b>	<b>8</b>
2.1	Lyhenteet.....	8
2.2	Määritelmät.....	10
<b>3</b>	<b>Biokaasu.....</b>	<b>14</b>
3.1	Biokaasun tuotanto .....	14
3.2	Biokaasun jalostus .....	15
<b>4</b>	<b>BioGTS.....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Räjähdyksvaarallisten tilojen määräykset.....</b>	<b>20</b>
5.1	Direktiivit .....	20
5.2	Lainsäädäntö .....	21
5.3	Standardit .....	22
5.4	Biokaasulaitteistoihin liittyvät määräykset ulkomailla .....	24
<b>6</b>	<b>Räjähdyksvaaralliset tilat.....</b>	<b>25</b>
6.1	Räjähdyksvaarallisten tilojen luokittelu .....	25
6.1.1	Tilaluokitukset.....	26
6.1.2	Ilmanvaihdon vaikutus tilaluokkiin.....	27
6.2	Räjähdyksvaaran arviointi .....	28
6.2.1	Räjähdyksen syntyminen .....	28
6.2.2	Päästölähteet.....	29
6.2.3	Laitteiden aiheuttamat syttymislähteet .....	31
6.2.4	Riskin arviointi .....	33

	2
6.2.5 Räjähdyksen esto ja suojaus.....	34
6.3 Räjähdyssuojausasiakirja.....	36
6.4 Räjähdysvaarallisten tilojen merkitseminen .....	38
<b>7 Räjähdysvaarallisten tilojen laitteet.....</b>	<b>38</b>
7.1 Laiteryhmät .....	39
7.2 Laiteluokat.....	39
7.3 Räjähdyssryhmät.....	41
7.4 Lämpötilaluokat.....	41
7.5 Räjähdyssuojaustaso EPL.....	42
7.6 Räjähdyssuojausrakenteet .....	43
7.6.1 Mekaanisien laitteiden räjähdyssuojausrakenteet .....	43
7.6.2 Sähkölaitteiden räjähdyssuojausrakenteet .....	46
7.7 Merkinnät .....	50
7.7.1 Ex-merkintä.....	51
7.7.2 Lisämerkinnät .....	53
7.7.3 CE-merkintä .....	53
<b>8 Räjähdysvaarallisuuden liittyvät onnettomuudet.....</b>	<b>55</b>
8.1.1 Onnettomuudet Suomessa.....	55
8.1.2 Onnettomuudet ulkomailla .....	57
8.1.3 Räjähdysvaarallisuuden liittyvien onnettomuuksien välttäminen.....	58
<b>9 Tulokset .....</b>	<b>59</b>
<b>10 Pohdinta.....</b>	<b>60</b>
10.1 Työn suoritus .....	61
10.2 Luotettavuus.....	62
10.3 Jatkoselvitystä vaativat asiat .....	63
<b>Lähteet .....</b>	<b>65</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>75</b>
Liite 1. Suunnitteluohje	

## Liite 2. Tilaluokituspiirustus

### Kuviot

Kuvio 1. Biokaasulaitoksen prosessit .....	16
Kuvio 2. Biokaasureaktorit .....	18
Kuvio 3. Biokaasun jalostusyksikkö .....	19
Kuvio 4. Standardoinnin tasot .....	22
Kuvio 5. Tilaluokkien piirrosmerkit tilaluokituspiirustuksessa .....	27
Kuvio 6. Räjähdysskolmio .....	29
Kuvio 7. Räjähdyssuojaustoimenpiteiden tärkeysjärjestys .....	34
Kuvio 8. 1999/92/EY mukainen EX-merkki .....	38
Kuvio 9. Eri tilaluokissa käytettäviksi tarkoitettut laitteet .....	40
Kuvio 10. Esimerkkejä Ex-laitteen merkinnästä .....	51
Kuvio 11. Mekaanisen laitteen Ex-merkintä .....	52
Kuvio 12. Ex-laittemerkintä .....	52
Kuvio 13. Lisämerkinnät .....	53
Kuvio 14. CE-merkintä .....	54

### Taulukot

Taulukko 1. Laiteryhmien soveltuvuus räjähdysryhmiin .....	41
Taulukko 2. Laitteiden lämpötilaluokat sekä kaasujen ja höyryjen syttymisryhmät ...	42
Taulukko 3. EN 60079 -standardien vastaavuus ATEX-direktiiviin .....	43
Taulukko 4. Räjähdyssuojausrakenteiden sopivuus laiteluokkiin .....	44
Taulukko 5. Kuvaukset räjähdysuojausrakenteista mekaanisille laitteille .....	44
Taulukko 6. Kuvaukset räjähdysuojausrakenteista sähkölaitteille .....	47
Taulukko 7. Räjähdyssuojausrakenteen sopivuus laiteluokkiin .....	47

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäviin laitteisiin liittyvä Euroopan yhteisön direktiivi 2014/34/EU, niin sanottu laitedirektiivi, astui voimaan 20.4.2016 kumoten aiemman direktiivin 94/9/EY. Vaikka uuden direktiivin myötä tekniset vaatimukset pysyvät pääosin muuttumattomina, nostaa direktiivin päivitys räjähdysvaarallisuuden kuitenkin uudelleen keskusteluun tehden opinnäytetyöstä ajankohtaisen. (ATEX. Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 4; Lehtinen 2016, 13; Lisätietoa ATEX-laitedirektiivistä 2016.)

Räjähdyksvaarallisuuteen liittyy paljon niin standardeja, ohjeita kuin lainsäädäntöäkin, joihin tämä opinnäytetyö hakee selvyttä. Lisäksi biokaasua koskee joiltakin osin myös maakaasua koskeva lainsäädäntö. Tästä syystä toimeksiantaja toivoi selvyttä erityisesti biokaasua koskeviin vaatimuksiin ja määräyksiin. Opinnäytetyön tavoitteena on selventää toimeksiantajalle biokaasulaitteistojen räjähdysvaarallisuuteen liittyviä vaatimuksia selkeänä kokonaisuutena, jolloin niiden noudattaminen olisi helpompaa. Ratkaisuna epäselvyyteen luotiin suunnitteluohje (liite 1), jossa käsitellään biokaasun tuotanto- ja jalostuslaitteistoihin liittyviä vaatimuksia. Suunnitteluohjeesta pyrittiin saamaan lyhyt ja selkeä kokonaisuus, jonka avulla biokaasulaitoksen räjähdysvaarallisuuteen liittyvät suunnitelmat ovat helpompi tehdä.

Suomessa voimassa olevien vaatimusten lisäksi työssä selvitetään biokaasulaitoksiin liittyviä vaatimuksia ulkomailla. Tavoitteena ei ole selvittää lakien ja standardien tarkkaa sisältöä, vaan verrata niitä ATEX-direktiivien vaatimuksiin. Opinnäytetyössä käsitellään myös biokaasuun liittyviä onnettomuuksia ja niiden seurauksia sekä tarkastellaan keinoja välttää vastaavat onnettomuudet tulevaisuudessa.

Aihe on yleisesti paljon käsitelty, sillä valtioneuvoston asetuksen A 18.6.2003/576 5§:n pykälän mukaan jokainen työnantaja on velvollinen selvittämään räjähdyskehoisuuden ilmaseoksen aiheuttamat vaarat. Lisäksi aiheesta on myös tehty useita opinnäyte- ja diplomitöitä, joihin tätäkin työtä tehdessä on tutustuttu.

## 1.2 Aiheen rajaus

Opinnäytetyössä käsitellään biokaasun tuotantoon ja jalostamiseen käytettäviä laitteistoja, joita toimeksiantaja valmistaa. Opinnäytetyötä voi soveltaa muihinkin kaasuräjähdyksvaarallisiin tiloihin erityisesti räjähdysvaarallisuutta yleisesti käsitteleviltä osin.

Pölyräjähdysvaaralliset tilat jäivät käsittelyalueen ulkopuolelle, koska pölyräjähdysvaarallisia tiloja ei esiinny tarkasteltavissa biokaasulaitteistoissa. Opinnäytetyö ei ota kantaa biokaasun tuotantoprosessiin ja siihen liittyviin laitevalintoihin, vaan keskittyy ainoastaan laitteiden ja tilojen räjähdysvaarallisuuteen. Opinnäytetyössä ei käsitellä myöskään kaivosympäristöön liittyviä räjähdysvaarallisuuteen liittyviä vaatimuksia.

## 1.3 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää toimeksiantajan työtapoja liittyen räjähdysvaarallisten tilojen suunnitteluun sekä antaa tietoa aiheesta toimeksiantajan työntekijöiden keskuudessa. Tästä syystä opinnäytetyö on selkeästi kehittämistutkimus, joka on tutkimusotteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Kananen mukaan kehittämistutkimusta ei pidetä omana tutkimusmenetelmänä, sillä se koostuu useista eri tutkimusmenetelmistä. Kehittämistutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät valitaan tutkimusongelman ja kehittämiskohteen mukaisesti. (Kananen 2015a, 33.)

Kananen (2015b, 29) kuvailee laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen pyrkivän ymmärtämään ilmiötä. Sen tavoitteena ei ole ratkaista ongelmaa käytännössä, vaan esittää ratkaisu tai kuvaus ilmiöstä. Laadullinen tutkimus vastaa kysymykseen ”mistä on kyse?”, eikä eksaktien kysymyksien esittäminen ole mahdollista, koska ilmiötä ei tunneta. Tutkimus tuottaa sanallisen kuvauksen ilmiöstä. Tutkimuksessa ei pyritä yleistykseen, vaan tavoitteena on ilmiön kuvaaminen, ymmärtäminen ja mielekkään tulkinnan antaminen. (Kananen 2015a, 33-35.)

Jotta kehitystä voi tapahtua, on tunnettava nykytilanne sekä määriteltävä poistettava ongelma. Ongelmaan vaikuttavien tekijöiden analysointi on tärkeää tutkimuksen onnistumisen kannalta. Muuttamalla ongelma tutkimuskysymyksi, joilla tuotetaan



ongelman ratkaisemisen vaatima tieto, voidaan lähteä hakemaan vastauksia. (Kananen 2015a, 35-36.)

Tässä opinnäytetyössä tutkimuskysymyksiksi muodostuivat seuraavat:

- Mitkä standardit liittyvät kaasuräjähdyksivaarallisiin tiloihin ja niissä käytettäviin laitteisiin?
- Mitkä säädetyistä laeista koskevat biokaasun tuotanto- ja jalostuslaitteistoja räjähdyksivaarallisuuden osalta?
- Mitkä tekijät aiheuttavat räjähdyksivaarallisen tilan?
- Millä perusteilla tilojen räjähdyksivaarallisuutta arvioidaan?
- Mitkä tekijät vaikuttavat laitevalintoihin?
- Kuinka muiden maiden biokaasun räjähdyksivaarallisuuteen liittyvät vaatimukset poikkeavat ATEX-direktiivien vaatimuksista?

Kananen (2015a, 24) luettelee kvalitatiivisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmiksi haastattelut, havainnoinnin ja dokumentit. Aineistonkeruumenetelmät jaetaan sekundääri- ja primääriaineistoon. Primääriaineisto on kerätty nimenomaista tutkimusta varten ja se koostuu havainnoinnin, haastattelujen ja kyselyjen avulla tuotetusta aineistosta. Sekundääriaineistoa ovat olemassa olevat dokumentit, jotka liittyvät ilmiöön. (Kananen 2015a, 76.)

Tässä työssä aineistonkeruumenetelmänä käytettiin pääasiassa dokumentteja, sillä aiheesta on paljon kirjoitettua materiaalia. Opinnäytetyön tietoperusta koostuu pääasiassa sekundääriaineistosta, koska vaadittu tietoperusta suunnitteluohjeen kasaa-miseksi oli erittäin laaja. Paljon tarvittiin myös primääriaineistoa, kuten laitoksien layout-kuvia ja kaavioita sekä tietoa toimintaperiaatteista, jotta työstä pystyttiin tekemään toimeksiantajan tarpeita vastaava. Tieto hankittiin pääasiassa Internet-lähteistä ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun sekä Jyväskylän yliopiston tietokannois-ta. Kerättyyn aineistoon tutustuttiin pääasiassa lukemalla. Sen lisäksi aineistoa tiivistettiin ja luettaessa kiinnitettiin huomiota toistuviin termeihin ja ilmaisuihin.

Koska opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitteluohje, oli tiedon luotettavuus erityisen tärkeä asia pohtia. Tiedon luotettavuutta parannettiin käyttämällä alkuperäislähteitä aina, kun se on mahdollista. Käytetty tieto pyrittiin hankkimaan kahdesta tai useammasta toisistaan riippumattomista lähteistä mahdollisten tulkintavirheiden minimoimiseksi.

## 1.4 Tietoperusta

Tämän opinnäytetyön tietoperusta perustuu pääasiassa räjähdysvaarallisiin tiloihin ja niissä käytettäviin laitteisiin liittyviin direktiiveihin. Direktiivien pohjalta laadittu lainsäädäntö ja standardit ovat työssä merkittävimpiä tietolähteitä. Edellä mainittujen lisäksi opinnäytetyössä merkittäviä tietolähteitä ovat SFS-käsikirja 59 sekä BioGTS:lle aiemmin tehdyt räjähdysuojaukseen liittyvät dokumentit, kuten räjähdysuojausasiakirjat sekä tilaluokituskuvat.

Opinnäytetyössä käsitellään myös diplomi- ja opinnäytetöitä, joiden osalta on tärkeää huomioida tiedon oikeellisuus ja pyrkiä käyttämään mahdollisuuksien mukaan alkuperäisiä lähteitä. Työn kannalta kiinnostavimpia töitä ovat Juha Liimataisen diplomityö, jonka aiheena oli Räjähdysuojausasiakirjan vaatima riskinarviointi muille kuin sähkölaitteille (2004), sekä Toni Taavitsaisen kirjoittama loppuraportti aiheesta Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu (2006). Molemmissa töissä on erittäin kiinnostava ja kattava teoriaosuus, joka liittyy läheisesti tämän opinnäytetyön aiheeseen.

## 1.5 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biokaasua koskevaa lainsäädäntöä ja vaatimuksia sekä niiden tulkintaa. Näiden tietojen perusteella luotiin toimeksiantajalle räjähdysvaarallisten tilojen luokituksiin ja laitevalintoihin liittyvä suunnitteluohje, joka sisältää käytännön esimerkkejä laitteiden valinnoista ja sijoittamisesta biokaasulaitokseen sekä räjähdysvaarallisten tilojen tilaluokituksista vaatimusten mukaisesti. Ohjetta on tarkoitus hyödyntää jatkossa vastaavien biokaasulaitoksien suunnittelussa, ja sen avulla BioGTS voi keskittää osaamista oman henkilöstön piiriin sekä helpottaa yhteistyötä BioGTS:n suunnittelijoiden ja alihankkijoiden välillä. BioGTS tilaa suurimman osan räjähdysvaarallisiin tiloihin liittyvästä suunnittelusta ostopalveluna.

Opinnäytetyöhön sisällytettiin katsaus biokaasuun ja biometaaniin liittyneisiin onnettomuuksiin, niiden syihin ja keinoihin välttää onnettomuudet tulevaisuudessa.

Opinnäytetyö sisälsi kaksi koulutusta, joista toinen oli yleisesti räjähdysvaarallisuutta käsittelevä ja suunnattu kaikille toimeksiantajan työntekijöille ja toinen koulutus kä-

sitteli tarkemmin luotua suunnitteluohjetta ja se suunnattiin suunnittelupuolen henkilöstölle. Molemmat koulutukset perustuivat opinnäytetyön sisältöön. Koulutuksien tavoitteena oli lisätä tietoa räjähdysvaarallisiin tiloihin ja niissä käytettäviin laitteisiin liittyen. Yleisesti räjähdysvaarallisuutta käsittelevässä koulutuksessa käsiteltiin lyhyesti myös onnettomuuksia ja niiden välttämistä tavoitteena parantaa turvallisuutta räjähdysvaarallisissa tiloissa työskennellessä.

Lisäksi opinnäytetyöhön sisällytettiin pienen kokoluokan biokaasulaitoksen jalostuslaitteiston tilaluokituspiirustuksen tekeminen. Laitteistosta oli 3D-malli, jonka pohjalta piirustus tehtiin. Tilaluokituspiirustus löytyy liitteestä 2.

## 2 Lyhenteet ja määritelmät

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyössä käytettyjä termejä ja lyhenteitä.

### 2.1 Lyhenteet

Opinnäytetyössä on käytetty seuraavia lyhenteitä:

ATEX	Atmosphères explosibles (ATEX. Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 4.)
CE	Conformité Européenne, eurooppalainen vaatimustenmukaisuus (CE-merkki – valmistajan ilmoitus tuotteen vaatimustenmukaisuudesta 2014.)
CEN	European Committee for Standardization (Standardoinnin maailmankartta n.d).
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization (Eurooppalainen standardointi n.d.)
CHP	Combined heat and power, sähkön- ja lämmön yhteistuotanto (Gustafsson & Stoor 2008, 22, 27).
DIN	Deutsches Institut Fur Normung (Maciejczyk, M. 2014, 31.)
EPL	Equipment Protection Level (SFS-EN 60079-14: 2009, 9.)

ETA	Euroopan talousalue (Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja suojausjärjestelmiä koskeva CE-merkintä 2011, 1.)
EU	Euroopan Unioni (Lindman 2016, 3.)
Ex	Explosive, räjähtävä (ATEX. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 4.)
Ex-laite	Räjähdyksvaarallisessa tilassa käytettävä laite tai suojausjärjestelmä (ATEX. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 4.)
Ex-tila	Räjähdyksvaarallinen tila (ATEX. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 4.)
Exi-laite	Luonnostaan vaaraton ex-laite (Lindman 2016, 3.)
Exi-piiri	Luonnostaan vaaraton piiri (Lindman 2016, 3.)
EY	Euroopan yhteisö (Lindman 2016, 3.)
IEC	International Electrotechnical Commission (Lindman 2016, 3.)
ISO	International Organization for Standardization (Lindman 2016, 3.)
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö (SFS-käsikirja 609 2009, 138.)
MESG	Maximum Experimental Safe Gaps, suurin kokeellinen turvarako (SFS-käsikirja 59 2012, 89.)
MIC	Minimum Igniting Current, pienin syttymisvirta (SFS-käsikirja 59 2012, 89).
LEL	Alempi räjähdysraja (Kienzle 2003, 54.)
SFS	Suomen Standardisoimisliitto (Lindman 2016, 3.)
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö (SFS-käsikirja 609 2009, 138.)
THT	Tetrahydrotiofeeni (OVA-ohje: Tetrahydrotiofeeni 2015.)
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Lindman 2016, 3.)
UEL	Ylempi räjähdysraja (Kienzle 2003, 54.)

VARO Vaurio- ja onnettomuusrekisteri (Vaurio- ja onnettomuusrekisteri VARO 2016.)

## 2.2 Määritelmät

Opinnäytetyön keskeisten käsitteiden määritelmät ovat seuraavat:

### **Aktiivinen syttymislähde**

Mahdollinen syttymislähde, joka kykenee sytyttämään räjähdysvaarallisen ilmaseoksen, jos esto- ja suojaustoimenpiteitä ei toteuteta (SFS-EN 13237: 2012, 28).

### **Biokaasu**

Kaasuseos, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa (Biokaasu 2015). Biokaasuprosessissa tuotettu biokaasu koostuu 50-70 prosenttisesti metaanista lopun ollessa pääosin hiilidioksidia (Rintala & Kinnunen 2015, 17).

### **Dispergoitumisaste**

Mitta, jonka mukaisesti kiinteä tai nestemäinen aine voi hienojakoisimmillaan sekoitua toiseen kaasumaiseen tai nestemäiseen aineeseen ilman molekyyliä aerosoliksi, emulsioksi tai lietteeksi. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 4.)

### **Erittäin helposti syttyvä kaasu ja neste**

Aine ja valmiste, jonka kiehumispiste on enintään 35 °C ja leimahduspiste enintään 0 °C (SFS-käsikirja 59 2012, 11).

### **Helposti syttyvä, palava neste**

Aine ja valmiste, jonka leimahduspiste on alle 21 °C (SFS-käsikirja 59 2012, 11).

### **Itsesyttymislämpötila**

Alin lämpötila, jossa aine syttyy palamaan itsestään ja jatkaa palamista ilman ulkopuolista lämmönlähdettä, liekkiä tai kipinää. Itsesyttymislämpötilaan voivat vaikuttaa kaasun ja ilman seossuhde, syttymistilan muoto ja koko, seoksen lämmitysnopeus sekä koeastian materiaali. Myös syttymisväline ja sen lämpötila, muiden läsnä ole-

vien aineiden vaikutus sekä happipitoisuus vaikuttavat itsesyttymislämpötilaan. (SFS-käsikirja 59 2012, 86.)

### **Jalostettu biokaasu**

Kaasuseos, joka sisältää metaania 95-99 % sekä hiilidioksidia 1-5 % ja typpeä 0-4 %. Lisäksi siinä voi olla pienissä määrin happea, rikkiä ja ammoniakkia. Jalostettu biokaasu muodostaa ilman kanssa räjähtävän seoksen, kun sen osuus seoksessa on välillä 5,4-19,5 til-%. (Nuutinen N.d, 5.) Valtioneuvoston asetus (A 21.5.2015/685, Liite I) luokittelee jalostetun biokaasun syttyväksi nesteytetyksi kaasuksi, kun sitä on käsitelty puhdistettuun ja jalostettuun biokaasuun sovellettavien vaatimusten mukaisesti, jolloin se vastaa laadultaan maakaasua.

### **Leimahduspiste**

Alin lämpötila, jossa nesteen pinnasta haihtuu niin paljon höyryä, että se muodostaa ilman kanssa syttyvän höyry-ilmaseoksen. Nesteet saattavat syttyä myös leimahduspistettä alhaisemmissa lämpötiloissa, jos ne ovat hienojakoisessa muodossa tai ovat koostuneet eri jakeista, kuten öljytuotteet. Nesteseoksien leimahduspiste voi olla alempi kuin yksityisten seoksessa olevien aineiden leimahduspisteet. (SFS-käsikirja 59 2012, 86.)

### **Metaani**

Palava kaasu, joka kuuluu syttymisryhmään T1 itsesyttymislämpötilan ollessa 537 °C. Sen ylempi ja alempi syttymisraja on 15,0 til.% ja 5,0 til.%. Metaani on ilmaa kevyempi kaasu, joka kiehuu -162 °C:een lämpötilassa. Metaani kuuluu räjähdysryhmiin I (kaivoskaasut) sekä IIA (kaivoksien ulkopuolella). (SFS-käsikirja 59 2012, 106; Räjähdyssuojausmerkinnät 2013; ATEX. Räjähdyssuojauksen turvallisien tilojen turvallisuus 2015, 8.)

### **Päästölähde**

Laitteiston osa, josta räjähdysvaarallista kaasua, nestettä tai höyryä pääsee ympäristöön siten, että tilaan voi muodostua räjähdyskelpoinen ilmaseos. Päästölähteet jaetaan jatkuviin, primäärisiin ja sekundäärisiin päästölähteisiin esiintymistaajuuden ja keston mukaan. (SFS-käsikirja 59 2012, 10-11.)

**Päästö määrä**

Päästölähteestä vapautuvan palavan kaasun, sumun tai höyryn määrä aikayksikössä (SFS-EN 60079–10-1: 2010, 16).

**Räjähdyskelpoinen ilmaseos**

Ilman ja palavan kaasun, höyryn tai sumun muodostama seos, jossa palaminen leviää syttymisen jälkeen koko palamattomaan seokseen (SFS-käsikirja 59 2012, 12).

**Räjähdyspaine**

Määrätyissä koeolosuhteissa selvitetty suurin mahdollinen paine, joka syntyy räjähdyskelpoisen ilmaseoksen räjähtäessä suljetussa säiliössä (KOM 25.8.2003/515, 50). Useimmat kaasun ja ilman sekä pölyn ja ilman seokset aiheuttavat räjähtäessään 8-10 baarin ylipaineen. Tästä paineesta käytetään nimitystä ”suurin mahdollinen räjähdysylipaine”. Kevytmetallipölyt voivat aiheuttaa myös tätä korkeamman paineen. (KOM 25.8.2003/515, 29.)

**Räjähdyksrajat**

Se pitoisuus, jonka ylä- tai alapuolella kaasuilmaseos ei enää syty. Näytä rajoja kutsutaan ylempiä ja alemmiksi räjähdysrajaksi. Syttyminen voi tapahtua alle alemman räjähdysrajan tai yli ylempien räjähdysrajan olevilla pitoisuuksilla hyvin kapealla alueella, jolloin palaminen on hidasta. Palavuusalue on jonkin verran laajempi kuin räjähdysalue, mutta käytännön kannalta ero on merkityksetön. (SFS-käsikirja 59 2012, 12.)

**Räjähdyksryhmä**

Nesteet ja kaasut jaetaan räjähdysryhmiin IIA, IIB ja IIC suurimman kokeellisen turva- raon ja pienimmän syttymisvirran perusteella (SFS-käsikirja 59 2012, 89). Kaasujen räjähdysryhmistä IIC on herkimmin räjähtävä, IIA puolestaan vähiten herkkä (Lindman 2016, 32). Räjähdysryhmät IIIA, IIIB ja IIIC ovat pölyräjähdysvaarallisen tilojen räjähdysryhmiä (Patola 2012, 15).

**Räjähdyssuojusrakenne**

Standardisoitu rakenne tai suunnitteluperiaate, jonka avulla voidaan varmistaa, että syttymislähteitä ei voi syntyä, mahdollinen syttymislähde ei voi tulla aktiiviseksi syttymislähteeksi, räjähdyskelpoinen ilmaseos ei saavuta syttymislähdettä tai räjähdys pidätetään ja liekkien eteneminen estetään (SFS-käsikirja 161-2 2006, 9).

**Räjähdyksivaarallinen tila**

Räjähdyksivaaralliseksi tilaksi määritellään huone, sen osa tai muu rajoitettu tila, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos voi esiintyä. Räjähdyksivaarallinen tila voi esiintyä myös ulkona. (SFS-käsikirja 59 2012, 10.)

**Syttymisrajat**

Palavien kaasujen ja höyryjen ylempi ja alempi syttymisraja kuvaavat pitoisuuksia, joiden ylä- tai alapuolella kyseinen kaasu- tai höyryilmaseos ei enää syty. Kun seos on syttymisrajan alapuolella (LEL), se on liian laimaa syttyäkseen. Vastaavasti seoksen pitoisuuden ollessa syttymisrajan yläpuolella (UEL), se on liian rikasta syttyäkseen. Syttymisrajat ilmoitetaan palavan aineen määränä ilmassa tilavuusprosentteina (til. - %) normaalipaineen alaisena ja 20 °C lämpötilassa. Syttymisrajat saattavat muuttua huomattavasti, mikäli paine tai lämpötila poikkeaa normaaliarvostaan. Paineen tai lämpötilan muutos vaikuttaa usein siten, että nousu aiheuttaa alemman syttymisrajan laskua ja ylempään syttymisrajan nousua. (SFS-käsikirja 59 2012, 87.)

**Syttymisryhmä ja syttymislämpötilat**

Palavat kaasut ja höyryt jaetaan syttymisryhmiin T1..T6 niiden itsesyttymislämpötilan mukaan. T1 on syttymislämpötiloista korkein (yli 450 °C) ja T6 matalin (85–100 °C). Syttymislämpötila on alin lämpötila, jossa aine syttyy kosketuksesta kuumaan pintaan. Syttymislämpötilat voivat vaihdella laajoissa rajoissa riippuen käytetystä määrittämenetelmästä. (SFS-käsikirja 59 2012, 13; Patola 2012, 17.)

**Syttyvät, palavat nesteet**

Aine tai valmiste, jonka leimahduspiste on vähintään 21 °C ja enintään 55 °C. Palavat nesteet, joiden leimahduspiste on korkeampi kuin 55 °C, mutta alle 100 °C on luokiteltu ilman luokkanimeä. (A 6.2.2014/116, liite I; SFS-käsikirja 59 2012, 11.)

**Tetrahydrotiofeeni (THT)**

Väritön, helposti syttyvä ja palava neste, jota käytetään maakaasussa hajusteena epämiellyttävän hajunsa vuoksi. THT syttyy herkästi lämmön, kipinöiden ja liekkien vaikutuksesta ja höyrystyessään se voi aiheuttaa räjähdysvaaran. THT:n kiehumispiste on 119 °C, leimahduspiste on 12 °C ja syttymisrajat 1,1.-12,1 %. THT:n itsesyttymislämpötila on 200 °C. (OVA-ohje: Tetrahydrotiofeeni 2015.)



## Tilaluokat

Valtioneuvoston asetuksessa räjähdysvaaralliset tilat luokitellaan tilaluokkiin sillä perusteella, kuinka usein räjähdyskelpoinen ilmaseos tilassa esiintyy. Tilaluokkia ovat luokka 0, 1 ja 2 kaasuräjähdysvaarallisille tiloille ja luokat 20, 21, 22 pölyräjähdysvaarallisille tiloille. (A 18.6.2003/576, liite I.)

## 3 Biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa (Biokaasu 2015). Rintalan ja Kinnusen (2015, 17) mukaan biokaasu on monipuolinen uusiutuva energiamuoto sopiessaan niin sähkön- ja lämmöntuotantoon kuin jalostettuna liikennepolttoaineeksi. Liikennekäytössä biokaasu on hiilidioksidineutraali ja sen hiukkaspäästöt ja typenoksidit ovat selvästi dieseliä alhaisempia (Gustafsson & Stoor 2008, 17). Biokaasua hyödynnetään yleisimmin sähkön- ja lämmön yhteistuotannossa (CHP) (Gustafsson & Stoor 2008, 22, 27).

### 3.1 Biokaasun tuotanto

Gustafssonin ja Stoorin (2008, 3) mukaan biokaasua tuotetaan pääosin eloperäisestä jätteestä hapettomassa mädätysprosessissa biokaasureaktoreissa tai keräämällä kaatopaikoilta. Huttunen ja Kuittinen (2015, 19) kertovat Suomen biokaasulaitosrekisterissä, että vuonna 2014 Suomessa tuotettiin 155,5 miljoonaa kuutiometriä biokaasua, josta tuotettiin energiaa 613,3 gigawattituntia. Lehtisen mukaan 60 % tuotetusta biokaasusta tuotettiin kaatopaikkalaitoksilla, 19 % yhteismädätyslaitoksilla ja 19 % yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla. Loput 2 % tuotettiin maataloilla ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla. (Lehtinen 2016, 8-9.)

Biokaasulaitokset muodostuvat osaprosesseista, joihin on olemassa erilaisia tekniikoita. Tekniikat eroavat toisistaan syöttötavan (jatkuva tai panos), syötteen ja prosessin kuiva-ainepitoisuuden (märkä tai kuiva) sekä vaiheisuuden osalta. Tekniikka valitaan tarjolla olevien syötteiden ominaisuuksien, energiantuottotavoitteiden ja mädätysjäännökseltä haluttujen ominaisuuksien mukaan. (Luostarinen 2015, 82.) Reaktorilaitoksien syötteinä käytetään esimerkiksi naudan ja sian liete- ja kuivikelantaa, siipikarjan kuivitelantaa, yhdyskuntien biojätettä, kalan perkuujätettä, leipomo-

jätettä, rasvajätettä, viljan lajittelujätettä, ruokohelpeä, olkia ja öljykasvien korsia. (Mahal, Marttinen, Nurmio, Pyykönen, Riihimäki, Sirkiä, Suoniemi & Winqvist 2014, 8.)

Kuiva- ja märkäprosessien olennainen ero on syöttömateriaalin kuiva-ainepitoisuus. Märkäprosesseille sopivat lietemäiset syöttömateriaalit, joiden kuiva-ainepitoisuus on yleensä alle 15 %. Kuivaprosessissa syöttömateriaalit ovat kuivia, kuiva-ainepitoisuudeltaan 20-40 %. (Luostarinen 2015, 82-83.)

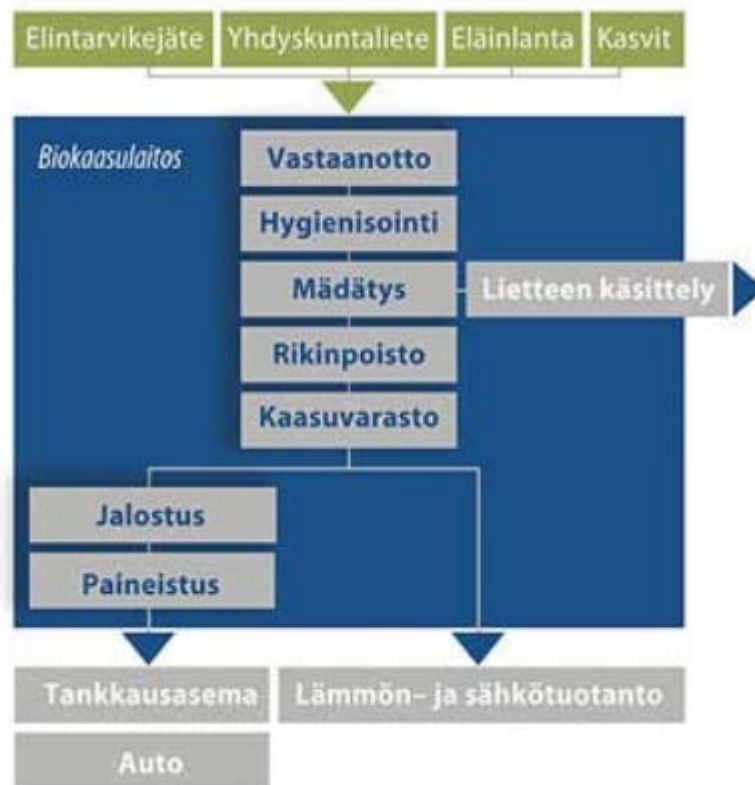
Biokaasuprosesseja on sekä jatkuvatoimisia että panostoimisia. Jatkuvatoimisuudella tarkoitetaan säännöllistä syöttöä ja poistoa väliajoin tai jatkuvasti, jolloin biokaasun tuotanto on mahdollisimman jatkuvaa ja tasaista. Panostoimisessa prosessissa reaktori täytetään, suljetaan ja jätetään hajoamaan halutuksi aikaa ennen tyhjennystä. Märkäprosessit ovat usein jatkuvatoimisia prosesseja, kun taas kuivaprosesseja on sekä jatkuvatoimisia että panostoimisia. (Luostarinen 2015, 83.)

Useimmat biokaasulaitokset ovat yksivaiheisia, eli laitoksessa on yksi biokaasureaktori. Laitoksessa voi olla jälkikaasuallas, jossa muodostuva jälkikaasu on kerättävissä talteen. Kaksivaiheisessa prosessissa kyse on kahdesta erillisestä reaktorista, joissa olosuhteet optimoidaan hajoamisvaiheen mukaisiksi. Yksivaiheinen prosessi on helpommin hallittavissa ja kustannuksiltaan edullisempi. (Luostarinen 2015, 88-89.)

### 3.2 Biokaasun jalostus

Rintala ja Kinnunen kertovat biokaasuprosessissa tuotetun biokaasun koostuvan 50–70 -prosenttisesti metaanista, lopun ollessa pääosin hiilidioksidia. Jalostuksella sen metaanipitoisuus nostetaan 95–98 prosenttiin. Sivutuotteena saatu hiilidioksidi voidaan hyödyntää esimerkiksi kasvihuoneiden lannoitteena, ja anaerobisen prosessin tuottama mädätysjäännös voidaan prosessoida lannoitteeksi ja maanparannusaineksi. (Rintala & Kinnunen 2015, 17–18.)

Lampisen mukaan reaktorista saatava biokaasu puhdistetaan ja jalostetaan ennen käyttöä energiantuotannossa tai liikennepolttoaineena (ks. kuvio 1).



Kuvio 1. Biokaasulaitoksen prosessit (Gustafsson & Stoor 2008, 7)

Puhdistuksen tarkoitus on vähentää epäpuhtauksia energiantuotannon päästöjen rajoittamiseksi ja laitteiden vaurioitumisen estämiseksi. (Lampinen 2015, 126–128.) Biokaasun puhdistusprosessissa poistetaan aina vähintään vesihöyry ja rikkivety, sillä ne muodostavat yhdessä rikkihappoa. Puhdistusprosessi suunnitellaan raakakaasun koostumuksen ja puhtausvaatimusten perusteella. (Lampinen 2015, 126.)

Jalostuksen tavoite on vähentää hiilidioksidia ja typpikaasua, jolloin kaasun energiatiheys kasvaa. Kaatopaikalla tuotettu biokaasu sisältää jopa kolmanneksen typpeä, mikä on huomattavasti enemmän kuin reaktorikaasussa, jossa sitä muodostuu 0-2 %. (Lampinen 2015, 126–128.) Lampinen (2015, 126) huomauttaa, että raaka biokaasu voidaan polttaa hätätapauksessa soih tupoltimella, mutta Sydänmaan (2016) mukaan se on hyödynnettävissä myös kattilassa tai CHP-laitoksessa. Sydänmaa (2016) kuitenkin korostaa, että raakakaasun sisältämät rikkivedyt lyhentävät kattiloiden käyttöikä.

Lampinen jaottelee kaupalliset jalostusteknologiat viiteen ryhmään käytettävien prosessien perusteella seuraavasti:

- 1) hiilidioksidin liukoisuuteen perustuva fysikaalinen absorptio (vesipesu, kemikaalipesu)
- 2) hiilidioksidin kemiallisiin reaktioihin perustuva kemiallinen absorptio (amiinipesu)
- 3) molekyylien kokoeroihin perustuva fysikaalinen absorptio (aktiivihiili, molekyyliseula)
- 4) kiehumis- ja sulamispisteiden eroihin perustuva kryojalostus
- 5) molekyylien kokoeroihin perustuva kalvojalostus (Lampinen 2015, 136).

Jalostettua biokaasua voidaan syöttää maakaasuverkkoon, jolloin siihen sovelletaan maakaasun laatuvaatimuksia. Suomessa myytävä maakaasu koostuu 98-prosenttisesti metaanista, loppu kaksi prosenttia on lähinnä etaania ja typpeä. Liikennekäyttö vaatii yli 97 % metaanipitoisuuden lisäksi epäpuhtauksien poistoa. (Muttikainen, Sormunen, Paavola, Haikonen & Väisänen 2016, 13–14.)

BioGTS:n käyttämä paineenvaihteluadsorptio (Pressure swing adsorption) perustuu paineen vaihteluihin, jossa adsorptiomateriaali sitoo hiilidioksidia ja typpeä raakakaasusta. Muut epäpuhtaudet, kuten rikkivedyt ja siloksaanit, poistetaan esikäsittelyvaiheessa. (Biogas upgrading unit n.d.)

## 4 BioGTS

BioGTS valmistaa kotimaisia, patentoituja ja tehdasvalmisteisia biokaasu- ja biodiesellaitoksia sekä biojalostamoja, jotka ovat intergoituja biodiesel- ja biokaasulaitoksia (BioGTS Oy n.d.; BioGTS jalostamo n.d.). Hietanen kertoo BioGTS:n valmistavan laitoksensa kilpailijoistaan poiketen omissa tiloissaan Jyväskylässä. Valmiit osat toimitetaan asiakkaan tontille, jossa ne asennetaan. Toistaiseksi laitoksia on vain Suomessa, mutta myyntiä tavoitellaan myös ulkomaille. (Hietanen 2016.)

Yritys on perustettu vuonna 2011 ja sen varsinainen toiminta alkoi vuonna 2013, kun se lanseerasi biokaasu- ja biodiesellaitoskonseptinsa. Yritys työllistää n. 20 henkilöä

ja lisäksi alihankinnan kautta useita kymmeniä henkilöitä täyspäiväisesti. Vuonna 2015 yrityksen liikevaihto oli 5,3 miljoonaa euroa. (Hietanen 2016.)

BioGTS:n biokaasulaitokset ovat kontinmuotoisia, vaakasuuntaisia reaktoreja, jotka rakentuvat tehdasrakenteisista moduuleista (ks. kuvio 2). Reaktoreilla voidaan tuottaa biokaasua esimerkiksi yhdyskyntien ja teollisuuden biojätteestä, jätevesilietteistä, eläimien lannasta ja kasvibiomassoista. (Biokaasu n.d.) Biokaasulaitokset soveltuvat operoitavaksi kuivämädätysprosesseina, jossa kuiva-ainepitoisuus on perinteistä prosessia korkeampi. Tämä pienentää käyttö- ja investointikustannuksia sekä vaatii pienemmän pinta-alan. (BioGTS Oy n.d.)



Kuvio 2. Biokaasureaktorit (Referenssit n.d.)

Tuotettu biokaasu on hyödynnettävissä lämpönä, sähkönä ja liikennekaasuna asiakkaan tarpeista riippuen. Maataloudessa biokaasulaitoksen etuna on tuotetun energian lisäksi myös prosessissa syntyvä lannoite ja kuivike, joka on hyödynnettävissä neste- tai kuivajakeena. (Maatalouden biokaasulaitos n.d.)

Biokaasun jalostusyksiköllä voidaan tuottaa maakaasuverkkoon soveltuvaa biometaania (ks.kuvio 3). Laitteistossa hyödynnetään PSA-puhdistustekniikkaa, jossa kiinteä aine sitoo itseensä raakabiokaasun sisältämän hiilidioksidin ja typen. (BioGTS – biokaasun jalostusyksikkö n.d.) Biojalostamo on tarkoitettu eloperäisen jätteen käsittelyyn ja hyödyntämiseen uusiutuvana energiana, liikenteen biopolttoaineita, kemikaaleina ja lannoitetuotteina. Sen raaka-aineiksi sopivat niin yhdyskunnan,

teollisuuden kuin maataloudenkin biohajoavat jätteet, kuten biopohjaiset jäteöljyt ja -rasvat. Konsepti perustuu biodiesel- ja biokaasuteknologioiden yhdistelmään. Prosessin lopputuotteita ovat biodiesel, biopolttoöljy, biokaasu, biometaani, liikenteen biopolttoaineet, sähkö, lämpö, jäähdytys, glyseroli ja lannoite- sekä maanparannustuotteet. Biojalostamo sopii hajautettuun uusiutuvan energian tuotantoon. (Biojalostamo n.d.)



Kuvio 3. Biokaasun jalostusyksikkö (Referenssit n.d.)

BioBoksi on biokaasulaitosratkaisu biokaasun tuottamiseksi ja jalostamiseksi liikennekäyttöön. BioBoksiin on integroitu biokaasun tuotantolaitos ja biometaanin tankkausasema. Konseptin perimmäinen ajatus on sijoittaa se sinne, missä polttoainetta tarvitaan, kuten teiden varsille alueille, joille biometaaniverkosto ei yllä. Laitos on täysin automatisoitu ja varustettu etävalvonnalla, joten se toimii miehittämättömänä. Laitos on tehdasvalmisteinen ja se on nopea ottaa käyttöön paikan päällä. (BioBoksi n.d.; Tuottava automaattinen suomalainen Biokaasulaitos n.d.)

## 5 Räjähdyksvaarallisten tilojen määräykset

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti räjähdysvaarallisiin tiloihin liittyvät direktiivit, niihin perustuva lainsäädäntö sekä standardit.

Direktiivit ovat velvoittavia ainoastaan sisällöltään. Tämä tarkoittaa, että EU-maat laativat omia lakejaan siten, että lainsäädäntö täyttää direktiivien asettamat vaatimukset eikä ristiriitoja direktiivien ja kansallisen lain välille jää. (Lindman 2016, 20.)

Räjähdyksvaarallisiin tiloihin liittyvät standardit ovat käytännön soveltamisen tueksi laadittuja yhdenmukaisia suosituksia, joiden avulla laitevalmistaja voi saavuttaa ATEX-laitedirektiivin vaatimukset (Lisätietoa ATEX-laitedirektiivistä 2016). Standardit ovat luonteeltaan suosituksia, mutta voivat viranomaiset edellyttää niiden käyttöä (SFS-käsikirja 1 2013, 7).

### 5.1 Direktiivit

ATEX-nimitystä käytetään Euroopan yhteisön direktiiveistä 2014/34/EU (laitedirektiivi) ja 1999/92/EY (työolosuhtedirektiivi). Nämä direktiivit koskevat räjähdysvaarallisia tiloja ja niissä käytettäviä laitteita. ATEX-direktiivien tarkoituksena on suojella räjähdysvaarallisissa tiloissa työskenteleviä ihmisiä ja yhtenäistää niissä käytettävien laitteiden ja koneiden turvallisuusvaatimuksia. (ATEX. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 4; Lehtinen 2016, 13.)

Lindman kertoo räjähdysvaarallisia tiloja ja laitteita koskevien direktiivien olevan uuden lähestymistavan direktiivejä, eli niissä määritellään vain olennaisimmat terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Tarkemmat tekniset vaatimukset annetaan yhtenäistetyissä standardeissa. (Lindman 2016, 20–21.)

ATEX-laitedirektiivi 2014/34/EU koskee räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettuja laitteita, joissa on syttymislähde. Direktiivi astui voimaan 20.4.2016 kumoten vanhan direktiivin 94/9/EY. (Lisätietoa ATEX-laitedirektiivistä 2016; Lehtinen 2016, 13.) Euroopan komission ohjeasiakirjan mukaan uudessa laitedirektiivissä tekniset vaatimukset pysyivät edellisessä versioon nähden muuttumattomina (Guidance document on the ATEX directive transition from 94/9/EC to 2014/34/EU 2015, 1; Lindman 2016, 23). Uudessa direktiivissä on lähinnä tarkennettu toiminnanharjoitta-

jien, kuten valmistajien ja maahantuojaisten, velvollisuuksia. Aiemman direktiivin nojalla myönnettyt todistukset ovat voimassa myös uuden ATEX-direktiivin nojalla. (HE 19/2016, Luku 2.2.2.) Direktiivin tarkoituksena on varmistaa korkea turvallisuustaso ja vapaa liikkuvuus EU:n markkinoilla (Lisätietoa ATEX-laitedirektiivistä 2016).

Laitedirektiivi koskee sekä mekaanisia että sähkölaitteita ja laitekoonpanoja, itsenäisiä suojausjärjestelmiä ja komponentteja. Direktiiviä ei sovelleta yksinkertaisiin laitteisiin tai laitteisiin, joiden ainoa potentiaalinen syttymislähde on prosessista aiheutuva staattinen sähkö. (Lisätietoa ATEX-laitedirektiivistä 2016.)

Direktiivistä 1999/92/EY käytetään nimityksiä ATEX-työolodirektiivi ja ATEX-olosuhdedirektiivi. Siinä säädetään palavien nesteiden, höyryjen, pölyn tai kaasujen muodostamien räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden henkilöiden turvallisuuden ja terveyden suojaamisesta. Suomessa tämä direktiivi on saatettu kansallisesti voimaan valtioneuvoston asetuksella 18.6.2003/576. (Liimatainen 2004, 22.)

## 5.2 Lainsäädäntö

Suomessa räjähdysvaarallisiin tiloihin liittyvän lainsäädännön valmistelu ja soveltamis päätökset kuuluivat kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) toimialaan. Sittemmin KTM on yhdistetty työ- ja elinkeinoministeriöön (TEM). (SFS-käsikirja 609 2009, 138.)

Tukesin oppaassa kerrotaan, että räjähdysvaarallisia tiloja ja näissä tiloissa käytettäviä laitteita koskeva lainsäädäntö tuli voimaan vuonna 2003, kun työolosuhdedirektiivi saatettiin kansallisesti voimaan asetuksella 18.6.2003/576. ATEX-laitedirektiiviin perustuvaa kansallista lainsäädäntöä on ollut olemassa jo vuodesta 1996, jolloin julkaistiin Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 17.11.1996/918 ja asetus 22.11.1996/917. (ATEX. Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 3-4.)

Räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien säännökset perustuvat kemikaaliturvallisuuslakiin (L 3.6.2005/390) ja sähköturvallisuuslakiin (L 14.6.1996/410). Valtioneuvoston asetuksen 22.11.1996/917 mukaan räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet eivät saa aiheuttaa vaaraa kenenkään, hengelle, terveydelle tai omaisuudelle. Tukes valvoo asetuksen ja sen nojalla annettujen määräyksien noudattamista. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätökses-



sä 17.11.1996/918 tarkennetaan edellä mainitun asetuksen velvoitteita. Valtioneuvoston asetus 18.6.2003/576 toimeenpanee Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/92/EY, eli ATEX-työolosuhdedirektiivin, vähimmäisvaatimukset. (HE 19/2016, Luku 2.1.)

### 5.3 Standardit

Standardointi on standardoimisjärjestöjen yhteisen sääntöjen laatimista. Standardien tavoitteena on lisätä tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta sekä suojella ympäristöä. Niillä myös helpotetaan kansanvälistä kauppaa. Standardit ovat luonteeltaan suosituksia ja niiden käyttö on vapaaehtoista. (SFS-käsikirja 1 2013, 7.) Standardisoinnin tärkeimpiä tehtäviä on vähentää merkityksettömiä eroavaisuuksia tuotteiden välillä (SFS-käsikirja 1 2013, 9). Standardeja on kolmella eri tasolla; maailmanlaajuiset standardit, eurooppalaiset standardit sekä kansalliset standardit (ks. kuvio 4) (Standardoinnin maailmankartta n.d.).



Kuvio 4. Standardoinnin tasot (Standardoinnin maailmankartta n.d.)

ISO (International Organization for Standardization) on kansainvälisellä tasolla laajin standardoimisjärjestö ja sen jäseniä ovat kansalliset standardoimisjärjestöt. ISO:n jäsenmaat voivat halutessaan vahvistaa ISO-standardit kansallisiksi standardeiksi, mutta se on vapaaehtoista. Monet ISO-standardeista on vahvistettu myös Euroopassa CENin (European Committee for Standardization) EN-standardeina, jolloin ne vahvistetaan kansallisesti EN-ISO –standardeina. (Kansainvälinen standardisointi n.d.)

IEC (International Electrotechnical Commission) on sähköalan kansainvälinen standardointijärjestö. Se on ISO:n tärkein yhteistyökumppani ja ISO:lla ja IEC:llä on yhteisiä teknisiä komiteoita. (Kansainvälinen standardisointi n.d.)

CEN on kaikkien EU- ja EFTA-maiden standardoimisjärjestö (Standardoinnin maailmankartta n.d). Jokainen CENin jäsenmaa on veloitettu vahvistamaan kaikki eurooppalaiset standardit kansallisesti ja kumoamaan niiden kanssa ristiriidassa olevat standardit. Tällöin kaikissa CENin jäsenmaissa ovat voimassa samat eurooppalaiset standardit. CENin julkaisemissa standardeissa käytetään tunnusta EN. (Eurooppalainen standardointi n.d.)

CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) on eurooppalaisen sähköalan standardoimisjärjestö. Sen jäseniä ovat kaikki EU- ja EFTA-maat, sekä liitännäisjäseninä useita Itä-Euroopan maita. CENELECin eurooppalaisista standardeista suurin osa perustuu IEC-järjestön standardeihin. (Eurooppalainen standardointi n.d.)

Sekä CEN että CENELEC tuottavat laitedirektiiviin 2014/34/EU perustuvia, yhdenmukaistettuja standardeja (Equipment for potentially explosive atmospheres (ATEX) 2016).

Suomessa on hajautettu standardointijärjestelmä, jossa Suomen Standardoimisliitto (SFS) toimii keskusjärjestönä. Se laatii standardit yhdessä toimialayhteisöjensä kanssa. SFS edustaa Suomea CENissä sekä ISOssa. (Standardien laadinta on kaikille avointa, vapaaehtoista, konsensusperusteista työtä n.d.) Suurin osa SFS-standardeista on alkuperältään EN-standardeja (Standardoinnin maailmankartta n.d.).

## 5.4 Biokaasulaitteistoihin liittyvät määräykset ulkomailla

Tässä opinnäytetyössä keskitytään toimeksiantajan pyynnöstä räjähdysuojaukseen liittyviin vaatimuksiin lähinnä Kiinassa ja Vietnamissa.

Aholan (2007, 11) mukaan ATEX-direktiivin vaatimukset ovat voimassa kaikissa Euroopan Unionin jäsenvaltioissa, jolloin ne ovat velvoitettuja säätämään lakinsa vastaamaan EU:n direktiivien vaatimuksia. Esimerkiksi Saksassa noudatetaan samoja direktiivejä kuin Suomessakin, mutta Saksassa käytössä on DIN-standardi (Deutsches Institut Fur Normung) (Maciejczyk, M. 2014, 31).

Kiina on IEC:n jäsen, joten se on yhtenäistänyt kansalliset standardinsa IEC:n mukaisiksi. Jotkut Kiinan standardeista mukailivat IEC -standardeja jo ennen yhtenäistämistä. Kiinassa kansallisissa standardeissa määritellään vastaavia räjähdysuojaurakenteita kuin IEC 70079-standardeissa määritellään, kuten varmennettu rakenne "e" ja luonnostaan vaaraton rakenne "i" pienin eroavaisuuksin. (Introduction 2016; Liang 2004, 1-2; Chinese Ex-product certification n.d.) Kiinan laki edellyttää, että kaikki vaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet on sertifioitava Kiinan kansallisten standardien (GB) mukaisesti. Laitteiden on oltava Kiinan lakien ja säädöksen mukaisia. (Liang 2004, 1-2; Chinese Ex-product certification n.d.) Kiinassa Ex-laitteet jaetaan ryhmiin I ja II. Luokan I laitteet vaativat valmistusluvan ja MA-merkinnän. Luokan II laitteille riittää valmistuslupa. (Chinese Ex-product certification n.d.)

Vietnamissa käytössä olevassa standardisarjassa määritetään pienen kokoluokan biokaasun tuotantolaitoksille (<16 m<sup>3</sup>) erinäisiä vaatimuksia. Standardeissa 10TNC 492 2002 – 10TNC 499 2002 määritetään mm. yleiset tekniset vaatimukset, rakennevaatimukset, huoltoon ja käyttöön liittyvät vaatimukset. Standardi 10TCN 497-2002 listaa biokaasun tuotantoon liittyviä turvallisuusriskejä, kuten laitteistoviat, tulipalot ja räjähdykset. Standardissa esitetään ennaltaehkäiseviä ja lieventäviä keinoja riskien minimoimiseen ja välttämiseen. (Additional financing to livestock competitiveness and food safety project 2014, 57-58.)

Venäjällä räjähdysuojatuilta sähkölaitteilta edellytetään Venäjän federaation hyväksymän testaus- ja sertifiointikeskuksen hyväksyntää. Testaus- ja sertifiointikeskus vahvistaa Venäjän kansallisten standardien (GOST R) vaatimuksenmukaisuuden.

Standardit asettavat vaatimuksia räjähdysvaarallisten tilojen luokitteluun sekä räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteille ja niiden sijoitukseen räjähdysvaarallisiin tiloihin. Kansallisia standardeja perustettaessa tavoiteltiin yhdenmukaisuutta IEC 60079 – standardisarjan kanssa. Kuitenkin suuressa osassa Venäjän standardeja löytyy eroavaisuuksia verrattuna IEC-standardeihin. Standardisarjan rakenne vastaa hyvin pitkälti IEC 60079- standardisarjan rakennetta. (Lipavskiy 2005, 16-17; The basics of explosion protection 2011, 18-22.)

## 6 Räjähdyksivaaralliset tilat

SFS-käsikirjassa 59 (2012, 10) räjähdysvaaralliseksi tilaksi määritellään tila, jossa voi esiintyä palavan aineen, kuten kaasun tai pölyn, ja ilman seos, joka syttyessään jatkaa palamista omavoimaisesti. Esimerkkeinä räjähdysvaarallisista tiloista Korhonen (2012, 5) mainitsee kaatopaikat, joissa voi muodostua palavia kaatopaikkakaasuja tai puuteollisuuden, jossa muodostuu puupölyä.

Toiminnanharjoittajilla ja työnantajilla on paljon velvollisuuksia räjähdysvaarallisuuden ja työntekijöiden suojeluun liittyen. Valtioneuvoston asetus 18.6.2003/576 määrittää työnantajan selvittävän ja tunnistavan räjähdyskelpoisen ilmaseoksen aiheuttamat vaarat ja toteuttavan niiden mukaiset tarvittavat toimenpiteet. Tämän lisäksi velvollisuuksia ovat oikeat laitevalinnat tilaluokkien perusteella, työntekijöiden perehdyttäminen sekä räjähdysuojausasiakirjan laatiminen. (A 18.6.2003/576, 4-5§; ATEX. Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 9.)

### 6.1 Räjähdyksivaarallisten tilojen luokittelu

Sulosen mukaan räjähdysvaarallisten tilojen luokitteluun on olemassa kolme eri menetelmää, joista tässä raportissa on tarkimmin esitetty SFS-käsikirjan 59 mukainen menetelmä. Toinen vaihtoehto on luokitella koko tila tai huone samaan tilaluokkaan tai käyttää standardin SFS-EN 60079-10-1 mukaista menetelmää, jossa jokainen päästölähde käsitellään erikseen. (Sulonen 2015b, 7.) Korhosen (2012, 14–15) mukaan Suomessa useimmat laitteistot on luokiteltu SFS-käsikirjan 59 mukaisesti, vaikka räjähdysvaaralliset alueet arvioidaan sen periaatteiden mukaisesti tarpeettoman suuriksi.

### 6.1.1 Tilaluokitukset

Tilaluokitus on menetelmä, jonka avulla arvioidaan tilat, joissa räjähdysvaarallista kaasua voi esiintyä. Sen tavoitteena on helpottaa laitteiden valintaa ja varmistaa niiden turvallinen käyttö räjähdysvaarallisessa tilassa. (SFS-EN 60079-10-1: 2010, 20.)

Laitoksen suunnittelussa on pyrittävä siihen, että räjähdysvaarallisia tiloja olisi mahdollisimman vähän ja niiden koko olisi mahdollisimman pieni. Lisäksi on pyrittävä siihen, että räjähdysvaaralliset tilat kuuluisivat pääasiassa luokkaan 2. Luokitus tulee tarkistaa laitoksen käyttöönottovaiheessa ja aina muutettaessa laitteistoja, aineita tai käsittelyä kyseisissä tiloissa. (SFS-käsikirja 59 2012, 14, 18.)

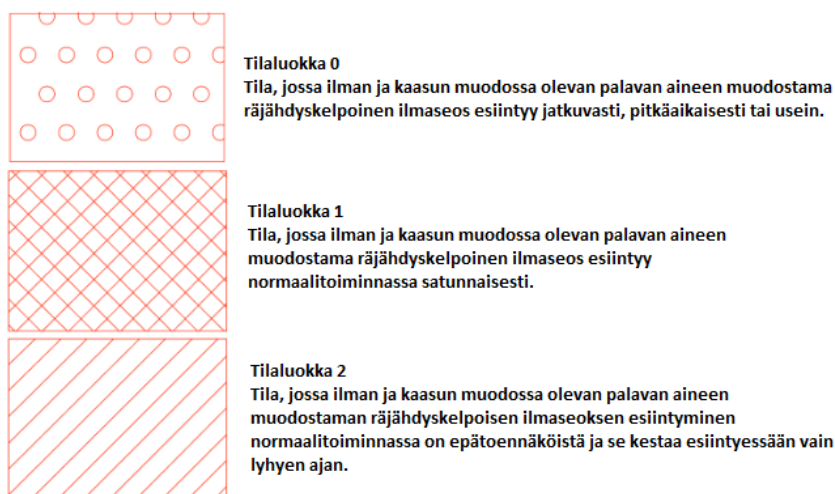
Valtioneuvoston asetuksessa A 18.6.2003/576 räjähdysvaaralliset tilat luokitellaan kolmeen tilaluokkaan seuraavasti:

- Luokka 0
  - o Tila, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein toistuvasti (> 1000 h/a)
- Luokka 1
  - o Tila, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy satunnaisesti (10-1000 h/a)
- Luokka 2
  - o Tila, jossa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostuminen on epätodennäköistä ja kestoaltaan lyhytaikaista (< 10 h/a).

(A 18.6.2003/576, Liite I; Sulonen 2015b, 5.)

Tilaluokat 20, 21 ja 22 kuvaavat pölyräjähdysvaarallisia tiloja samalla periaatteella (A 18.6.2003/576, liite I).

Tilaluokat suositellaan merkittäväksi tilaluokituspiirustukseen standardissa esitetyillä merkinnöillä (ks. kuvio 5) (SFS-EN 60079-10-1: 2010, 76).



Kuvio 5. Tilaluokkien piirrosmerkit tilaluokituspiirustuksessa (Hiltunen 2016, muokattu)

Liimataisen mukaan tilojen luokittelu aloitetaan selvittämällä mitä räjähdysvaarallisia aineita tilassa voi esiintyä sekä niiden esiintymispaikkojen ja tiheyden kartoituksella. Näiden tietojen pohjalta luodaan tilaluokitukset. (Liimatainen 2004, 53.) Taavitsainen (2006, 81) lisää, että arvioinnissa on huomioitava myös mahdollisesti esiintyvän palavan aineen pitoisuudet sekä syttymisominaisuudet. Lindman (2016, 31) korostaa, että tilaluokituksen laajuus ulottuu niin kauan päästölähteestä kuin kaasuilmaseos säilyy räjähdyskelpoisella pitoisuudella.

Tilaluokkien 0, 1, ja 2 laajuus määritetään päästölähteiden perusteella. Muita räjähdysvaarallisten tilan laajuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat aineiden määrät, virtausnopeudet, päästöjen lämpötilat, ilmavirtaukset ja ilmanvaihto, ympäröivät olosuhteet sekä ympäristön lämpötila. Lisäksi räjähdysvaaralliseen tilaan vaikuttavat laajentavasti virtausmäärän ja pitoisuuden kasvu, alhainen räjähdysraja, aineen lämpötilan nousu ja tiheyssuhteen kasvu. Tämä voi johtaa siihen, että samassa huoneessa on eri osissa eri tilaluokkia. (SFS-käsikirja 59 2012, 14-15.)

### 6.1.2 Ilmanvaihdon vaikutus tilaluokkiin

SFS-käsikirjan 59 (2012, 19) mukaan ilmanvaihto räjähdysvaarallisessa tilassa on tärkeä huomioitava tekijä tilaluokituksia tehdessä, sillä riittämätön ilmanvaihto saattaa aiheuttaa koko tilan määrittämisen räjähdysvaaralliseksi. Standardin 60079-10-1 mu-

kaan ilmanvaihdolla voidaan tehostaa kaasupäästöjen hajaantumista ja sekoittumista ilmaan ja siten laimentaa kaasupäästöjen pitoisuutta ilmassa. Laimeneminen voi mahdollistaa sen, että pitoisuus jää alle kaasun alemman räjähdysrajan. (SFS-EN 60079–10-1: 2010, 30.)

SFS-käsikirjassa 59 (2012, 19) mainitaan, että ilmanvaihtomäärille ei voida antaa tarkkoja ohjeita, vaan ne on ratkaistava tapauskohtaisesti. Standardissa SFS-EN 10079-10-1 ilmanvaihdon tehokkuus määritetään päästölähteiden tyyppin ja niiden päästömäärien mukaan. Mitä suurempi ilmanvaihdon määrä on päästölähteisiin suhteutettuna, sitä pienempi on räjähdysvaarallisen tilan laajuus. (SFS-EN 60079-10-1: 2010, 30.)

Ilmanvaihto voi olla koneellinen tai luonnollinen. Koneellinen ilmanvaihto tulee kyseeseen aina, kun luonnollinen ilmanvaihto on riittämätön räjähdyskelpoisen ilmaseoksen poistamiseksi huonetilasta. Ilmanvaihto tulee suunnitella siten, että vaarallimmaksi luokitellussa tilassa on aina alipaine ympäröiviin tiloihin nähden. (SFS-käsikirja 59 2012, 19.)

Nuutinen huomauttaa, että ilmaa kevyemmät kaasut, kuten biokaasu, nousevat kohti kattoa, jolloin voidaan olettaa suurimman osan tilassa olevasta kaasusta kasaantuvan tilan ylimpiin osiin. Tämä on huomioitava ilmanvaihtoa suunnitellessa. (Nuutinen N.d, 4.)

## 6.2 Räjähdysvaaran arviointi

Komission tiedonannossa mainitaan, että räjähdysvaaran arviointi on tehtävä riippumatta syttymislähteiden olemassaolosta tai niiden esiintymisen todennäköisyydestä. Räjähdysvaaraa arvioitaessa tarkastellaan ensiksi mahdollisuudet räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostumiselle vallitsevissa olosuhteissa, jonka jälkeen tutkitaan mahdolliset syttymislähteet. (KOM 25.8.2003/515, 7-8.)

### 6.2.1 Räjähdyksen syntyminen

Räjähdyksen syntyminen edellyttää, että palavien aineiden dispergoitumisaste on suuri, räjähdysvaarallisen aineen pitoisuus ilmassa on räjähdysrajojen välillä, räjähdyskelpoista ilmaseosta on vaaraa aiheuttava määrä ja aktivoitumiskelpoinen sytty-

mislähde on olemassa. Räjähdyksen syntymisen edellytyksiä kuvataan räjähdyskolmiolla (ks. kuvio 6). (KOM 25.8.2003/515, 8-10.)



Kuvio 6. Räjähdyskolmio (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 3)

Räjähdysvaaraa arvioitaessa on huomioitava voiko räjähdysvaarallinen ilmaseos joutua tekemisiin syttymislähteen kanssa. Syttymislähteitä ovat esimerkiksi kuumat pinnat, mekaanisesti syntyvät kipinät, sähkölaitteet, staattinen sähkö, sähkömagneettinen säteily, paineaallot ja kemialliset reaktiot. Lisäksi on arvioitava missä räjähdysvaarallinen ilmaseos voi esiintyä ja kuinka pitkiä aikoja. (ATEX. Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 10.)

Räjähdyssuojaustoimenpiteet ovat välttämättömiä, jos räjähdysvaarallisen ilmaseoksen syntyminen on mahdollista. Vain siinä tapauksessa, että räjähdyskelpoisten ilmaseoksien syntyminen on varmasti estetty, muita toimenpiteitä ei tarvita. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 7.)

### 6.2.2 Päästölähteet

SFS-käsikirjan 59 mukaan jokaista laitteiston osaa, kuten pumppuja ja säiliöitä, voidaan pitää mahdollisena päästölähteenä, ellei laitteisto ole kokonaan suljettu. Suljettuja laitteistoja ovat esimerkiksi kokonaan hitsatut ja kovajuotetut putkistot. Myös eri tilojen väliset aukot tulee huomioida mahdollisina päästölähteinä. Tällöin päästölähteen luokka riippuu viereisen tilan tilaluokasta, aukon avoinna olon kestosta ja



taajuudesta, liitosten ja tiivisteiden tiiveydestä sekä tilojen välillä vallitsevasta paine-erosta. (SFS-käsikirjan 59 2012, 10,14.)

Laitteiston ollessa sellainen, että siitä saattaa vapautua ainetta, on määritettävä päästölähteen tyyppi huomioiden päästön esiintymistaajuus ja kesto. Päästölähteet jaetaan kolmeen luokkaan seuraavasti:

- jatkuva päästölähde
  - o päästöjä esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein toistuvasti
- primäärinen päästölähde
  - o päästöjä saattaa esiintyä tilapäisesti normaalikäytön yhteydessä
- sekundäärinen päästölähde
  - o päästöjä ei normaalisti esiinny, ja jos niitä kuitenkin esiintyy, tämä tapahtuu harvoin ja lyhytaikaisesti.

(SFS-käsikirja 59 2012, 10-11.)

Vuotomäärä vaikuttaa suoraan tilaluokan laajuuteen; mitä suurempi on mahdollinen vuotomäärä, sitä suurempi on tilaluokan laajuus. Vuotomäärä riippuu useista tekijöistä, kuten päästölähteen geometriasta eli päästölähteen fysikaalisesta luoneesta (avoin nestepinta tai vuotava laippa), päästön vuotonopeudesta ja pitoisuudesta, päästömäärästä ja vuodon suihkun geometriasta. Lisäksi tilan laajuuteen vaikuttaa palavan kaasun haihtuvuus, joka on riippuvainen pääasiassa höyryn paineesta ja höyrystymislämmöstä. Haihtumisesta aiheutuvaa räjähdyskelpoista ilmaseosta ei voi esiintyä, jos leimahduspiste on korkeampi kuin palavan nesteen korkein käyttölämpötila. Jos palavaa ainetta vuotaa sumuna, räjähdyskelpoinen seos voi muodostua aineen leimahduspistettä alemmassakin lämpötilassa. (SFS-käsikirja 59 2012, 15-16.)

Biokaasulaitoksella räjähdysvaaraa aiheuttaa erityisesti metaanikaasu (Taavitsainen 2006, 37). Räjähdysvaaraa voi aiheuttaa myös tetrahydrotiofeeni (THT), jota käytetään biokaasun hajustamiseen. THT on helposti syttyvä, palava ja väritön neste, jolla on epämiellyttävä haju. (OVA-ohje: Tetrahydrotiofeeni 2015.) Riippuen biokaasulaitoksen syötteestä, voi ympäristöön aiheutua myös pölyräjähdysvaarallisia tiloja. Esimerkiksi erilaiset tärkkelykset, kuten riisi ja maissi, sokerit, jauhopöly, peruna- ja riisi-jauho sekä mallas voivat aiheuttaa pölyräjähdysvaarallisia tiloja. Myös omena ja porkkana voivat aiheuttaa pölyräjähdysvaarallisen ympäristön. (Combustible dust n.d.)

### 6.2.3 Laitteiden aiheuttamat syttymislähteet

Tässä luvussa on esitelty erilaisia syttymislähteitä ja esimerkkejä niiden aiheuttajista. Syttymislähdetyypit ja niiden toimintatavat on tunnettava ennen tehokkaiden suoja-toimenpiteiden käyttöönottoa. (KOM 25.8.2003/515, 20.)

Kuuma pinta voi sytyttää räjähdyskelpoisen ilmaseoksen, jos sen pintalämpötila ylittää seoksen itsesyttymislämpötilan (KOM 25.8.2003/515, 25). Liimataisen mukaan pinnan sytyttämiskyky kasvaa sen pinta-alan ja lämpötilan kasvaessa. Esimerkkeinä kuumista pinnoista Liimatainen mainitsee erilaiset lämpöpatterit, kuumennuskierukat ja mekaaniset jarrut. Myös kemialliset reaktiot esimerkiksi puhdistuksen yhteydessä saattavat aiheuttaa pintalämpötilan nousemisen. (Liimatainen 2004, 39-40.)

Komission tiedonannossa mainitaan, että isku tai hankaus voi aiheuttaa mekaanisia kipinöitä, jotka voivat sytyttää palavien kaasujen ja ilman sekä erityisesti metallipölyn ja ilman seoksia. Lisäksi kipinät voivat aiheuttaa pölykertymiin kyteviä pesäkkeitä, jotka saattavat kehittyä syttymislähteiksi. (KOM 25.8.2003/515, 25.) Standardissa SFS-EN 1127-1 huomautetaan, että myös laitteisiin ja komponentteihin sisään päässeet vieraat esineet, kuten kivet, tulee huomioida kipinöinnin aiheuttajina. Komission tiedonannon mukaan syttymiskelpoisten raapaisu- ja iskukipinöiden syntymistä voi välttää materiaalivalinnoilla laitteissa, joiden osat liikkuvat käytön aikana. Teräksen (ruostumatonta terästä lukuun ottamatta) ja kevytmetallien yhdistelmien käyttöä on ehdottomasti vältettävä mahdollisissa raapaisu- ja hankauskohdissa. (SFS-EN 1127-1:2011, 22.)

Adiabaattinen tai lähes adiabaattinen puristus tai paineisku voi aiheuttaa niin korkean lämpötilan, että se sytyttää räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Korkeapaineisen kaasun päästessä putkistoon äkillisesti voi aiheutua paineisku kaasun edetessä alemman paineluokanaluetta kohti ääntä nopeammin. Putkiston mutkien ja supistuksien muuttaessa paineiskujen suuntaa tai heijastaessa niitä voi seurauksena olla hyvinkin korkeita lämpötiloja. Paineiskut ja vaaraa aiheuttava kokoonpuristuminen voidaan yleensä estää tasaamalla paine-ero hitaasti esimerkiksi venttiileillä tilanteissa, joissa järjestelmän osien välinen suhteellinen paine-ero on suuri. (Liimatainen 2004, 41-42.)

Komission tiedonannon mukaan staattinen sähkö voi aiheuttaa erilaisia purkauksia, jotka voivat toimia potentiaalisina syttymislähteinä. Tärkeimpiä suojaustoimenpiteitä

staattisen sähkön aiheuttamilta syttymislähteiltä ovat sähköä johtavien laitteiden maadoittaminen, heikosti sähköä johtavien esineiden välttäminen ja johtamattomien pintojen pienentäminen. (KOM 25.8.2003/515, 26-28.)

Eksotermisissä reaktioissa vapautua lämpö voi muodostaa syttymislähteen, jos lämpöä syntyy nopeammin kuin sitä siirtyy ympäristöön. Reaktion yhteydessä voi syntyä palavia aineita, jotka voivat muodostaa räjähdyskelpoisia ilmaseoksia lisäten järjestelmän vaarallisuutta. Tarkoitukseen soveltuvia suojaustoimenpiteitä ovat esimerkiksi inertointi, stabilointi ja lämpötilojen säätö. (KOM 25.8.2003/515, 26.) Liimatainen (2004, 44) korostaa, että tällaisia itsesyttyviä aineita käytettäessä on suojaustoimenpiteet arvioitava tapauskohtaisesti.

Liimataisen mukaan liekit ovat tehokkaimpia syttymislähteitä ja liittyvät yli 1000 °C lämpötiloissa tapahtuviin palamisreaktioihin. Kuumat kaasut ja kytevät kiinteään aineen hiukkaset, jotka syntyvät liekin palaessa, voivat sytyttää räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Liekkien esiintyminen on yleensä estettävä tilaluokissa 0 ja 20. Tilaluokissa 1, 21, 2 ja 22 liekkejä saa esiintyä vain turvallisesti eristettyinä. (Liimatainen 2004, 46.)

Muita mahdollisia syttymislähteitä ovat esimerkiksi harhavirrat ja salamot. Harhavirrat voivat muodostua sähkölaitteistossa ilmenevän vian seurauksena tai ne voivat olla paluuvirtoja energiaa tuottavista järjestelmistä. Harhavirrat voivat muodostaa kipinöitä reitin muuttuessa ja järjestelmien osien kytkeytyessä auki tai kiinni. Harhavirta voi myös lämmittää johtimen niin kuumaksi, että sen korkea pintalämpötila riittää sytyttämään räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. (Liimatainen 2004, 46-47.) Vähäisetkin jännitteet voivat aiheuttaa kipinöitä yhdistettäessä tai katkaistaessa virtapiirejä tai aiheuttaa pintojen kuumentumista muodostaen syttymislähteen (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 15-16).

Salamanisku sytyttää aina räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Mikäli salamanisku on mahdollinen, tulee räjähdysvaaralliset tilat suojata tarkoituksenmukaisesti. (Liimatainen 2004, 47.) Ukkosmyrskyt voivat ilman salamanpurkauksiakin indusoida korkeita jännitteitä laitteisiin, suojajärjestelmiin ja komponentteihin ja siten aiheuttaa syttymisvaaran (SFS-EN 1127-1: 2011, 26).

#### 6.2.4 Riskin arviointi

Yksi riskin arvioinnin tarkoituksista on tunnistaa mahdolliset syttymislähteet, jotka voivat laitteen toiminnan aikana muuttua aktiivisiksi syttymislähteiksi. Tällaiset syttymislähteet luokitellaan niiden esiintymistodennäköisyyksien mukaan. Syttymislähteet luokitellaan koko ajan aktiiviseksi, jos sen todennäköisyyttä ei voida arvioida. (Liimatainen 2004, 39.).

Laitteelle tehtävään riskin arviointiin sisältyy pohdintaa siitä, millaisia syttymislähteitä laite voi aiheuttaa. Tilaluokasta riippuen arvioinnissa tulee käsitellä laitteen normaalitoiminta (tilaluokka 2 ja 22), ennakoitavissa oleva virhetoiminta (tilaluokat 1 ja 21) sekä tilaluokissa 0 ja 20 myös harvinainen virhetoiminta. Näiden perusteella käsitellään toimenpiteet syttymislähteet aktivoitumisen ehkäisemiseksi sekä suojauksen riittävyys. (ATEX. Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 14.)

Riskin määrällisen ja laadullisen arvioinnin tavoitteena on arvioida jo olemassa olevien syttymistä ehkäisevien toimenpiteiden luotettavuus ja riittävyys. Kun olemassa olevat vaarat on tunnistettu, arvioidaan, voidaanko riski poistaa tai voidaanko sitä pienentää tai hallita. (ATEX. Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 6.)

Tukesin ohjeen mukaan riskin arviointi jaetaan usein viiteen osa-alueeseen:

- 1) vaarojen tunnistaminen
- 2) vaaroille alttiina olevien työntekijöiden tunnistaminen
- 3) riskien määrällinen ja laadullinen arviointi
- 4) arvio siitä, voidaanko riski poistaa
- 5) jos riskin poistaminen ei ole mahdollista, arvioidaan, voidaanko riskiä vähentää tai hallita

(ATEX. Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 6).

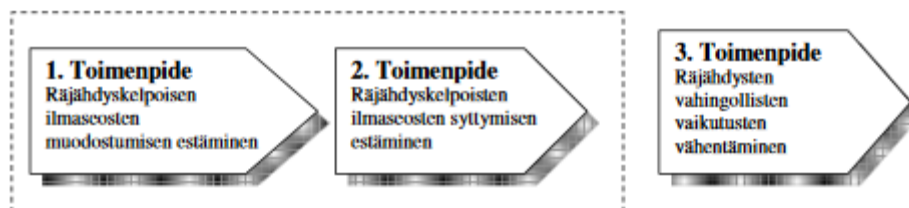
Riskinarvioinnin yhteenveto tulee esittää räjähdysuojasiasiakirjassa. (ATEX. Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 14.)

Kirjallisuudesta löytyy useita erilaisia riskinarviointimenettelyitä, joita käytetään riskitekijöiden löytymiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi tarkastusluettelot, toimintojen pettämisen vaikutuksien ja käyttövirheiden analysointi ja hallittavuusanalyysi. Näitä käytetään lähinnä poikkeustapauksissa. (KOM 25.8.2003/515, 8.)

### 6.2.5 Räjähdyksen esto ja suojaus

Räjähdyssuojaus on erittäin tärkeä turvallisuutta parantava tekijä, sillä räjähdykset vaarantavat työntekijöiden hengen ja terveyden. Räjähdyssuojaustoimenpiteitä ovat kaikki toimenpiteet, joilla räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syntyminen tai syttyminen estetään tai joilla räjähdysten vaikutuksia pienennetään. (KOM 25.8.2003/515, 15, 20.)

Taavitsaisen mukaan Tukesin oppaassa ATEX räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuudesta (2003) luetellaan räjähdysuojaustoimenpiteet tärkeysjärjestyksessä. Räjähdyssuojaustoimenpiteitä on kolme, joista ensisijaisesti suositellaan käytettäväksi toimenpiteitä räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostumisen estämistä (ks. kuvio 7). (Taavitsainen 2006, 82.)



Kuvio 7. Räjähdyssuojaustoimenpiteiden tärkeysjärjestys (Taavitsainen 2006, 82)

#### Räjähdykskelpoisen ilmaseoksen muodostumisen estäminen

Räjähdykskelpoisten ilmaseoksien syntyminen on estettävissä välttämällä tai vähentämällä palavien aineiden käyttöä. Pidettäessä ilmaan sekoittuvien kaasujen ja pölyjen pitoisuudet tiettyjen raja-arvojen ulkopuolella, ei räjähdysvaaraa ole. (ATEX. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 10.) Räjähdykskelpoisen ilmaseoksen muodostuminen voidaan estää myös suunnittelemalla ja rakentamalla laitteet pysyvästi vuotamattomiksi. Esimerkiksi koteloimalla ja hajaannuttamalla vuotavat höyryt alueelle, jossa ei ole syttymisvaaraa, voidaan räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen vuotokohdan läheisyydessä estää. (SFS-EN 1127-1: 2011, 34.)

Inertointi on menetelmä, jolla vähennetään laitteen sisäilman happipitoisuutta tai ohennetaan polttoainetta inerttiaineilla. Inertillä kaasulla tarkoitetaan palamatonta

kaasua, joka ei osallistu palamiseen eikä reagoi palavaa kaasua muodostavasti. Esimerkiksi typpi, hiilidioksidi ja vesihöyry ovat inerttejä kaasuja. Inertointia voidaan käyttää tavallisesti vain suljetuissa laitteistoissa, sillä inertointikaasun pääsy laitteiston ulkopuolelle aiheuttaa ilman happipitoisuuden vähenemistä ja siten tukehtumisvaaran. (KOM 25.8.2003/515, 16-17.)

Laitteiden ympäristössä ilmenevien kaasupitoisuuksien valvonta voidaan järjestää esimerkiksi kaasunilmaisimin (ATEX. Räjähdyksenvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 10). Kaasunilmaisimia ei hyväksytä ensisijaisiksi suojauskeinoiksi, mutta ne soveltuvat lisäsuojauskeinoksi esimerkiksi antamaan hälytyksen tai käynnistämään tehostetun tuuletuksen vuotojen sattuessa. (SFS-käsikirja 604-1 2010, 366.)

### **Syttymisen estäminen**

Tilanteissa, joissa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostuminen ei ole estettävissä, on vältettävä sen syttymistä. Syttyminen voidaan estää erilaisin suojatoimenpitein, kuten estämällä syttymislähteiden esiintyminen tai vähentämällä niiden esiintymisen todennäköisyyttä. (ATEX. Räjähdyksenvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 10.)

Standardin SFS-EN 1127-1 (2008, 31) mukaan syttyminen voidaan estää esimerkiksi räjähdysuojusrakenteilla, jotka on esitelty tämän raportin luvussa 7.6.

### **Räjähdyksen vahingollisten vaikutusten vähentäminen**

Mikäli ei ole mahdollista toteuttaa riittävän varmoja räjähdysuojatoimenpiteitä, voidaan ryhtyä toimenpiteisiin räjähdysvaikutusten rajoittamiseksi. Vahingollisia vaikutuksia voidaan välttää räjähdyskestävällä rakennustavalla, alentamalla räjähdyspainetta, vaimentamalla räjähdys tai estämällä räjähdysvaikutusten tai liekkien leviämisen. Toimenpiteet koskevat tavallisesti laitteiden sisällä tapahtuvien räjähdysten vaikutusten rajoittamista. (ATEX. Räjähdyksenvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 10.)

Räjähdyksen kestävä rakennustapa tarkoittaa sitä, että laitteiston osat, kuten säiliöt ja putkistot, rakennetaan kestäväksi laitteen sisäpuolinen räjähdys. Räjähdyksen kestävä rakennustapa jaetaan kahteen luokkaan, jotka ovat räjähdyspaineen kestä-

vät laitteet ja räjähdysten paineaallon kestävätkä laitteet. Ensin mainitut kestävätkä odotettavissa olevan räjähdyspaineen muuttamatta muotoaan pysyvästi ja jälkimmäinen tarkoittaa rakennetta, joka kestätkä räjähdysten aiheuttaman paineaallon. Muodonmuutokset ovat kuitenkin mahdollisia. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 15.)

Räjähdyspaineen alentamiseen voidaan käyttää esim. murtumissuojia tai räjähdysventtiilejä. Räjähdyspaineen alentaminen ei ole sallittua, jos sen seurauksena vapautuvat aineet voivat vaarantaa ihmisten turvallisuuden tai vahingoittaa ympäristöä. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 15-16.)

Vaimentamalla räjähdystä voidaan estää suurimman mahdollisen räjähdyspaineen saavuttaminen puhaltamalla laitteistoon sammutusainetta. Tällä menetelmällä vaikutukset rajoittuvat laitteiston sisätiloihin. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 16.)

Räjähdysten leviämisen estämisen tavoitteena on rajoittaa räjähdysten leviämistä viereisiin laitteistoihin. Tämä on mahdollista räjähdysteknisen irtikytkennän avulla käyttäen esimerkiksi mekaanisia pikasulkuja, sammutusainetta, pysäyttämällä liekki voimakkaalla vastavirtauksella, upottamalla tai suluttamalla. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 16.)

Liekkien pääsy räjähdysvaarallisiin tiloihin voidaan estää sammuttamalla liekki kaapeikoissa ja kanavissa tai pysäyttämällä liekkirintama palamattoman seoksen virralla tai neulamaisilla esteillä. Liekkejä läpäisemättömien rakennelmien toiminta voi perustua yhteen tai useampaan edellä mainituista mekanismeista. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 16-17.)

### 6.3 Räjähdysuojasiasiakirja

Valtioneuvoston asetus 18.6.2003/576 määrää, että työnantajan on huolehdittava siitä, että räjähdysvaarallisesta tilasta on selvityksen ja arvioinnin perusteella laadittu räjähdysuojasiasiakirja (A 18.6.2003/576, 8§). Energiateollisuuden suosituksen H21 mukaan räjähdysuojasiasiakirja antaa yleiskuvan vaaran arvioinnin tuloksista ja suojatoimenpiteistä. Sen tavoitteena on ennaltaehkäistä räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamat vaaratilanteet, ylläpitää yleistä turvallisuutta sekä estää henkilö- ja

omaisuusvahinkoja. Räjähdyssuojausasiakirja on laadittava ennen, kuin laitos, jossa räjähdysvaarallisia tiloja on, otetaan käyttöön. (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 24–25.)

Valtioneuvoston asetus 18.6.2003/576 määrää, että räjähdysuojausasiakirjassa on esitettävä erityisesti:

- 1) että räjähdysvaara on määritetty ja sen merkitys arvioitu;*
- 2) että asianmukaiset toimenpiteet toteutetaan tämän asetuksen tavoitteiden saavuttamiseksi;*
- 3) liitteen 1 mukaisesti luokitellut tilat;*
- 4) tilat, joihin sovelletaan liitteessä 2 asetettuja vähimmäisvaatimuksia;*
- 5) että työpaikka on suunniteltu, työvälineet valittu ja niitä ja varoituslaitteita käytetään ja huolletaan siten, että turvallisuus otetaan asianmukaisesti huomioon; ja*
- 6) että työvälineiden turvallisesta käytöstä huolehditaan siten kuin siitä erikseen säädetään.*

(A 18.6.2013/ 576, 8§.)

Edellä mainittujen lisäksi räjähdysuojausasiakirjassa esitetään tilaluokituspiirustus, tarvittaessa kartta maahan asennetuista kaapeleista, laitetiedot sekä niiden räjähdysuojaustodistukset ja käyttö- ja huolto-ohjeet, räjähdysvaarallisten tilojen toiminnasta vastuussa olevien henkilöiden nimet sekä tiloissa työskentelevien henkilöiden määrä, pohjapiirustus poistumistiet esitettynä, toimintojen kuvaus, tiedot siivouksesta ja ilmanvaihdosta, kuvaukset aineista ja olosuhteista, joissa ne voivat olla räjähdyskelpoisia, riskin arvioinnin tulokset, selvitys räjähdysuojaustoimenpiteistä ja luettelo hyväksytyistä työvälineistä. (ATEX. Räjähdyssuojausasiakirjojen turvallisuus 2015, 19; SFS-käsikirja 59 2012, 16-17.)



## 6.4 Räjähdyksvaarallisten tilojen merkitseminen

Valtioneuvoston asetus 18.6.2013/ 576 määrää räjähdysvaarallisten tilojen sisäänkäyntien yhteydessä käytettävän kuvion 8 mukaista varoitusmerkintää tarvittaessa (A 18.6.2013/ 576, 7§). Nuutila ym. korostavat, että merkinnän tulee olla 1999/92/EY mukainen EX-merkki. ( Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 22.)



Kuvio 8. 1999/92/EY mukainen EX-merkki (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahti & Taskinen 2006, 22)

Merkintä on tarpeen tiloissa ja alueilla, joissa voi esiintyä räjähdyskelpoista ilmaseosta. Mikäli tilasta vain osa on räjähdysvaarallista aluetta, voi sen merkitä esimerkiksi keltamustalla viivoituksella lattiaan. (KOM 25.8.2003/515, 42.)

## 7 Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteet

Tiloissa, joissa palavia aineita käytetään, on yleensä hankala taata räjähdysvaarattomuus. On myös vaikeaa taata, että laitteet eivät koskaan muodostuisi syttymislähteiksi. Näistä syistä tiloissa, joissa on suuri todennäköisyys räjähdyskelpoisen kaasuseoksen esiintymiseen, tulee käyttää laitteita, joilla on pieni todennäköisyys muodostua syttymislähteiksi. Vastaavasti tiloissa, joissa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostuminen on epätodennäköisempää, voidaan käyttää alemman vaatimustason mukaisia laitteita. (SFS-EN 60079-10-1: 2010, 20.)

Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteilla tulee olla EY-vaatimuksenmukaisuusvakuutus ja CE-merkintä ennen kuin laitteita saa pitää kaupan, luovuttaa toiselle tai ottaa käyttöön. Turvatekniikan keskus voi kuitenkin yksittäistapauksissa erityisten syiden perusteella hyväksyä laitteen käyttöönoton, kaupan pitämisen tai luovuttamisen toiselle, mikäli sen käyttö on turvallisuuden kannalta tärkeää, vaikka laitteeseen ei ole sovellettu Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä 27.11.1996/918 määritettyjä menettelyjä. (KTMp 27.11.1996/918, 7§.)

## 7.1 Laiteryhmät

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä 27.11.1996/918 ryhmitellään räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet kahteen ryhmään. Ryhmän I laitteet ovat tarkoitettu maanalaisiin kaivoksiin ja niiden maanpäällisiin osiin, joissa ne voivat joutua alttiiksi kaivoskaasuille tai syttyville pölyille. Ryhmän II laitteella tarkoitetaan muissa räjähdysvaarallisissa tiloissa kuin kaivoksissa tai sen maanpäällisissä osissa käytettäväksi tarkoitettua laitetta. (KTMp 27.11.1996/918, 3§.)

Laitteet jaetaan ryhmissä I ja II turvallisuustasojen mukaisesti kolmeen eri luokkaan. Tässä työssä ei käsitellä mainintaa tarkemmin ryhmän I laitteita, jotka ovat tarkoitettu maanalaisiin kaivoksiin, vaan keskitytään ryhmän II laitteisiin. (KTMp 27.11.1996/918, 3§, liite I.)

## 7.2 Laiteluokat

Ryhmän I laiteluokkia ovat M1 ja M2. Näiden luokkien laitteet ovat tarkoitettu maanalaisiin kaivoksiin ja niiden maanpäällisiin osiin, joissa on kaivoskaasuista tai syttyvistä pölyistä aiheutuvaa vaaraa. Luokan M1 laitteet takaavat M2 luokkaa korkeamman turvallisuustason. (KTMp 27.11.1996/918, liite I.)

Ryhmän II luokan 1 laitteet ovat suunniteltu siten, että ne takaavat erittäin korkean turvallisuustason. Luokan 2 laitteet takaavat korkean turvallisuustason ja luokan 3 laitteet normaalin turvallisuustason. (KTMp 27.11.1996/918, liite I.)

Laiteluokka 1 sisältää laitteet, jotka on tarkoitettu ympäristöön, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai toistuvasti. Laitteiden on varmis-

tettava tarvittava suojaustaso myös laitteiden harvinaisissa häiriötilanteissa. (KTMp 27.11.1996/918, liite I.)

Laiteluokan 2 sisältämät laitteet on tarkoitettu ympäristöön, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy. Luokan 2 laitteet varmistavat tarvittavan turvallisuustason myös normaalitoiminnassa ennakoitavissa olevien toistuvien häiriöiden tai laitteiden toimintavikojen aikana. (KTMp 27.11.1996/918, liite I.)

Luokka 3 sisältää laitteet, jotka on tarkoitettu ympäristöön, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos on epätodennäköinen ja silloinkin vain lyhytaikainen. Tämän luokan laitteet varmistavat tarvittavan turvallisuustason vain normaalitoiminnassa. (KTMp 27.11.1996/918, liite I.)

Räjähdysvaarallisissa tiloissa on käytettävä tilaluokan vaatimuksien mukaisesti luokiteltuja laitteita. Tilaluokkiin 0 ja 20 sopivat laiteluokan 1 laitteet, tilaluokkiin 1 ja 21 laiteluokan 1 ja 2 laitteet sekä tilaluokkaan 2 ja 22 laiteluokkien 1, 2 ja 3 laitteet (ks. kuvio 9). (A 18.6.2003/576, Liite 2.)

Tila	Ilman lisätoimenpiteitä käyttökelpoinen luokka	jos käyttökohteessa on
0	II 1 G	kaasun ja ilman seosta höyryn ja ilman seosta sumua
1	II 1 G tai 2 G	kaasun ja ilman seosta höyryn ja ilman seosta sumua
2	II 1 G tai 2 G tai 3 G	kaasun ja ilman seosta höyryn ja ilman seosta sumua
20	II 1 D	pölyn ja ilman seosta
21	II 1 D tai 2 D	pölyn ja ilman seosta
22	II 1 D tai 2 D tai 3 D	pölyn ja ilman seosta

G koskee kaasun/höyryn/sumun ja ilma seosta.

D koskee pölyn ja ilman seosta.

Kuvio 9. Eri tilaluokissa käytettäväksi tarkoitetut laitteet (Nuutila, Lehtinen, Riipinen, Soralahi & Taskinen 2006, 18)

### 7.3 Räjähdyssryhmät

SFS-käsikirja 59 jaottelee ryhmän II laitteet alaryhmiin riippuen siitä räjähdyskelpoisen seoksen koostumuksesta, johon laite on tarkoitettu. Räjähdyssryhmät IIA, IIB ja IIC viittaavat Exd- ja Exi- räjähdysuojaurakenteisten laitteiden ominaisuuksiin. Vastaa- vasti nesteet ja kaasut jaetaan räjähdysryhmiin IIA, IIB ja IIC suurimman kokeellisen turvaraon ja pienimmän syttymisvirran perusteella. (SFS-käsikirja 59 2012, 12-13, 89.) Räjähdyssryhmät IIIA, IIIB ja IIIC ovat pölyräjähdysvaarallisen tilojen räjähdysryhmiä (Patola 2012, 15).

Kaasujen räjähdysryhmistä IIC on herkimmin räjähtävä, IIA puolestaan vähiten herkin (Lindman 2016, 32). Esimerkiksi metaani kuuluu räjähdysryhmään IIA, joten tiloissa, joissa räjähdysvaara aiheutuu metaanipäästöistä, sopii käytettäväksi laiteryhmiä IIA, IIB ja IIC laitteet taulukon 1 mukaisesti. (Patola 2012, 15.) Esimerkkeinä muiden räjähdysryhmien kaasuista voisi mainita asetyleenin, joka kuuluu luokkaan IIC ja eteenin, joka kuuluu luokkaan IIB (Luettelo yleisimmistä palavista nesteistä 1999, 3,13).

Taulukko 1. Laiteryhmien soveltuvuus räjähdysryhmiin (Patola 2012, 15, muokattu)

	Räjähdyssryhmä	Sallittu laiteryhmä
Kaasut	IIA	II, IIA, IIB tai IIC
	IIB	II, IIB tai IIC
	IIC	II tai IIC
Pölyt	IIIA	IIIA, IIIB tai IIIC
	IIIB	IIIB tai IIIC
	IIIC	IIIC

### 7.4 Lämpötilaluokat

SFS-käsikirjan mukaan palavat kaasut ja höyryt jaetaan vastaavasti syttymisryhmiin niiden itsesyttymislämpötilan mukaan. Syttymislämpötila kuvaa alinta lämpötilaa, jossa aine syttyy kosketuksesta kuumaan pintaan. (SFS-käsikirja 59 2012, 13.)

Räjähdyssvaarallisten tilojen laitteet jaetaan lämpötilaluokkiin niiden pintalämpötilan perusteella. Kaasuräjähdyssvaarallisten tilojen laitteiden lämpötilaluokat ilmoitetaan

luokituksilla T1..T6 ja pölyräjähdysvaarallisten tilojen laitteiden lämpötilaluokitukset merkitään celsiusasteina tunnuksen T perässä. (Patola 2012, 16.)

Taulukossa 2 näkyy tilaluokan edellyttämä lämpötilaluokka sekä kaasujen ja höyryjen syttymislämpötilat.

Taulukko 2. Laitteiden lämpötilaluokat sekä kaasujen ja höyryjen syttymisryhmät (Patola 2012, 17, muokattu)

Tilaluokituksen edellyttämä lämpötilaluokka	Kaasun tai höyryn syttymislämpötila °C	Laitteiden sallitut lämpötilaluokat
T1	> 450	T1-T6
T2	> 300	T2-T6
T3	> 200	T3-T6
T4	> 135	T4-T6
T5	> 100	T5-T6
T6	> 85	T6

Lämpötilaluokan T1 laite sopii käytettäväksi ainoastaan sellaisissa tiloissa, joissa ympäröivä räjähdyskelpoinen ilmaseos kuuluu syttymisryhmään T1. Lämpötilaluokan T6 laite on pintalämpötilaltaan niin alhainen, että se soveltuu käytettäväksi tiloissa, joissa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymisryhmä voi olla mikä tahansa kuudesta edellä mainitusta. (Patola 2012, 16.)

## 7.5 Räjähdysuojaustaso EPL

Patolan mukaan räjähdysuojaustaso EPL (Equipment Protection Level) on standardisarjan EN 60079 käyttämä luokittelutapa (Patola 2012, 14-15; SFS-EN 60079-14: 2009, 9). Räjähdysuojaustaso perustuu laitteen todennäköisyyteen muodostua syttymislähteeksi (SFS-EN 60079-0 + A11: 2013, 42).

Räjähdysuojaustasojen ensimmäinen kirjain kertoo onko suojaus kaasulle (G) vai pölylle (D). Toinen kirjain määrittelee turvallisuustason, joita on kolme (a, b ja c). Näistä a on erittäin korkea, b korkea ja c normaali. Räjähdysuojaustasot vastaavat ATEX-laitedirektiivin mukaista laiteluokittelua taulukon 3 mukaisesti. (Patola 2012, 14-16.)

Taulukko 3. EN 60079 -standardien vastaavuus ATEX-direktiiviin (Patola 2012, 16)

Standardi EN 60079		ATEX-direktiivi		
EPL	Laiteryhmä	Laiteryhmä	Laiteluokka	Tilaluokat
Ma	I	I	M1	Kaivokset
Mb			M2	
Ga	II	II	1G	0
Gb			2G	1
Gc			3G	2
Da	III		1D	20
Db			2D	21
Dc			3D	22

## 7.6 Räjähdyssuojaurakenteet

Räjähdyssuojaurakenteella tarkoitetaan standardisoitua rakennetta tai suunnittelu-periaatetta. Näiden periaatteiden avulla voidaan varmistaa, että syttymislähteitä ei voi syntyä, mahdollinen syttymislähde ei voi tulla aktiiviseksi syttymislähteeksi, räjähdyskelpoinen ilmaseos ei saavuta syttymislähdettä tai räjähdys pidätetään ja liekkien eteneminen estetään. (SFS-käsikirja 161-2 2006, 9.) Räjähdyssuojaurakenteella voidaan esimerkiksi eristää syttymislähde räjähdysvaarallisesta ilmaseoksesta koteloinnilla (Sulonen 2015a, 4.).

### 7.6.1 Mekaanisien laitteiden räjähdyssuojaurakenteet

Mekaanisien laitteiden suojausperiaatteet "fr", "d", "p" ja "k" perustuvat syttymislähteen eristämiseen ja "b" ja "c" siihen, ettei laitteessa ole syttymislähdettä. Taulukossa 4 esitetään mekaanisia laitteita koskevia standardeja, räjähdyssuojaustyypppejä sekä niillä saavutettavat laiteluokat. Kuvaukset räjähdyssuojaurakenteista sekä niiden yleisimmät käyttökohteet näkyvät taulukossa 5. (Sulonen 2015a, 4.)

Taulukko 4. Räjähdyssuojusrakenteiden sopivuus laiteluokkiin (Sulonen 2009, 2)

**Muut koneet ja laitteet**

	Koodi	EN-standardi	Laiteluokka				
			1	2	3	M1	M2
Yleiset vaatimukset		EN 13483-1					
Rajoitetusti hengittävä	fr	EN 13483-2			+		
Räjähdyssuorituksen kestävä	d	EN 13483-3		+			+
Rakenteellinen turvallisuus	c	EN 13483-5	+	+			+
Syttymislähteiden kontrollointi	b	EN 13483-6	+	+	+		
Paineistus	p	EN 13483-7		+			
Nesteeseen upotus	k	EN 13483-8	+	+	+	+	+
Polttomootorit		EN 1834-1		+	+		
Trukit		EN 1755		+	+		
Puhaltimet		EN 14986	+	+	+		

Taulukko 5. Kuvaukset räjähdysuojusrakenteista mekaanisille laitteille (Ex-juliste 2016, muokattu)

Räjähdyssuojusrakenne		Kuvaus	Käyttökohteet
fr	Rajoitetusti hengittävä		Ainoastaan tilaluokkien 2 tai 22 laitteet
d	Räjähdyssuorituksen kestävä		Jarrut, liitokset
c	Rakenteellinen turvallisuus		Pumput, liitokset, hihna- ja ketjupyörät
b	Syttymislähteiden kontrollointi		Pumput, hihnapyörät
p	Paineistus		Pumput
k	Nesteeseen upotus		Uppopumput, vaihteet

**Virtausta rajoittava rakenne "fr"**

Kotelointia ympäröivä ilmaseos voi päästä kotelon sisään pääasiassa tuulettumisen, kotelon sisä- ja ulkopuolisen paineen eron tasoittumisen tai pitoisuuserojen tasoittumisen (diffuusio) seurauksena. Yksinkertaisetkin kotelot voivat estää ympäröivän räjähdyskelpoisen ilmaseoksen pääsyn kotelon sisällä oleviin syttymislähteisiin. Virtausta rajoittavien rakenteiden käyttö on rajoitettu laitelaiteryhmän II luokan 3 vaa-

timuksien täyttämiseen. Tätä suojausrakennetta ei saa käyttää, mikäli syttymislähde on avotuli. (SFS-käsikirja 161-2 2006, 22-24.)

### **Räjähdyspaineen kestävä rakenne ”d”**

Räjähdyspaineen kestävä rakenne on tarkoitettu estämään kotelon sisällä tapahtuvan ilmaseoksen syttymisen eteneminen ulkopuolella olevaa ilmaseokseen. Suojauksen periaate on se, että kaasut ja höyryt voivat päästä koteloinnin sisään liitosten tai laippojen kautta, mutta sisäpuolisen ilmaseoksen syttyessä kotelointi ei muuta merkittävästi muotoaan eikä liekki pääse ulkopuolella olevaan räjähdyskelpoiseen ilmaseokseen. Esimerkiksi hankauksesta aiheutuvat kuumat pinnat (kitkakytkimet, jarrut), korkean lämpötilan vaativat laitteet (katalysaattorit) tai hankauskipinöitä aiheuttavat laitteet voidaan suojata räjähdyspaineen kestävällä koteloinnilla. (SFS-käsikirja 161-2 2006, 48.) Tämän luokan kotelointia voi käyttää ryhmän II laitteissa laiteluokassa 2G tai 2D (SFS-käsikirja 161-2 2006, 48.)

### **Rakenteellinen turvallisuus ”c”**

Rakenne suojaa syttymiseltä, joka voi aiheutua liikkuvien osien synnyttämien kipinöiden, kuumien pintojen tai adiabaattisen puristuksen seurauksena. (SFS-EN ISO 80079-37: 2016, 8.) Suojaus perustuu rakenteellisiin toimenpiteisiin (SFS-käsikirja 161-2 2006, 84). Tätä suojausperiaatetta voidaan käyttää tilaluokkien 1 ja 2 laitteissa (Sulonen 2009, 2).

### **Nesteeseen upotus ”k”**

Räjähdyssuojaustyyppi, jossa potentiaaliset syttymislähteet tehdään tehottomiksi tai erotetaan ne räjähdysvaarallisesta ilmaseoksesta upottamalla ne suojaavaan nesteeseen. Räjähdyssvaarallinen ilmaseos voi olla nesteen yläpuolella. (SFS-EN ISO 80079-37: 2016, 9.) Suojausnesteellä voidaan estää myös syttymislähteen aktivoituminen (SFS-käsikirja 161-2 2006, 178). Suojausmenetelmä sopii tilaluokkiin 1, 2 ja 3 (Sulonen 2009, 2).



### **Syttymislähteen valvonta ”b”**

Syttymislähteen valvonta on syttymissuojaurakenne, jossa mekaanisia tai sähkölaitteita käytetään yhdessä mekaanisen laitteen kanssa vähentämään mahdollisen syttymislähteen todennäköisyyttä muuttua todelliseksi syttymislähteeksi. (SFS-EN ISO 80079-37: 2016, 8.) Laite voidaan suojata esimerkiksi antureilla sekä niihin liittyvillä automaattisilla tai käsikäyttöisillä toimenpiteillä, joilla estetään syttymislähteen aktivoituminen (SFS-käsikirja 161-2 2006, 138). Suojausmenetelmä sopii tilaluokkiin 1, 2 ja 3 (Sulonen 2009, 2).









### **Paineistus ”p” ja suojaustapa ”t”**

Mekaanisille laitteille hyväksytään myös suojaustavat ”t” ja ”p”, jotka pohjautuvat sähkölaitteille saatavissa oleviin suojausrakenteisiin. Nämä räjähdysuojaurakenteet kuvataan tarkemmin luvussa 7.6.2. Kyseisiä suojausrakenteita käytettäessä mekaanisille laitteille on huomioitava laitteiden luonne ja syttymislähteet. (SFS-EN ISO 80079-36:2016, 72.)

#### **7.6.2 Sähkölaitteiden räjähdysuojaurakenteet**

Sähkölaitteiden räjähdysuojaus voidaan toteuttaa kahdella eri pääperiaatteella. Ensimmäisessä huolehditaan, että vaarallista lämpötilaa tai kipinää ei pääse syntymään. Tällaisia periaatteita ovat Exe (varmennettu rakenne) ja Exi (luonnostaan vaaraton rakenne). Toinen periaate perustuu siihen, että eristetään vaarallinen lämpötila tai kipinä siten, ettei se voi sytyttää ulkopuolella olevaa räjähdysvaarallista ilmaseosta. Tähän laiteryhmään kuuluvat räjähdyspaineen kestävät laitteet (Exd), hiekkatäytteiset (Exq) ja öljytäytteiset (Exo) laitteet, paineistetut laitteet (Exp) ja massaansa valetut (Exm) laitteet. (Räjähdysvaarallisten tilojen elektroniikka ja ATEX-laitedirektiivin vaatimukset 2012.) Kuvaukset räjähdysuojaurakenteista ja yleisistä käyttökohteista löytyy taulukosta 6. Sähkölaitteiden räjähdysuojaurakenteet ja niiden sopivuus eri laiteluokkiin näkyvät taulukossa 7.

Taulukko 6. Kuvaukset räjähdysuojusrakenteista sähkölaitteille (Ex-juliste 2016, muokattu)

Räjähdysuojusrakenne		Kuvaus	Käyttökohteet
d	Räjähdysspaineen kestävä		Moottorit, muuntajat, valaistustarvikkeet
p	Paineistus		Analysaattori, suuret moottorit
q	Hiekkatäytteinen		Anturit, näytöt, lähettimet
o	Öljytäytteinen		Muuntajat,
e	Varmennettu rakenne		Kytkenäkotelot, valaistustarvikkeet
i	Luonnostaan vaaraton		Instrumentointi, anturit, toimilaitteet
n	Suojusrakenne "n"		Kaikki tilaluokan 2 laitteet
m	Massaan valettu		Ohjaus- ja signaaliyksiköt

Taulukko 7. Räjähdysuojusrakenteen sopivuus laiteluokkiin (Sulonen 2009, 2).

#### Sähkölaitteet

	Koodi	EN-standardi	Laiteluokka				
			1	2	3	M1	M2
Yleiset vaatimukset		EN 60079-0					
Räjähdysspaineen kestävä	d	EN 60079-1		+			+
Paineistettu	p	EN 60079-2		+	+		
Hiekkatäytteinen	q	EN 60079-5		+			
Öljytäytteinen	o	EN 60079-6		+			
Varmennettu rakenne	e	EN 60079-7		+			+
Luonnostaan vaaraton	i	EN 60079-11	+	+	+	+	
Suojusrakenne "n"	n	EN 60079-15			+		
Massaan valettu	m	EN 60078-18	+	+	+		
Laiteluokka 1G		EN 60079-28	+				
Pölytilojen laitteet	t	EN 61241-1	+	+	+		

### **Luonnostaan vaaraton rakenne ”i”**

Luonnostaan vaaraton rakenne on suojausperiaate, jossa laitteiden ja johtojen sähköenergia rajoitetaan tasolle, jolla syttyminen ei tapahdu lämpenemisen tai kipinöinnin seurauksena (SFS-EN 60079-14: 2009, 19). Sulosen (2015a, 9) mukaan Exi-piirissä mahdollisen kipinän energia on aina pienempi kuin vaaraa aiheuttavan aineen pienin syttymisvirta. Exi-piirille on tehtävä varmennus, jolla tarkastetaan piirin sähköisien arvojen jäävän sallitulle tasolle (Lindman 2016, 5). Luonnostaan vaaraton rakenne sopii tilaluokkiin 0, 1 ja 2 (Lämpötila-antureiden valinta räjähdysvaaralliseen tilaan 2015, 1).

Luonnostaan vaarattomia laitteita käytettäessä on huomioitava palavien aineiden jako alaryhmiin IIA, IIB ja IIC pienimmän syttymisvirran perusteella (Minimum Igniting Current, MIC) (SFS-käsikirja 59 2012, 89).

### **Räjähdyspaineen kestävä rakenne ”d”**

Räjähdyspaineen kestävä rakenne ”d” on suojausrakenne, jossa potentiaaliset sytytyslähteet ovat rakenteen sisällä. Rakenne kestää rakenteen sisäpuolisen räjähdyspaineen ja estää räjähdysten etenemisen rakenteen ulkopuolella olevaan räjähdyskelvaiseen ilmaseokseen. (SFS-EN 60079-14: 2009, 18.)

Räjähdyspaineen kestäviä koteloita (Exd) varten määritetään koesäiliön perusteella suurin kokeellinen turvarako (Maximum Experimental Safe Gaps, MESG). (SFS-käsikirja 59 2012, 89.) Menetelmää käytetään tilaluokissa 1 ja 2 (Raittinen 2009, 24).

### **Varmennettu rakenne ”e”**

Varmennetun rakenteen suojaus perustuu rakenteellisiin keinoihin, joilla saavutetaan korkeampi turvallisuus kuin normaalirakenteisilla laitteilla. Tämä suojausrakenne sopii laitteille, jotka eivät normaalikäytössä kuumene, muodosta valokaaria tai kipinöitä. (SFS-käsikirja 604-1 2010, 281.) Raittisen mukaan Exe-rakenne on yksi laajimmin käytetyistä suojausrakenteista ja se sopii tilaluokkiin 1 ja 2 (Raittinen 2009, 24-25).

### **Paineistus "p"**

Paineistus on tekniikka, jolla estetään kotelon ulkopuolisen ilman pääsy kotelon sisään. Paineistus toteutetaan ylläpitämällä kotelon sisällä ylipaineista suojakaasua. (SFS-EN 60079-14: 2009, 20.) Suojaus voidaan toteuttaa joko huuhtelemalla järjestelmää jatkuvasti puhtaalla ilmalla (dynaaminen paineistus) tai korvaamalla ulos vuotava ilma (staattinen paineistus) (SFS-käsikirja 604-1 2010, 280). Menetelmä sopii tilaluokkiin 1 ja 2 (Raittinen 2009, 23).

### **Räjähdyssuojaurakenne "n"**

Räjähdyssuojaurakenteen "n" mukainen sähkölaite ei normaalissa käytössä kykene sytyttämään sitä ympäröivää räjähdyskelpoista ilmaseosta (SFS-EN 60079-14: 2009, 20).

Suojaurakenne "n" jaetaan neljään alaluokkaan:

"nA" kipinöimättömät laitteet

"nC" kipinöivät laitteet, joiden koskettimet on suojattu muilla tavoin kuin rajoitetusti hengittävällä kotelolla tai energiarajoituksella.

"nR" rajoitetusti hengittävät kotelot

"nL" energiarajoitetut laitteet.

(SFS-EN 60079-14: 2009, 72.)

### **Öljyyn upotus "o"**

Sähkölaite tai sen osa on upotettu suojaavaan nesteeseen niin, että nestepinnan yläpuolella tai laitteen ulkopuolella oleva räjähdyskelpoinen ilmaseos ei voi syttyä (SFS-EN 60079-14: 2009, 20). Alun perin öljyyn upotus suunniteltiin korkeatehoisille laitteille sen jäähdytys- ja eristysominaisuuksien vuoksi. Menetelmää käytetään pääasiassa tilaluokassa 1. (Raittinen 2009, 22.)

### **Hiekkatäytteinen rakenne "q"**

Sähkölaitteen räjähdyskelpoisen ilmaseoksen sytyttämiseen kykenevät osat ovat kiinnitetty paikalleen ja ympäröity täyteaineella, joka estää räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymisen. On tärkeää huomioida, että räjähdyskelpoinen ilmaseos voi kuitenkin tunkeutua laitteeseen, jolloin se voi syttyä. Pienestä vapaasta tilasta johtuen liekit tukehtuvat tunkeutuessaan täyteaineen läpi estäen ulkopuolisen räjähdyskelpoisen. (60079-14:2015 + AC:2016: 2015, 20, 28.) Suojaus perustuu kuumien pintojen ja kipinöiden eristämiseen joko hiekkalla tai kvartsi jauheella. Menetelmää käytetään usein yhdistettynä toiseen suojausrakennemenetelmään. Rakenne on tarkoitettu käytettäväksi tilaluokissa 1 ja 2. (Raittinen 2009, 23-24.)

### **Massaanvalurakenne "m"**

Suojausrakenne, jossa kipinöivät ja kuumat osat, jotka voisivat sytyttää räjähdysvaarallisen ilmaseoksen, ovat suljettu massan sisään. Rakenne suojaa räjähdysvaarallisen kaasun syttymiseltä käyttö- tai asennustilanteessa. (SFS-EN 60079-14: 2009, 20.) Rakenne sopii tilaluokkiin 1 ja 2 (Raittinen 2009, 26).

### **Suojaus koteloinnilla "t"**

Räjähdysuojausrakenne, jossa laite suojataan koteloinnilla siten, että pölypilven- tai kerrosten syttyminen vältetään. Räjähdysuojausrakenteen "t" mukaisia koteloita tai komponentteja, joilla on vain komponenttihakemus, ei saa asentaa räjähdysvaaralliseen tilaan, ellei laitteella ole koko kokoonpanon kattavaa sertifikaattia. (SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016: 2015, 28, 95).

## **7.7 Merkinnät**

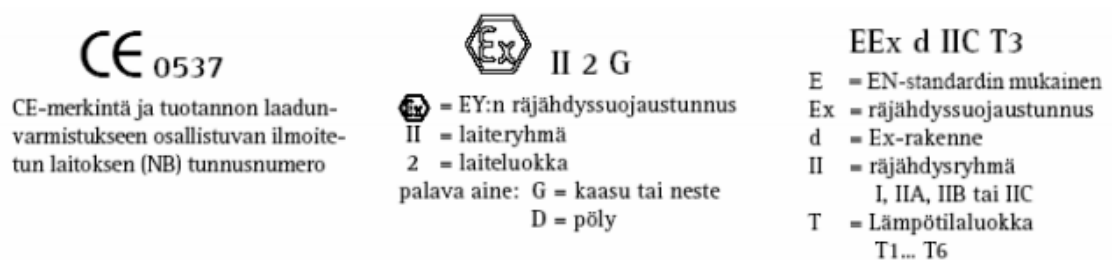
Laitedirektiivin liitteessä II määritetään, että räjähdysvaarallisen tilan laitteessa on näytävä CE-merkintä sekä räjähdysuojauksen erityismerkintä (Ex-merkintä). Näiden

lisäksi tuotteissa on oltava kaikki käyttöturvallisuutta koskevat tarpeelliset tiedot.  
(Direktiivi 2014/34/EU, liite II.)

### 7.7.1 Ex-merkintä

Ex-laitteen merkinnöistä selviää, mihin laiteluokkaan laite kuuluu ja millaisille aineille laite sopii (ATEX. Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 11).

Laitteen Ex-merkinnän on sijaittava keskeisellä paikalla laitteen ulkopinnalla. Sen on sisällettävä tiedot valmistajasta, valmistajan antamasta tyyppitunnisteesta, tunnus Ex, kirjain "h", tarvittaessa laiteryhmiä tunnus, ryhmän II laitteille lämpötilaluokan tunnus, ryhmän III laitteille maksimipintalämpötila celsiusasteina tunnisteen T jälkeen (esim. T90 °C), soveltuvin osin EPL, tarvittaessa ympäristön lämpötila, laitteen sarjanumero sekä lisämerkintä. Kuviossa 10 on esimerkki Ex-laitteen merkinnän sisällöstä. (SFS-EN ISO 80079-36:2016, 40.)



Kuvio 10. Esimerkkejä Ex-laitteen merkinnästä (Liimatainen 2004, 97)

Mekaanisen laitteen merkintä koostuu direktiivi- ja standardiosista (ks. kuvio 11).

Direktiiviosassa näkyy Ex-merkintä, tila- ja laiteluokka sekä merkintä G tai D (Gas tai Dust), joka kertoo onko laite tarkoitettu pöly- tai kaasuräjähdyksivaarallisiin tiloihin.

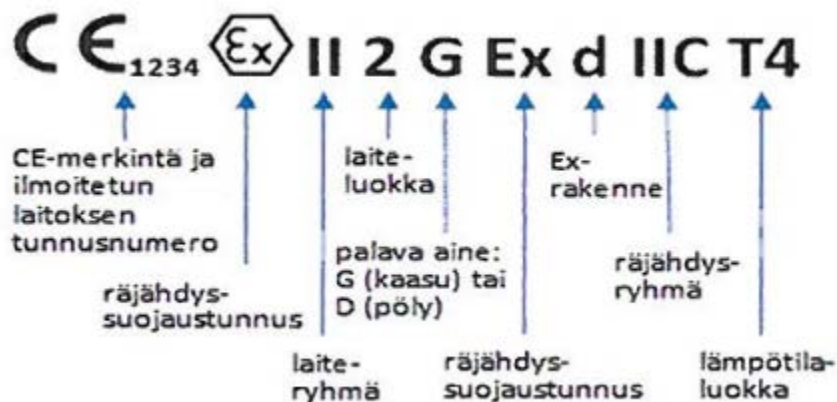
Standardiosassa on laiteryhmä ja sen alaryhmä (IIA, IIB tai IIC), lämpötilaluokka sekä EPL-taso. (SFS-EN ISO 80079-36: 2016, 6, 42.)



Ex h IIB T4 Gb

Kuvio 11. Mekaanisen laitteen Ex-merkintä (SFS-EN ISO 80079-36: 2016, 6)

Kaasuräjähdyksenvaarallisen tilan sähkölaitteen EX-merkinnän tulee sisältää tunnus Ex, jolla ilmaistaan sähkölaitteen olevan yhden tai useamman räjähdys-suojarakenteen määrittävän standardin mukainen. Merkintään tulee sisällyttää myös asianomaisen räjähdys-suojarakenteen tunnus, laiteryhmän tunnus (IIA, IIB, IIC), lämpötilaluokka ryhmän II sähkölaitteille ja räjähdys-suojastaso (ks. kuvio 12). (SFS-EN 60079-0 + A11: 2013, 142-144.)



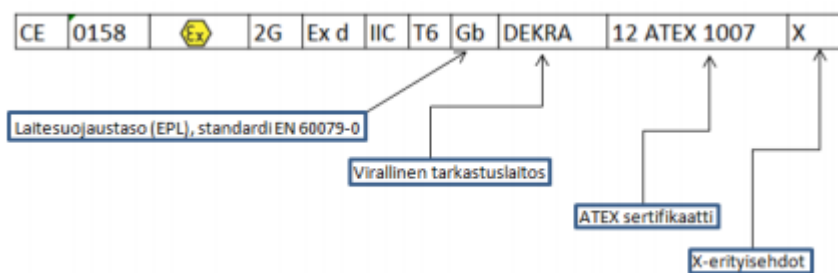
Kuvio 12. Ex-laitemerkintä (Kurvinen 2015, 17)

Ex-tilaan asennettavaksi soveltuvan liitännäislaitteen, jonka energian rajoitus aikaansaadaan kenttälaitteen sisällä, Ex-merkinnän räjähdys-suojarakenteen tunnus täytyy merkitä hakasulkeisiin. Esimerkiksi Ex d [ia] IIC T4 Gb. Mikäli liitännäislaitteen laiteryhmä ei ole sama kuin kenttälaitteen laiteryhmä, tulee liitännäislaitteen laiteryhmä merkitä hakasulkeisiin. Esim. Ex d [ia IIC Ga] IIB T4 Gb. (SFS-EN 60079-0 + A11: 2013, 144.)

EN-standardin myötä laitemerkintään tuli ylimääräinen E-kirjain osoittamaan standardinmukaisuuden (Esim. Eexd IIC T3) (Hellsten 2013, 3).

### 7.7.2 Lisämerkinnät

ATEX-merkintä voi sisältää myös lisämerkintöjä, jotka sijaitsevat yleensä merkinnän lopussa (ks. kuvio 13). Lisämerkintöjä ovat mm. laitesuojaustaso (EPL), tarkastuslaitoksen numero, ATEX-sertifikaatin numero ja X-erityisehtomerkintä. (Lehtinen 2016, 21.)



Kuvio 13. Lisämerkinnät (Lehtinen 2016, 21)

Erikoisehtomerkinnän ollessa tyhjä, saa laitetta käyttää ilman lisärajoituksia. Merkintä "X" tarkoittaa, että laitteen käytölle on asetettu lisäehtoja. Merkintä "U" kertoo komponenttihyväksynnästä eli CE-määräystenmukaisuus on voimassa vain laitekokoaisuuteen asennettuna. (Räjähdyssuojausmerkinnät 2013.) Pelkästään komponenttiserifioituja laitteita ei saa käyttää ilman kokonaisuutta käsittävää laitesertifikaattia (Kurvinen 2015, 25).

### 7.7.3 CE-merkintä

CE-merkki on valmistajan ilmoitus siitä, että tuote täyttää EU:n lainsäädännön vaatimukset. Sen on tarkoitus helpottaa tavaroiden vapaata liikkumista Euroopan sisämarkkinoilla. (CE-merkki – valmistajan ilmoitus tuotteen vaatimustenmukaisuudesta 2014.) Nuolivirta (2007, 5) korostaa, että CE-merkintä ei ole hyväksyntä eikä sitä myönnä mikään taho.

CE-merkintä ATEX-laitteessa ja – suojausjärjestelmässä on osoitus yhdenmukaistettujen turvallisuusvaatimusten täyttämistä (ks. kuvio 14). Kun laite täyttää vaatimukset, sitä voidaan myydä kaikkialla Euroopan talousalueella (ETA). Sama koskee EU:n



ulkopuolisissa maissa valmistettuja, Euroopan talousalueella myytäviä tuotteita. (Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja suojausjärjestelmiä koskeva CE-merkintä 2011, 1.)



Kuvio 14. CE-merkintä (CE-merkki – valmistajan ilmoitus tuotteen vaatimustenmukaisuudesta 2014)

Laitteiden arviointimenettelyt vaihtelevat sen mukaan, millaisesta laitetypistä on kyse. CE-merkinnän saa kiinnittää laitteeseen, kun asianmukainen arviointimenettely on suoritettu. Vastuu tuotteen turvallisuudesta ja vaatimustenmukaisuudesta on tuotteen valmistajalla ja maahantuojalla (CE-merkki – valmistajan ilmoitus tuotteen vaatimustenmukaisuudesta 2014; Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja suojausjärjestelmiä koskeva CE-merkintä 2011, 1-2) CE-merkinnän tulee sisältää ilmoitetun tarkastuslaitoksen tunnistenumero, mikäli se on osallistunut arviointimenettelyyn (Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja suojausjärjestelmiä koskeva CE-merkintä 2011, 2).

CE-merkintä tulee kiinnittää siten, että se on näkyvä, helposti luettava ja pysyvä tavalla kiinnitetty (Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja suojausjärjestelmiä koskeva CE-merkintä 2011, 2).

## 8 Räjähdyksvaarallisuuden liittyvät onnettomuudet

Wagnerin mukaan biokaasulaitoksilla olevia vaaroja ovat tulipalot, vaaralliset aineet, melu, kaasujen aiheuttamat vaarat, sähköön ja mekaniisiin laitteisiin liittyvät vaarat sekä korkeat lämpötilat. Suurin osa biokaasulaitoksilla tapahtuneista tapaturmista liittyy mekaniisiin vaaroihin. (Wagner 2015, 5-6.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään biokaasulaitoksiin liittyviin vaaratilanteisiin, jotka johtuvat räjähdysvaarallisista kaasuista.

Salvlin ym. tekemän tutkimuksen mukaan suurin osa onnettomuuksista tapahtuu biokaasun varastointialueen läheisyydessä ja onnettomuuksien vaikutukset suurimmilta osin pieniä. Onnettomuudet ovat usein vuotoja varastosäiliöstä tai jakelun yhteydessä. Mädättämössä tapahtuneet onnettomuudet ovat pääasiassa ylivuotoja, venttiilien jäätymistä tai korkeita paineita säiliössä. (Salvi, Chaubet & Evanno 2012, 61.)

### 8.1.1 Onnettomuudet Suomessa

Tässä luvussa käsitellään Suomessa tapahtuneita onnettomuuksia bio- ja maakaasuun liittyen. Käsitellyt onnettomuudet on haettu Tukesin Vaurio- ja onnettomuusrekisteristä (VARO), jonne kerätään tietoa onnettomuuksista ja vaaratilanteista, jotka liittyvät mm. vaarallisiin kemikaaleihin, painelaitteisiin ja kaivoksiin. Tukes julkaisee VARO-rekisterissä tapauskohtaisia onnettomuuskuvauksia. (Vaurio- ja onnettomuusrekisteri VARO 2016.)

Onnettomuuksia on haettu biokaasun lisäksi myös maakaasuun liittyen, sillä jalostettu biokaasu sopii käytettäväksi kuten maakaasukin. Tukesin VARO-rekisterissä biokaasuun liittyviä onnettomuuksia löytyi vain yksi (haettu 20.9.2016). Metaani-hakusanalla onnettomuuksia löytyi kaksi (haettu 20.9.2016), joista kumpaakaan ei käsitellä tässä työssä tarkemmin, sillä onnettomuudet olivat petrokemian laitoksella tapahtuneita, eikä ainoastaan metaanista johtuvia. Maakaasu-hakusana antoi 83 tulosta (haettu 20.9.2016), joista suuri osa oli seurausta kaivuutöiden yhteydessä rikotuista maakaasuputkistoista. (VARO-rekisteri n.d.)

Ainoa ”biokaasu” –hakusanalla löytynyt merkintä VARO-rekisteristä oli kaatopaikka-kaasulinjalla sattunut vaaratilanne vuonna 2010. Kaatopaikkakaasulinjaan jäteasemalta lämpökeskukselle tehtiin muutosta, joka vaati linjan katkaisemista. Linjan pumppaamot sammutettiin ja linja ajettiin paineettomaksi. Urakoitsijan katkaistessa linjan, alkoi viillosta virrata paineella kaasua. Selvityksessä paljastui, että huoltomies oli käynnistänyt pumppaamon, sillä sitä ei oltu merkitty varomerkinnällä tai muilla toimenpiteillä. Kaasuvuoto ei aiheuttanut henkilö- tai omaisuusvahinkoja. (Kaasua virtasi putkesta katkaisutyön yhteydessä 2010.)

Tästä eteenpäin onnettomuuskuvaukset ovat löytyneet hakusanalla ”maakaasu”.

Tuotantolaitoksella käynnistettiin moottoria, kun palamaton kaasu pakoputkessa syttyi palamaan aiheuttaen kaasuräjähdyksen. Moottorin käynnistysvaiheessa polttoaineensyöttö oli jäänyt huomattavan korkeaksi, jonka seurauksena oli polttoaineen ylisyöttö ja kaasuräjähdyksen pakoputkessa. Syyksi epäillään näppäilyvirhettä tai vanhan lukeman unohtumista ohjearvoksi vaihdoksessa automaattiohjauksesta manuaaliohjaukseen. (Palamaton kaasu syttyi moottoria käynnistettäessä 2014.)

Liikehuoneiston lämpökeskuksessa tapahtui räjähdys, josta seurasi tulipalo. Maakaasu oli vuotanut vikaantuneen venttiilin kautta ja räjähtänyt kattilassa tai kattilahuoneessa sytyttäen rakennuksen palamaan. Onnettomuuden syyksi epäillään poltinta edeltävää sulkuventtiiliä, joka toimi epäluotettavasti. (Maakaasuräjähdyksen lämpökeskuksessa sytytti rakennuksen palamaan 2013.)

Maakaasun jakeluaseman huonetilaan pääsi vuotamaan maakaasua huollon yhteydessä. Kaasu syttyi palamaan mekaanisen kipinän seurauksena. Onnettomuus aiheutui säiliön ja maakaasuputken välisen liitoksen irtoamisesta. Onnettomuudessa loukkaantui kaksi henkilöä. (Kaksi loukkaantui maakaasujakeluaseman räjähdyksessä 2010.)

Työntekijät olivat hitsaamassa maakaasuasemalla venttiiliaseman putkistoa, jolloin hitsauskohtaan päässyt kaasu syttyi ja tulipalo levisi usean metrin alueelle. Räjähdyksessä loukkaantui kolme henkilöä. (Kolme loukkaantui maakaasuaseman räjähdyksessä 2005.)

### 8.1.2 Onnettomuudet ulkomailla

PROjen BioEnergy tekemässä tutkimuksessa käsiteltiin 36 vuosien 2003–2010 välillä tapahtunutta räjähdystä ja tulipaloa biokaasulaitoksilla Intiassa, Saksassa, Filippiineillä ja Iso-Britanniassa. Suurin osa onnettomuuksista aiheutui myrkyllisistä rikkivedyistä tai räjähdyksistä. Raportin mukaan jokainen siinä käsitelty onnettomuus olisi ollut estettävissä oikeilla toimintatavoilla, esimerkiksi noudattamalla ATEX-direktiivejä. (Gornall n.d, 1-2.)

Tässä raportissa kuvailut, ulkomailla sattuneet onnettomuudet, ovat seurauksiltaan Suomessa tapahtuneita huomattavasti vakavampia. Tämä johtuu luultavasti siitä, että pienimpiä onnettomuuksia ei uutisoida yhtä näkyvästi, joten niitä ei käännetä englanninkielisiksi yhtä laajasti kuin vakavampia onnettomuuksia.

Wagner kertoo artikkelissaan kahdesta Saksassa tapahtuneesta onnettomuudesta. Toisessa hitsaaminen aiheutti räjähdysten, josta seurasi tulipalo. Lopulliset menetykset nousivat 80 000 euroon, mutta onnettomuudessa ei kuollut yhtään ihmistä. Toisessa tapauksessa kytkentäkaappi syttyi tuleen aiheuttaen räjähdysten tai leimahduksen CHP-laitoksella. Onnettomuudessa loukkaantui vakavasti kaksi henkilöä ja se aiheutti 400 000 tuhannen euron omaisuusvahingot. (Wagner 2015, 21-23.)

Maciejczyk kertoo esitelmässään onnettomuudesta, joka sai alkunsa työntekijän yrittäessä sulkea syöteputkea mädättämöiden väliltä huollon ajaksi, jolloin kaasua pääsi vuotamaan ilmaan aiheuttaen räjähdysvaarallisen ilmaseoksen. Ilmaseos leimahti aiheuttaen työntekijälle vakavia palovammoja. Syttymissyöksi epäillään puuvillasta valmistettua asua. (Maciejczyk, M. 2014, 64-65.)

Ranskassa vuonna 2010 biokaasun tuotantolaitoksella sattuneessa onnettomuudessa biokaasua pääsi vuotamaan hydraulisesta varoventtiilistä. Kaasumittarin lähellä oleva tiiviste petti, jolloin mittariin tuleva ja lähtevä virtaus ajautuivat epätasapainoon ja mittarin kapasiteetti ylittyi. Onnettomuudessa ilmaan pääsi vuotamaan 600 kg biokaasua. Vuoto ei aiheuttanut haitallisia vaikutuksia laitoksen ympäristöön. (No 38485 2010.)

Italiassa kunnallisella jäteveden puhdistuslaitoksella biokaasusäiliö räjähti korjaustöiden yhteydessä. Räjähdysten aiheutti siilossa oleva jäännöskaasu, joka syttyi työntö-

kijöiden alkaessa hitsata. Kaksi työntekijää kuoli ja säiliö tuhoutui räjähdysen seurauksena. (No 11345 1997.)

### 8.1.3 Räjähdyksvaarallisuuden liittyvien onnettomuuksien välttäminen

Edellä kuvatuissa onnettomuuksissa toistui työntekijöiden välinpitämättömyys, huolimattomuus ja tietämättömyys. Onnettomuuksien välttämiseksi on erittäin tärkeää, että työntekijät tietävät ja tunnistavat riskit räjähdysvaarallisissa tiloissa työskennellessään. Onnettomuuksia voidaan välttää myös noudattamalla räjähdysvaarallisia tiloja ja laitteita koskevia määräyksiä jo suunnitteluvaiheessa. Tällöin räjähdysvaaralliset alueet suunnitellaan riittävän isoiksi, jolloin riski räjähdysvaarallisen ilmaseoksen muodostumiseen räjähdysvaarallisen alueen ulkopuolelle pienenee.

Onnettomuuksien ehkäisy perustuu vaarojen tunnistamiseen ja niiden vähentämiseen mahdollisimman pieniksi. Vaaroja tunnistessa on huomioitava myös erityistilanteet, kuten häiriöt tuotantoprosessissa. (Onnettomuuksien ehkäisy 2016.) Kaasuun liittyvien vaaratilanteiden ehkäisemisessä kaasuvuotojen syntymisen estävillä toimenpiteillä on suuri merkitys. Myös vuotojen aikainen havaitseminen on tärkeää. (Maakaasun turvallisuus n.d.)

Vaaratilanteiden ehkäisyssä on tärkeää toimintaan liittyvä ohjeistus. Pelkät ohjeet eivät kuitenkaan yksin riitä, vaan ohjeiden noudattamista tulee lisäksi valvoa. Erityisen tärkeää on kiinnittää huomiota poikkeaviin käyttötilanteisiin. Muita keinoja vaaratilanteiden ehkäisemiseksi ovat esimerkiksi koulutus ja lupamenettelyt, kuten tulityölupa. (Maakaasun turvallisuus n.d.) Työturvallisuuskeskuksen dokumentissa luetellaan työtehtäviä, jotka vaativat erikseen myönnetyn luvan tai pätevyyden eri vastuutahoilta. Tällaisia ovat esimerkiksi sähkötyöt, vaarallisten aineiden käsittely, painelaitteiden asennus- ja huoltotyöt ja telinetyöt. Vastuutahot vaihtelevat työnantajasta Tukesiin. (Lupaa tai pätevyyttä vaativia työtehtäviä 2016, 1-4.)

Useat tutkimukset osoittavat, että terveyteen ja turvallisuuteen kohdistuvien riskien parempi hallinta voi huomattavasti lisätä yrityksen voittoja erityisesti tilanteissa, joihin liittyy räjähdysmahdollisuus. Räjähdykset ja äkilliset leimahdukset eivät ole yleisimpiä tapaturmien syitä, mutta niiden seuraukset ovat usein mittavia. (KOM 25.8.2003/515, Esipuhe.)

## 9 Tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biokaasun tuotantolaitoksia koskevaa lainsäädäntöä ja vaatimuksia, joiden perusteella luotiin suunnitteluohje räjähdysvarallisten tilojen suunnittelua ja laitevalintojen tekoa varten. Ohjeesta toivottiin tiivistä tietopakettia, joka helpottaisi suunnittelijoiden välistä yhteistyötä. Suunnitteluohjeesta muodostui selkeä kokonaisuus, vaikka siitä tuli toivottua pidempi. Ohje tulee helpottamaan ja nopeuttamaan räjähdysvaarallisiin tiloihin liittyvää suunnittelua jatkossa huomattavasti, sillä siitä on helppo tarkastaa vaatimukset ja ohjeeseen on merkitty selkeät viittaukset standardeihin ja lainsäädäntöön, joista löytyy lisätietoja aiheesta. Viittausten avulla myös päivittäminen on helppoa, mikäli vaatimukseen tulee muutoksia standardien tai lainsäädännön päivittyessä. Suunnitteluohjeen myötä kaikkien laitoksien räjähdysvaarallisuuteen liittyvät suunnitelmat tehdään samoja periaatteita noudattaen.

Suunnitteluohjeen ja opinnäytetyön raportin kirjoittamisen lomassa tutustuttiin standardeihin, joita räjähdysvaarallisuuteen liittyen on runsaasti. Opinnäytetyön tuloksena myös selkeytyi, mitkä räjähdysvaarallisuuteen liittyvistä standardeista palvelevat juuri toimeksiantajan tarpeita ja mitkä standardit kannattaisi hankkia. Oikeiden standardien hankkiminen on taloudellisesti järkevää ja nopeuttaa tiedonhakuja, kun ylimääräinen materiaali karsitaan pois.

Opinnäytetyön raportista tuli kattava tietopaketti kaasujäähdyksivaarallisten tilojen määräyksistä, suojausperiaatteista ja laiteluokitteluista. Raportti ja suunnitteluohje on rakennettu siten, että suunnitteluohje on jatkoa raportissa käsitellylle teoriaosuudelle. Tiiviin suunnitteluohjeen rinnalle laajempi termistöä ja perusteita käsittelevä tietopaketti on välttämätön lisä suunnittelun tueksi ja suunnitteluohjeen hyödyntämiseksi. Opinnäytetyön raportti palvelee toimeksiantajaa jatkossa suunnitteluohjeen tukimateriaalina sekä oppaana räjähdysvaarallisuuteen liittyen. Raportissa käsitellyt osiot, kuten ulkomaille käytetyt standardit ovat yksi askel eteenpäin kohti laitoksen vientiä ulkomaille. Kuitenkin vaatimusten tarkempi selvitys tulee olemaan iso työ vielä tulevaisuudessa.

Opinnäytetyöhön sisältyneet koulutukset käsittelivät opinnäytetyön sisältöä. Koulutukset jaettiin kahteen osaan, joista toinen käsitteli räjähdysvaarallisuutta yleisemmällä tasolla ja toinen painottui suunnitteluohjeeseen.

Yleisemmän koulutuksen tavoitteena oli selventää BioGTS:n työntekijöille räjähdysvaarallisuuden merkitystä työnantajan näkökulmasta käsittäen työnantajaa koskevia vaatimuksia, sekä räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentelevien henkilöiden osalta työturvallisuutta. Työturvallisuuden osalta koulutuksessa käsiteltiin räjähdysvaarallisuuden aiheuttajia sekä millaisia laitteita räjähdysvaarallisissa tiloissa saa käyttää. Koulutuksessa käsiteltiin myös kaasuräjähdysvaaraan liittyviä onnettomuuksia sekä keinoja niiden välttämiseen. Koulutuksen tavoitteena oli lisätä turvallisuutta räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentelevien henkilöiden osalta.

Suunnitteluun painottuva koulutus oli rakenteeltaan sama kuin suunnitteluohjeen rakenne. Koulutukseen osallistui niin BioGTS:n suunnittelijoita kuin alihankinnan henkilöstöä ja sen tavoitteena oli antaa yleiskuva suunnitteluvaatimuksista, joita tilojen räjähdysvaarallisuus asettaa. Koulutuksessa käsiteltiin tilaluokitusten teko, siihen vaikuttavat tekijät sekä laitevalinnat. Lisäksi tutustuttiin suunnitteluohjeen sisältöön ja käyttöön. Koulutuksen myötä niin BioGTS:n henkilöstö kuin alihankkijat tietävät suunnittelun perusteet, jolloin yhteistyö tulee olemaan saumattomampaa.

Opinnäytetyöhön sisältyvä tilaluokituspiirustus noudattaa suunnitteluohjeen, ja siten SFS käsikirjan 59, mukaisia tilaluokitusmerkintöjä sekä laajuuksia. Jatkossa piirustusta voi käyttää esimerkkinä vastaavia suunnitelmia tehdessä. Piirustuksen osalta on huomioitava, että laitoksen laitesijoittelu ei ollut opinnäytetyön tekovaiheessa täysin valmis, joten opinnäytetyön liitteenä olevaan tilaluokituspiirustukseen saattaa tulla muutoksia suunnittelun edetessä.

## **10 Pohdinta**

Työn tavoitteena oli luoda suunnitteluohje, jonka perusteella voidaan jatkossa tehdä tilaluokitukset ja laitevalinnat biokaasulaitokselle. Opinnäytetyöhön kuului lisäksi tilaluokituksen määrittäminen pienen kokoluokan biokaasulaitokselle sekä kaksi räjähdysvaarallisuuteen liittyvää koulutusta.

## 10.1 Työn suoritus

Suunnitteluohjeen kirjoittaminen oli selkeästi opinnäytetyön työläin ja haastavin osuus, sillä sen kirjoittamiseksi tuli selvittää vaatimuksia lainsäädännöstä ja standardeista, joita oli todella runsaasti. Suurin haaste oli tiivistää kaikki materiaali selkeäksi ja helposti luettavaksi kokonaisuudeksi, joka kuitenkin oli tarpeeksi kattava. Toimeksiantajan henkilökunnalta saadun palautteen avulla ohjetta oli hyvä rakentaa toimeksiantajan tarpeita vastaavaksi. Suunnitteluohje oli opinnäytetyön kirjoittamisen aikana käytössä tilaluokituspiirustuksia tehdessä, joten siitä saatiin luotua helposti käytettävä kokonaisuus.

Opinnäytetyöhön sisältyneet koulutukset olivat tehokas tapa esitellä suunnitteluohje ja työn tulokset toimeksiantajan henkilöstölle. Molempien koulutuksien kestoiksi päätettiin puoli tuntia, jonka lisäksi varattiin viisitoista minuuttia aikaa kysymyksille ja keskustelulle. Varattu oli erittäin lyhyt aika näin laajan kokonaisuuden käsittelyyn, mutta pitämällä koulutukset tiiviinä, aika riitti hyvin. Koulutusmateriaalin luomisessa haasteita tuotti aikataulun lisäksi riittävän kattava esitys aiheesta menemättä kuitenkaan yksityiskohtiin liian syvällisesti. Koulutukset olivat hyvä lisä opinnäytetyöhön, sillä silloin oli mahdollisuus saada palautetta työstä. Erityisesti suunnitteluohjetta käsitellessä pystyi kysymyksistä päättelemään mitkä asiat kaipaavat tarkempaa huomiota ja selventämistä. Koulutuksien jälkeen käyty keskustelu oli hyvä tapa saada suoraa palautetta työn sisällöstä.

Opinnäytetyöhön sisältynyt tilaluokituspiirustuksen laatiminen oli hyvä tilaisuus testata luotua suunnitteluohjetta. Sen pohjalta piirustuksen tekeminen oli helpompaa kuin vastaavien kuvien piirtäminen ilman ohjetta oli aiemmin. Tilaluokituspiirustuksen teko oli haastavaa, sillä siinä oli useita huomioitavia asioita, eikä biokaasun jalostusprosessi ja laitteisto ollut piirustuksen tekovaiheessa tuttuja. Piirustusta tehdessä oli tärkeää huomioida sen luettavuus, sillä siihen tuli useita päällekkäisiä tilaluokamerkintöjä. Piirustuksen tekoon käytetty suunnitteluohjelmisto Vertex G4Plant oli ennestään tuttu, joten se helpotti piirustuksen tekoa. Tilaluokituspiirustuksen teon ohessa oli hyvä testata käytännössä millaisessa muodossa suunnitteluohjeen olisi hyvä olla luettavuuden ja käytettävyyden kannalta.



Opinnäytetyön suurin haaste oli pitää työ riittävän tiiviinä, sillä aihe on todella laaja ja siitä löytyy paljon materiaalia. Työtä kirjoitettaessa se lähti laajenemaan herkästi ja sitä jouduttiin karsimaan joiltakin osin. Haasteita tuotti myös tiedon käsittely, sillä tietoa aiheesta löytyy runsaasti ja sen luotettavuus vaihteli. Tiedon hyödyntäminen helpottui selvästi, kun ymmärsi direktiivien, standardien ja lainsäädännön välisen suhteen, eli mikä on määräävä ja mikä ohjaava.

Tämä opinnäytetyö on tehty biokaasulaitoksia suunnittelevalle ja valmistavalle yritykselle, jolloin sen hyödyntäminen muilla aloilla on haastavaa. Raportin yleinen osa käsittelee kaasuräjähdyksivaarallisuuden liittyviä määräyksiä ja käsitteitä siten, että niiltä osin raportti on hyödynnettävissä myös muilla teollisuuden aloilla. Liitteenä oleva suunnitteluohje soveltuu kuitenkin ainoastaan BioGTS:n käyttöön, sillä siinä on käsitelty biokaasun tuotantolaitosta vain niiltä osin, kuin se on BioGTS:n kannalta tarpeellista.

## 10.2 Luotettavuus

Kanasen mukaan tutkimukselle tulee tehdä luotettavuustarkastelu, jossa käsitellään käytetyt menetelmät, analyysit ja tulokset. Kehittämistutkimuksen luotettavuutta arvioidaan tutkimuksessa käytettyjen menetelmien avulla. Laadullisen tutkimuksen luotettavuusarviointi voidaan tehdä käyttäen seuraavia kriteereitä:

- vahvistettavuus
- arvioitavuus
- tulkinnan ristiriidattomuus
- luotettavuus
- saturaatio eli kylläntyminen.

(Kananen 2015a, 111-113.)

Tässä opinnäytetyössä käytetty aineisto on pääosin vahvistettua. Työn nykytilan selvitys perustuu monelta osin toimeksiantajan työntekijöiden kanssa käytyihin palaverihin. Näiltä osin sisältö on aina tarkastettu keskustelussa mukana olleilta henkilöiltä. Tiedonhaussa on käytetty mahdollisuuksien mukaan alkuperäisiä lähteitä ja lähteiden sisällölle on haettu vahvistus toisesta, kyseisestä lähteestä riippumattomasta, lähteestä. Vahvistusta toisesta lähteestä ei ole tehty direktiiveistä, lainsäädännöstä ja standardeista poimituille materiaaleille standardia SFS-EN 60079-10-1 lukuun ottamatta. Standardi SFS-EN 60079-10-1 on kumottu uudella englanninkielisellä julkaisul-

la. Kyseinen julkaisu ei kuulu Jyväskylän ammattikorkeakoulun sopimukseen SFS-Onlinen kanssa (Laakkonen 2016). Tästä syystä työssä on jouduttu käyttämään mahdollisesti vanhentunutta tietoa. Mahdollisuuksien mukaan kyseiseen standardiin tehdyt viittaukset on tarkistettu muista standardeista tai lähteistä.

Opinnäytetyössä käsiteltiin paljon diplomi- ja opinnäytetöitä, joiden osalta oli tärkeää huomioida tiedon oikeellisuus ja pyrkiä käyttämään mahdollisuuksien mukaan alkuperäisiä lähteitä. Jokaisen viittauksen osalta tiedon oikeellisuus on tarkistettu vähintään yhdestä, diplomi- tai opinnäytetyöhön riippumattomasta lähteestä, tiedon paikansapitävyyden varmistamiseksi.

Muiden maiden räjähdysvaarallisia tiloja ja niissä käytettävien laitteiden määräyksien osalta on erittäin tärkeää suhtautua kriittisesti, sillä monessa tilanteessa tiedolle ei löytynyt useaa lähdeä, jolloin tiedon olisi voinut varmistaa. Englanninkielisten lähteiden luotettavuutta on huomattavasti hankalampaa arvioida, kun eri instituutiot eivät ole tuttuja, eikä niistä aina löydy puolueetonta tietoa.

### 10.3 Jatkoselvitystä vaativat asiat

Ehdottomasti tärkein jatkoselvitystä vaativa asia olisi standardin SFS-EN 60079-10-1 uusimman version hankkiminen ja sisällön tarkastaminen. Kyseinen standardi koskee kaasuräjähdysvaarallisten tilojen tilaluokituksia ja ilmanvaihtoa, joten se on toimeksiantajan kannalta erittäin tärkeä standardi. Sen hankkiminen helpottaisi suunnittelua huomattavasti ja samalla varmistuisi vaatimusten täyttyminen.

Tässä opinnäytetyössä ei käsitelty sähkölaitteiden valintaa perusteellisesti, sillä sähkölaitteisiin liittyy mekaanisia laitteita huomattavasti enemmän vaatimuksia, kuten varmennuslaskelmia. Sähkölaitteiden valintaan liittyvät vaatimukset voisi käsitellä toisessa, laajemmassa suunnitteluohjeessa tarkemmin.

Opinnäytetyössä käsiteltiin lyhyesti muiden maiden vaatimuksia räjähdysvaarallisiin tiloihin ja niissä käytettäviin laitteisiin liittyen. Katsaus oli kohtalaisen pintapuolinen, eikä ota kantaa standardien tarkempiin vaatimuksiin tai sisältöön. Aiheen ollessa ajankohtainen tulisi muiden maiden lainsäädäntöön ja muihin vaatimuksiin tuleen perehtyä tarkemmin.

Räjähdyksivaarallisissa tiloissa työskenteleville henkilöille olisi hyvä luoda tarkka ohjeistus, joka kattaisi sellaiset huolto- ja käyttötoimenpiteet, jotka suoritetaan räjähdysvaarallisessa tilassa tai jotka voivat aiheuttaa räjähdysvaarallisen tilan toimenpiteen yhteydessä. Ohjeistus voisi sisältää laiteluettelon mukana kuljetettavista laitteista tai työkaluista, jotka sopivat räjähdysvaaralliseen tilaan tai ohjeet laitevalintojen tekoon. Siinä olisi myös hyvä huomioida puhelimien, kellojen ja muiden vastaavien laitteiden vieminen räjähdysvaarallisiin tiloihin. Tällaisille mukana kannettaville laitteille ovat omat vaatimuksensa standardeissa.

Tulevaisuudessa suunnitteluohjetta voisi päivittää biodiesellaitoksien osalta kattamaan myös niihin tehtävät räjähdysvaarallisuuteen liittyvät suunnitelmat. Luotu suunnitteluohje ei käsittele ollenkaan myöskään pölyräjähdysvaarallisia tiloja. Mikäli toimeksiantajalle tulee myöhemmin laitos, jossa on riski pölyräjähdysvaarallisten tilojen muodostumiselle esimerkiksi käytetyn syötteen vuoksi, tulee suunnitteluohje päivittää käsittämään myös niihin liittyvien suunnitelmien teko tai luoda oma ohje pölyvaarallisten tilojen suunnittelua varten.

## Lähteet

A 18.6.2003/576. Valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta. Valtion säädöstietopankki Finlex. Viitattu 11.11.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030576>.

A 9.7.2009/551. Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta. Valtion säädöstietopankki Finlex. Viitattu 11.11.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090551>.

A 6.2.2014/116. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta annetun valtioneuvoston asetuksen 47 §:n ja liitteen I muuttamisesta. Valtion säädöstietopankki Finlex. Viitattu 25.8.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140116>.

A 21.5.2015/685. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta. Valtion säädöstietopankki Finlex. Viitattu 25.8.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150685>.

Additional financing to livestock competitiveness and food safety project. 2014. Ministry of agricultural and rural development. Vietnamin valtion viraston toimintaohjelma karjan kilpailukyvyyn ja ruuan turvallisuustason parantamiseksi. Viitattu 18.10.2016. <http://documents.worldbank.org/curated/en/512171468320652713/pdf/E46970P151946000Box385390B00PUBLIC0.pdf>.

Asiakkaat. 2016. Artikkelit BioGTS:n verkkosivuilla. Viitattu 21.10.2016. <http://biogts.fi/asiakkaat/>.

ATEX 2014/34/EU guidelines. 2016. Opas direktiivin 2014/34/EU soveltamiseen Euroopan komission verkkosivuilla. Viitattu 22.8.2016. <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/16402/attachments/1/translations>.

ATEX. Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus. 2015. Tukesin ohje räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuudesta. Viitattu 28.10.2016. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset\\_aineet/esitteet\\_ja\\_opaat/ATEX\\_opas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf).

ATEX ympäristöstä ja komponenteista. 2015. ABB:n ATEX opas räjähdysvaarallisten tilojen laitteista. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Bahadir, A. & Garcés de los Fayos, F. 2016. Euroopan talousalue, Sveitsi ja pohjoiset alueet. Artikkelit Euroopan parlamentin verkkosivuilla. Viitattu 13.11.2016. [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuid=FTU\\_6.5.3.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuid=FTU_6.5.3.html).

BioBoksi. N.d. Esite BioGTS:n tuotteesta BioBoksi. Jyväskylä: BioGTS. Viitattu 2.9.2016.

Biogas upgrading unit. N.d. Artikkelit BioGTS:n verkkosivuilla. Viitattu 15.9.2016. <http://www.biogts.com/biogas-upgrading/>.

BioGTS – biokaasun jalostusyksikkö. N.d. BioGTS:n esite biokaasun jalostusyksiköstä. Jyväskylä: BioGTS. Viitattu 2.9.2016.

BioGTS - biokaasulaitos. N.d. Artikkelele BioGTS:n verkkosivustolla. Viitattu 22.8.2016. [www.biogts.fi/biokaasulaitos/](http://www.biogts.fi/biokaasulaitos/).

BioGTS Oy. N.d. Artikkelele BioGTS:n sivustolla. Viitattu 22.8.2016. [www.biogts.fi](http://www.biogts.fi).

Biojalostamo. N.d. BioGTS:n esite biojalostamo-konseptista. Jyväskylä: BioGTS. Viitattu 2.9.2016.

Biokaasu. 2015. Artikkelele biokaasusta Motivan verkkosivuilla. Viitattu 12.9.2016. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/energiaa\\_pelloilta/biokaasu](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu).

Biokaasu. N.d. BioGTS:n esite biokaasulaitoksista. Jyväskylä: BioGTS. Viitattu 2.9.2016.

CE-merkki – valmistajan ilmoitus tuotteen vaatimustenmukaisuudesta. 2014. Tukesin julkaisu CE-merkinnästä. Viitattu 10.10.2016. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Tukes\\_CE\\_A4.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Tukes_CE_A4.pdf)

Chinese Ex-product certification. N.d. Artikkelele Kiinan Ex-tuotteiden testaus- ja sertifiointi- instituutin CNEX-Globalin verkkosivuilla. Viitattu 14.10.2016. <http://www.cnex-global.com/services/chinese-ex-product-certification.html>.

Combustible dust. N.d. OSHA. Julkaisu palavista pölyistä Occupational Safety and Health Administrationin verkkosivuilla. Viitattu 14.10.2016. <https://www.osha.gov/Publications/combustibledustposter.pdf>.

Direktiivi 2014/34/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Euroopan Unionin virallinen lehti EUVL L 96, 26.2.2014. Saatavissa EUR-Lex-sivustolta. Viitattu 24.11.2016. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034&from=sk>.

Do Kim Tuyen. N.d. Overview of biogas technology in Vietnam. Esitelmä Global Methane Initiativen verkkosivuilla. Viitattu 14.10.2016. [https://www.globalmethane.org/expo-docs/china07/postexpo/ag\\_vietnam.pdf](https://www.globalmethane.org/expo-docs/china07/postexpo/ag_vietnam.pdf).

EU-, Eta, Efta- ja Schengen-maat. 2016. Artikkelele Suomen tullin verkkosivuilla. Viitattu 10.10.2016. [http://www.tulli.fi/fi/suomen\\_tulli/tulli\\_tutuksi/termit\\_selviksi/EU\\_Eta\\_Efta\\_Schengen/](http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/tulli_tutuksi/termit_selviksi/EU_Eta_Efta_Schengen/).

Euroopan Unionin jäsenmaat. 2016. Luettelo EU:n jäsenmaista Euroopan unionin verkkosivuilla. Viitattu 10.10.2016. [http://europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries\\_fi](http://europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries_fi).

Eurooppalainen standardointi. N.d. Artikkelele Suomen Standardoimisliiton verkkosivuilla. Viitattu 23.11.2016. [http://www.sfs.fi/standardien\\_laadinta/mita\\_standardisointi\\_on/standardisoinnin\\_maailmankartta/eurooppalainen\\_standardisointi](http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta/eurooppalainen_standardisointi).

Equipments for explosive atmospheres (ATEX). 2016. Lista yhdenmukaistetuista julkaisuista Euroopan komission verkkosivuilla. Viitattu 13.9.2016. <http://ec.europa>.

[eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/equipment-explosive-atmosphere/](http://eu.growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/equipment-explosive-atmosphere/).

Ex-juliste. 2016. Ohje kansainväliseen räjähdysteknologiaan erikoistuneen yrityksen Stahlin verkkosivuilla. Viitattu 23.9.2016. [https://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/download/publikationen/Ex\\_Poster\\_R.STAHL.pdf](https://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/download/publikationen/Ex_Poster_R.STAHL.pdf).

Ex-moottori taajuusmuuttajakäytöllä. 2016. ABB:n ATEX opas räjähdysvaarallisten tilojen moottoreiden valintaan. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Gornall, L. N.d. Integrating lessons learned from accidents into operators' behaviour and equipment design. Artikkelin PROJEN BioEnergy tutkimustuloksista Organics-recycling.org- verkkosivulla. Viitattu 22.9.2016. <http://www.organics-recycling.org.uk/uploads/article2165/Integrating%20lessons%20learned%20from%20accidents%20into%20operators%20behaviour%20and%20equipment%20design.pdf>.

Guidance document on the ATEX directive transition from 94/9/EC to 2014/34/EU. 2015. Ohjeistus laitedirektiivin päivitykseen liittyen Euroopan komission verkkosivulla. Viitattu 12.10.2016. <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/13132?locale=fi>.

Gustafsson, M. & Stoor, R. 2008. Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. 2. p. Turku: PBI-Rereach Institute for Project-Based Industry. Viitattu 2.9.2016. [http://www.abo.fi/public/en/media/9578/biokaasunkasikirja\\_web.pdf](http://www.abo.fi/public/en/media/9578/biokaasunkasikirja_web.pdf).

Hakamäki, A. 2015. Suojaus vaaralliselta kipinöinniltä. Julkaisussa: Räjähdysvaaralliset tilat ja sähköturvallisuus. Inspectan koulutusmateriaali. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

HE 19/2016. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimuksenmukaisuudesta. Esitys säädöstietopankki Finlexissä. Viitattu 14.10.2016. <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2016/20160019>.

Hellsten, K. 2013. Ex/Atex-perusteet. Räjähdysvaarallisten tilojen suunnitteluohjeistus Maintpartnerille. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Hietanen, R. 2016. "Vuoden kasvaja" BioGTS kasvoi kerralla usean lasikaton läpi. Artikkelin Kauppalehden sivustolla. Viitattu 24.8.2016. <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/vuoden-kasvaja-biogts-kasvoi-kerralla-usean-lasikaton-lapi/RVmNcWCU>.

Hiltunen, T. 2016. BioGTS:n biokaasulaitoksen tankkausaseman tilaluokituspiirustus. BioGTS, sisäinen materiaali. Viitattu 10.10.2016.

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2015. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 18. Tiedot vuodelta 2014. Joensuu: University of Eastern Finland. Viitattu 16.11.2016. [http://epublications.uef.fi/pub/urn\\_isbn\\_978-952-61-1875-8/urn\\_isbn\\_978-952-61-1875-8.pdf](http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1875-8/urn_isbn_978-952-61-1875-8.pdf).

Introduction. 2016. Laboratorioiden kuvaus SITIIAS:n (Shanghai Inspection and testing institute of instruments and automation systems) verkkosivuilla. Viitattu 14.10.2016. <http://www.nepsi.org.cn/english/labs-look.aspx?id=100>.

Kaasua virtasi putkesta katkaisutyön yhteydessä. 2010. Onnettomuuskuvaus Tukesin VARO-rekisterissä. Viitattu 20.9.2016. <http://varo.tukes.fi/ExtranetHome/Incident/5463>.

Kaksi loukkaantui maakaasujakeluaseman räjähdyksessä. 2010. Onnettomuuskuvaus Tukesin VARO-rekisterissä. Viitattu 20.9.2016. <http://varo.tukes.fi/ExtranetHome/Incident/5540>.

Kananen, J. 2015a. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu opinnäytetyön kirjoittajalle. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

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

Kansainvälinen standardisointi. N.d. Artikkelin Suomen Standardoimisliiton verkkosivuilla. Viitattu 23.11.2016. [http://www.sfs.fi/standardien\\_laadinta/mita\\_standardisointi\\_on/standardisoinnin\\_maailmankartta/kansainvalinen\\_standardisointi](http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta/kansainvalinen_standardisointi).

Kienzle, K. 2003. Gas explosions and protective measures. Artikkelin räjähdysuojauksesta Ex-Magazine -verkkolehdestä. Viitattu 23.9.2016. [https://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift/2003/en/13gas\\_explosion\\_and\\_protection\\_en.pdf](https://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift/2003/en/13gas_explosion_and_protection_en.pdf).

Kolme loukkaantui maakaasuaseman räjähdyksessä. 2005. Onnettomuuskuvaus Tukesin VARO-rekisterissä. Viitattu 20.9.2016. <http://varo.tukes.fi/ExtranetHome/Incident/3845>.

KOM 25.8.2003/515. Ohjeellinen toimintaopas vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/92/EY täytäntöönpanemiseksi. Euroopan yhteisöjen komission tiedonanto. Viitattu 12.10.2016. [http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/atex/atex\\_tietoa/Documents/vademecum.pdf](http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/atex/atex_tietoa/Documents/vademecum.pdf).

Korhonen, P. 2012. ATEX-starttipaketti pk-yrityksille. ATEX-ohjeistus Työterveyslaitoksen verkkosivuilla. Viitattu 31.10.2016. [http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/atex/Documents/atex\\_starttipaketti.pdf](http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/atex/Documents/atex_starttipaketti.pdf).

Korhonen, P. N.d. Maistiaisia ATEX-koulutuksesta. Exviraan koulutusmateriaali räjähdysvaarallisista tiloista. Viitattu 31.8.2016 ja 4.10.2016. [http://www.exvira.fi/wp-content/uploads/2016/02/Maistiaisia\\_ATEX\\_koulutuksesta2016.pdf](http://www.exvira.fi/wp-content/uploads/2016/02/Maistiaisia_ATEX_koulutuksesta2016.pdf).

Korhonen, S. 2013. Ilmanvaihto räjähdysvaarallisessa tilassa. Insinööritö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 7.9.2016. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59461/ilmanvai.pdf?sequence=1>.

KTMp 27.11.1996/918. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä. Viitattu 29.8.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960918>.

Kurvinen, J. 2015. Räjähdysvaarallisten tilojen sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen SFS-EN 6009-14. Julkaisussa: Räjähdysvaaralliset tilat ja sähköturvallisuus. Inspectan koulutusmateriaali räjähdysvaarallisten tilojen sähköasennuksista. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Laakkonen, M. 2016. SFS-EN 60079-10-1 (2015) ei aukea. Sähköpostiviesti 21.10.2016. Vastaanottaja N. Sallinen. Vastaus Suomen standardoimisliitolta SFS-Onlineen käyttöön liittyneeseen ongelmaan. Viitattu 24.11.2016.

Laiteluettelo. 2016. Sotkamon biokaasulaitoksen PSA-yksikön laiteluettelo. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Lampinen, A. 2015. Biokaasualan monet mahdollisuudet. Julkaisussa: Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessi ja hyöhyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 124-172. Viitattu 8.9.2016. [https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk\\_biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja](https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja).

Lampinen, A. N.d. Liikennebiokaasu 1941-2014 ote-Laitosrekisteri 17. Artikkelin biokaasusta polttoaineena. Viitattu 8.9.2016. [http://files.cbg100.net/200000508-18a4619a02/Liikennebiokaasu\\_1941-2014\\_ote-Laitosrekisteri17.pdf](http://files.cbg100.net/200000508-18a4619a02/Liikennebiokaasu_1941-2014_ote-Laitosrekisteri17.pdf).

Lehtinen, J. 2016. Vanhempien biokaasupumppaamoiden laitteiston ATEX-päivitykset. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 13.9.2016. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113092/Lehtinen\\_Jani.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113092/Lehtinen_Jani.pdf?sequence=1).

Liang, B. 2004. Explosion protection of electrical installations in the Peoples' Republic of China. Artikkelin räjähdysuojauksesta kansainväliseen räjähdysteknologiaan erikoistuneen yrityksen Stahlin verkkosivuilla. Viitattu 14.10.2016. [https://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift/2004/en/11exprotec\\_in\\_china\\_en.pdf](https://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift/2004/en/11exprotec_in_china_en.pdf).

Liimatainen, J. 2004. Räjähdysuojausasiakirjan vaatima riskin arviointi muille kuin sähkölaitteille. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma. Viitattu 30.8.2016. [http://www.tukes.fi/tiedostot/julkaisut/7\\_2004.pdf](http://www.tukes.fi/tiedostot/julkaisut/7_2004.pdf).

Lindman, S. 2016. Räjähdysvaarallisten tilojen instrumentointisuunnittelu. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 13.10.2016. [https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/124385/Diplomity%C3%B6\\_Lindman\\_Sonja.pdf?sequence=2](https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/124385/Diplomity%C3%B6_Lindman_Sonja.pdf?sequence=2).

Lipavskiy, V. 2005. Explosion Protected Electrical Apparatus in the Russian federation. Julkaisu räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteista Ex-magazinessa. Viitattu 18.10.2016. [http://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/tgus/Documents/2005-ExProt\\_Apparatus\\_Russia.pdf](http://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/tgus/Documents/2005-ExProt_Apparatus_Russia.pdf).

Lisätietoa ATEX-laitedirektiivistä. 2016. Artikkelin Tukesin verkkosivuilla. Viitattu 13.9.2016. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja->



[hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/ATEX---Rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet/Lisatietoa-ATEX-direktiivista/](#).

Luettelo yleisimmistä palavista nesteistä. 1999. Tukesin julkaisu palavista nesteistä. Viitattu 30.8.2016. [http://www.tukes.fi/tiedostot/julkaisut/7\\_99.pdf](http://www.tukes.fi/tiedostot/julkaisut/7_99.pdf).

Luostarinen, S. 2015. Biokaasualan monet mahdollisuudet. Julkaisussa: Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessi ja hyöhyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 82-93. Viitattu 21.10.2016. [https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk\\_biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja](https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja).

Lupaa tai pätevyyttä vaativia työtehtäviä. 2016. Työturvallisuuskeskuksen dokumentti lupaa tai pätevyyttä vaativista työtehtävistä. Viitattu 24.11.2016. [http://ttk.fi/files/2889/Lupaa\\_tai\\_patevyytta\\_vaativia\\_tyotehtavia.pdf](http://ttk.fi/files/2889/Lupaa_tai_patevyytta_vaativia_tyotehtavia.pdf).

Lämpötila-antureiden valinta räjähdysvaaralliseen tilaan. 2015. Valintaohje SKS Sensorisin verkkosivuilla. Viitattu 13.9.2016. [http://www.skssensors.fi/fileadmin/user\\_upload/PDF/catalogues/Fl-cat/SKSSensors-Ex-anturin-valinta\\_2015-11.pdf](http://www.skssensors.fi/fileadmin/user_upload/PDF/catalogues/Fl-cat/SKSSensors-Ex-anturin-valinta_2015-11.pdf).

Maakaasun turvallisuus. N.d. Artikkelin Suomen kaasuyhdistyksen verkkosivuilla. Viitattu 17.11.2016. <http://www.kaasuyhdistys.fi/kirjat/maakaasukasikirja/maakaasun-turvallisuus>.

Maakaasuräjähdyksen lämpökeskuksessa syytti rakennuksen palamaan. 2013. Onnettomuuskuvaus Tukesin VARO-rekisterissä. Viitattu 20.9.2016. <http://varo.tukes.fi/ExtranetHome/Incident/6589>.

Maatalouden biokaasulaitos. N.d. BioGTS:n esite biokaasulaitoksesta. Jyväskylä: BioGTS. Viitattu 2.9.2016.

Maciejczyk, M. 2014. Safety of biogas plants. Saksalaisen biokaasuyhdistyksen esitelmä biokaasulaitosten turvallisuudesta. Viitattu 5.9.2016. [http://www.thai-german-cooperation.info/download/20140609\\_16\\_pdp\\_German\\_Biogas\\_Association\\_Safety\\_plants.pdf](http://www.thai-german-cooperation.info/download/20140609_16_pdp_German_Biogas_Association_Safety_plants.pdf).

Mahal, K., Marttinen, S., Nurmio, J., Pyykönen, V., Riihimäki, M., Sirkiä, S., Suoniemi, J. & Winqvist, E. 2014. Biokaasulaskurin käyttöohje. MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Viitattu 14.10.2016. [https://portal.mtt.fi/images/sovellukset/biokaasu/biokaasulaskuri\\_ohjekirja.pdf](https://portal.mtt.fi/images/sovellukset/biokaasu/biokaasulaskuri_ohjekirja.pdf).

Mutikainen M., Sormunen, K., Paavola, H., Haikonen, T. & Väisänen, M. 2016. Biokaasusta kasvua. Sitran selvityksiä 111. Viitattu 13.11.2016. [http://www.metropolia.fi/fileadmin/user\\_upload/Hakutoimisto/Syksy\\_2016/Liiketalous/Sitran\\_selvitys.pdf](http://www.metropolia.fi/fileadmin/user_upload/Hakutoimisto/Syksy_2016/Liiketalous/Sitran_selvitys.pdf).

No 38485. 2010. Artikkelin biokaasulaitosonnettomuudesta Aria-onnettomuustietokannassa. Viitattu 22.9.2016. <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/search-result-accident/?lang=en>.

No 11345. 1997. Artikkelin biokaasulaitosonnettomuudesta Aria-onnettomuustietokannassa. Viitattu 22.9.2016. <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/search-result-accident/?lang=en>.

Nuolivirta, H. 2007. Laitteiston vaatimustenmukaisuus. Ajankohtaispäivät viranomaisille – esitysmateriaali 14.11.2007 Helsingissä. Viitattu 10.10.2016. [www.tukes.fi/](http://www.tukes.fi/)

[Tiedostot/pelastustoimen laitteet/aineisto/Laitteistojen vaatimustenmukaisuus HN.ppt.](#)

Nuutila, M., Lehtinen, J., Riipinen, P., Soralahti, P. & Taskinen, J. 2006. ATEX-räjähdyssuojasiasiakirjan laatiminen öljy- ja maakaasukäyttöisille kaukolämpökeskuksille. Energiateollisuuden suositus H21. Viitattu 30.8.2016. [http://energia.fi/sites/default/files/suositush21\\_2006.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/suositush21_2006.pdf).

Nuutinen, J. 2016. BioGTS Ltd; Biokaasulaitoksen luokitustiedosto RSA. Granlund Oy:n liite räjähdysuojasiasiakirjaan. BioGTS, sisäinen materiaali. Viitattu 2.9.2016.

Nuutinen, J. N.d. Räjähdysuojasiasiakirja. Granlund Oy:n tekemä räjähdysuojasiasiakirja BioGTS:n biokaasulaitokselle. BioGTS, sisäinen materiaali. Viitattu 4.10.2016.

Onnettomuuksien ehkäisy. 2016. Artikkelit työnsuojeluhallinnon verkkosivuilla. Viitattu 17.11.2016. <http://www.tyosuojelu.fi/tyoterveys-ja-tapaturmat/onnettomuuksien-ehkaisy>.

OVA-ohje: Tetrahydrotiofeeni. 2015. THT:n OVA-ohje Työterveyslaitoksen verkkosivuilla. Helsinki: Työterveyslaitos. Viitattu 24.11.2016. <http://www.ttl.fi/ova/tethydti.html>.

Palamaton kaasu syttyi moottoria käynnistettäessä. 2014. Onnettomuuskuvaus Tukesin VARO-rekisterissä. Viitattu 20.9.2016. <http://varo.tukes.fi/ExtranetHome/Incident/6934>.

Patola, J. 2012. Räjähdysvaatallisten tilojen sähkö- ja automaatiolaitteiden ennakkohuolto. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 12.9.2016. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53533/Patola\\_Juho.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53533/Patola_Juho.pdf?sequence=1).

Raittinen, J. 2009. Räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteet. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 9.9.2016. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/10219/Raittinen.Jaakko.pdf?sequence=2>.

Referenssit. N.d. Artikkelit ja kuvakokoelma BioGTS:n verkkosivuilla. Viitattu 24.11.2016. <http://biogts.fi/referenssit/virolahden-biokaasulaitoksesta-lampoa-ja-sahkoa-koteihin-seka-virtaa-autoihin/>.

Rintala, J. & Kinnunen, V. 2015. Biokaasualan monet mahdollisuudet. Julkaisussa: Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessi ja hyöhyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 9-20. Viitattu 8.9.2016. [https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk\\_biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja](https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja).

Räjähdysuojausmerkinnät. 2013. Juliste SKS:n verkkosivuilla. Viitattu 13.9.2016. [http://www.sks.fi/www/sivut/8C9C30983829D96FC2257B6A002D7A03/\\$FILE/SKS\\_rajahdyssuojausmerkinnat\\_2013.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/8C9C30983829D96FC2257B6A002D7A03/$FILE/SKS_rajahdyssuojausmerkinnat_2013.pdf).

Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja suojausjärjestelmiä koskeva CE-merkintä. 2011. Euroopan komission tietolehtinen. Viitattu 10.10.2016. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko\\_ja\\_hissit/esitteet\\_ja\\_oppaat/ce\\_equipment\\_protective\\_systems\\_fi.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/esitteet_ja_oppaat/ce_equipment_protective_systems_fi.pdf).

- Räjähdyksivaarallisten tilojen elektroniikka ja ATEX-laitedirektiivin vaatimukset. 2012. Artikkelit VTT Expert Services verkkosivuilla. Viitattu 13.9.2016. [http://www.vttexpertservices.fi/ajankohtaista/uutiset/news201209\\_r%C3%A4j%C3%A4hdysvaarallisten-tilojen-elektroniikka-ja-atex-laitedirektiivin-vaatimukset](http://www.vttexpertservices.fi/ajankohtaista/uutiset/news201209_r%C3%A4j%C3%A4hdysvaarallisten-tilojen-elektroniikka-ja-atex-laitedirektiivin-vaatimukset).
- Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteiden perustandardi uudistettu. 2015. Uutinen Suomen Standardoimisliiton verkkosivuilla 23.3.2015. Viitattu 14.10.2016. <http://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiset/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteiden-perustandardi-uudistettu.2857.news>.
- Salvi, O., Chaubet, C. & Evanno, S. 2012. Improving the safety of biogas production in Europe. Tutkimusraportti Scielon verkkosivuilla. Viitattu 22.9.2016. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n37/n37a10.pdf>.
- SFS-EN 1127-1: 2011. Räjähdyksivaaralliset tilat. Räjähdyksen esto ja suojaus. Osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 12.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 13237: 2012. Räjähdyksivaaralliset tilat. Räjähdyksivaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden suojausjärjestelmien termit ja määritelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 12.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 60079-0 + A11: 2013. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 0: Laitteet. Yleisvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 12.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 60079-10-1: 2010. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 10-1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdyksivaaralliset tilat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 25.10.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 60079-14: 2009. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 12.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016: 2015. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 14.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 60079-17: 2008. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 17: Sähköasennusten tarkastus ja kunnossapito. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 14.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN 60079-30-2: 2008. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 30-2: Sähkösaatot. Soveltamisohjeita suunnitteluun, asentamiseen ja kunnossapitoon. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 14.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN ISO 80079-36: 2016. Explosive atmospheres. Part 36: Non-electrical equipment for explosive atmospheres. Basic method and requirements (ISO 80079-36:2016). Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 14.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.
- SFS-EN ISO 80079-36:2016. 2016. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 36: Räjähdyksivaarallisten tilojen muut kuin sähkölaitteet. Perusmenetelmät ja

vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 14.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.

SFS-EN ISO 80079-37: 2016. Explosive atmospheres. Part 37: Non-electrical equipment for explosive atmospheres. Non- electrical type of protection constructial safety “c”, sontrol of ignition sourcer “b”, liquid immersion “k” (ISO 80079-37:2016). Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 14.9.2016. <https://janet.finna.fi/>, SFS.

SFS-käsikirja 1. 2013. Standardit ja standardisointi. 8. p. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 23.11.2016. [http://www.sfs.fi/files/83/KK\\_1\\_2015\\_muokattu.pdf](http://www.sfs.fi/files/83/KK_1_2015_muokattu.pdf).

SFS-käsikirja 59. 2012. Räjähdyksvaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut. 4. p. Helsinki: Kyriiri Oy.

SFS-käsikirja 161-2. 2006. Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteet ja suojausjärjestelmät. Osa 2: Räjähdyssuojausrakenteet muille kuin sähkölaitteille. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-käsikirja 604-1. 2010. Räjähdyksvaaralliset tilat. Osa 1: Määräykset, tilaluokitus ja sähkölaitteiden rakenteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-käsikirja 609. 2009. Rakennusten ja rakenteiden salamasuojaus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

Standardien laadinta on kaikille avointa, vapaaehtoista, konsensusperusteista työtä. N.d. Artikkelin Suomen Standardoimisliiton verkkosivuilla. Viitattu 14.10.2016. [http://www.sfs.fi/standardien\\_laadinta](http://www.sfs.fi/standardien_laadinta).

Standardoinnin maailmankartta. N.d. Artikkelin Suomen Standardoimisliiton verkkosivuilla. Viitattu 23.11.2016. [http://www.sfs.fi/standardien\\_laadinta/mita\\_standardisointi\\_on/standardisoinnin\\_maailmankartta](http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta).

Sulonen, R. 2009. ATEX-direktiivi. VTT :n esite Labkotecin verkkosivuilla. Viitattu 13.9.2016. <http://www.labkotec.fi/sites/default/files/ATEXesite.pdf>.

Sulonen, R. 2013. Exi-laitteet ja niiden asennus. VTT:n ohje Exi-laitteista ja niiden asennuksesta. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Sulonen, R. 2015a. Räjähdyssuojattujen laitteiden rakenteet ja valinta eri tilaluokkiin. Julkaisussa: Räjähdyksvaaralliset tilat ja sähköturvallisuus. Inspectan koulutusmateriaali. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Sulonen, R. 2015b. Räjähdyksvaarallisten tilojen luokittelu. Inspectan koulutusmateriaali räjähdysvaarallisten tilojen suunnittelusta. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Sulonen, R. 2015c. Räjähdyssuojattujen laitteiden rakenteet ja valinta eri tilaluokkiin. Inspectan koulutusmateriaali räjähdysvaarallisten tilojen suunnittelusta. PCS Engineering, sisäinen materiaali. Viitattu 22.9.2016.

Sydänmaa, A. 2016. Projektipäällikkö. BioGTS. Kommentit alustavasta raportista 5.10.2016.

Taavitsainen, T. 2006. Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. Hankkeen loppuraportti. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 30.8.2016. [https://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia\\_ja\\_ymparisto/ymparistotekniikka/Malla2Loppuraportti\(1\).pdf](https://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/Malla2Loppuraportti(1).pdf).

The basics of explosion protection. 2011. ATEX-opas kansainväliseen räjähdysteknologiaan erikoistuneen yrityksen Stahlin verkkosivuilla. Viitattu 18.10.2016. [http://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/download\\_publicationen/grundlagen\\_explosionsschutz\\_eng\\_web.pdf](http://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/download_publicationen/grundlagen_explosionsschutz_eng_web.pdf).

The European Free Trade Association. N.d. Artikkelit EFTA:n verkkosivuilla. Viitattu 10.10.2016. <http://www.efta.int/about-efta/european-free-trade-association>.

The next level of explosion protection. 2015. Kansainväliseen räjähdysteknologiaan erikoistuneen yrityksen Stahlin tuote-esite yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 23.9.2016. [https://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/download\\_publicationen/R\\_STAHL\\_ACHEMA\\_2015\\_Flyer\\_en.pdf](https://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/download_publicationen/R_STAHL_ACHEMA_2015_Flyer_en.pdf).

Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus. 2005. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma E2. Viitattu 23.11.2016. <http://www.finlex.fi/data/normit/28207-E2su2005.pdf>.

Tuottava automaattinen suomalainen Biokaasulaitos. N.d. BioGTS:n esite biokaasulaitoksesta. Jyväskylä: BioGTS. Viitattu 2.9.2016.

VARO-rekisteri. N.d. Tukesin onnettomuusrekisteri. Viitattu 20.9.2016. <http://varo.tukes.fi/>.

Vaurio- ja onnettomuusrekisteri VARO. 2016. Kuvaus VARO-rekisteristä Tukesin verkkosivuilla. Viitattu 31.10.2016. <http://www.tukes.fi/fi/Rekisterit/asia-tieto-onnettomuustietoja/>.

Wagner, L. 2015. Risk assessment and safety guidelines of biogas plants. Artikkelit biokaasulaitoksien turvallisuudesta Viv Asian verkkosivuilla. Viitattu 5.9.2016. [http://www.vivasia.nl/~media/vivasia/Files/Biogas%20presentations/09\\_FvB\\_Wagner\\_Risk%20Assessment%20and%20Safety%20Guidelines%20of%20Biogas%20Plants.pdf](http://www.vivasia.nl/~media/vivasia/Files/Biogas%20presentations/09_FvB_Wagner_Risk%20Assessment%20and%20Safety%20Guidelines%20of%20Biogas%20Plants.pdf).

## Liitteet