



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Nandor Vastag

Biokaasujalostuslaitoksen turvallisuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

27.4.2021

Tekijä Otsikko	Nandro Vastag Biokaasujalostuslaitoksen turvallisuus
Sivumäärä Aika	39 sivua 27.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	projektipäällikkö Lauri Valovirta lehtori Markku Inkinen
<p>Opinnäytetyössä perehdyttiin biokaasujalostuslaitokseen ja siihen liittyviin turvallisuusvaatimuksiin. Työssä tutkittiin, mitä lakeja, direktiivejä ja standardeja kyseiseen prosessiin sovelletaan. Työn tarkoituksena oli selvittää, mitä turvallisuuteen liittyviä ohjeita ja säädöksiä tulee noudattaa prosessiteollisuudessa.</p> <p>Prosessiteollisuuden laitteet ja kemikaalit aiheuttavat vaaroja ja riskejä sekä omaisuudelle että prosessin kanssa vuorovaikutuksessa oleville ihmisille. Räjähdyksivaarallisissa tiloissa on tärkeää, että mahdollisia kipinän lähteitä pystytään eliminoimaan. Säädöksiä ja standardien ohjeiden noudattamisella voidaan kipinän lähteitä ainakin vähentää merkittävästi. Turva-automaatiojärjestelmän rooli prosessiteollisuudessa on estää henkilö-, ympäristö- tai omaisuusvahinkoja. Turva-automaation tehtävä on saattaa prosessi turvalliseen tilaan vakavan häiriö- tai vaaratilanteen ilmetessä.</p> <p>Opinnäytetyössä käytiin laajalla mittakaavalla läpi ATEX-direktiivejä ja standardeja sekä prosessiteollisuuden turva-automaatiojärjestelmälle asetetut vaatimukset. Työn tuloksena syntyi hyvin kattava informaatiopaketti biokaasujalostuslaitoksen turvallisuudesta.</p>	
Avainsanat	Biokaasujalostuslaitos, ATEX, turva-automaatiojärjestelmä

Author Title	Nandor Vastag Safety requirements of Biogas refinery plant
Number of Pages Date	39 pages 27 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Automation engineering
Instructors	Lauri Valovirta, Project Manager Markku Inkinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis work was to study biogas refinery plants and safety requirements related to these. The laws, directives and standards applied to biogas refinery process were clarified. The objective was to find out what regulations need to be observed in the process industry.</p> <p>Dangers and risks created by the machines and chemicals of the process industry are constantly present for staff and property. Eliminating possible sources of sparks in potentially explosive atmospheres is very important. By following regulations and instructions of standards, possible sources of sparks can be reduced significantly. The purpose of the safety integrated system in the process industry is to prevent harm to people, environment and property.</p> <p>In the theory part of this thesis work directives, laws and standards concerning potentially explosive atmospheres and safety automation systems were studied. In the practical part of the thesis work, it was clarified, for example, how to verify intrinsically safe circuits and, also how to verify the safety integrity level of a safety instrumented system.</p> <p>In this thesis work ATEX-directives and standards, as well as safety requirements set for the safety instrumented system were investigated on a large scale. The result of this thesis work is a comprehensive information package related to the safety of biogas refinery plant.</p>	
Keywords	Biogas Refinery Plant, ATEX, Safety Instrumented System

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Biokaasu	2
3	Biokaasulaitos	4
3.1	Biokaasujalostuslaitoksen toimintaperiaate	5
3.2	Biokaasujalostuslaitoksen pääkomponentit	5
3.2.1	Biokaasukompressori	6
3.2.2	Kaasuanalysaattori	6
3.2.3	Membraanit	7
4	Räjähdyksivaarallisuus	8
4.1	Atex-direktiivit	8
4.1.1	Atex-laitedirektiivi	9
4.1.2	Atex-olosuhdedirektiivi	9
4.2	Tilaluokitus	9
4.3	Räjähdyssuojausasiakirja	11
4.4	Atex-laitteet	12
4.5	Laiteryhmät ja laiteluokat	12
4.6	Räjähdyssuojusrakenteet	13
4.7	Räjähdyksryhmät	14
4.8	Lämpötilaluokat ja syttymislämpötila	15
4.9	Ex i -piirit ja niiden varmennus	16
4.10	Ex i -piirien varmentaminen	16
4.11	Laittevalinnat ja niiden varmentaminen	18
5	Turva-automaatio ja toiminnallinen turvallisuus	20
5.1	Standardit	21
5.1.1	IEC 61508	21
5.1.2	IEC 61511	21

5.2	Turva-automaatiojärjestelmän rakenne	21
5.3	Turva-automaatiojärjestelmän suunnittelu	22
5.3.1	Riskin- ja vaaranarviointi	22
5.3.2	Turvallisuuden eheyden taso	23
5.3.3	Turvallisuuden eheyden tason määrittäminen	25
5.3.4	Turva-automaatiotoiminnon TET-tason todentaminen	27
6	Biokaasujalostuslaitoksen turva-automaatiotoiminnon todentaminen	28
6.1	Tuntoelin	28
6.2	Logiikka	28
6.3	Toimielin	29
6.4	Lopputulos	29
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Lyhenteet

Atex	(ATmosphères EXplosibles) tarkoittaa räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita koskevaa lainsäädäntöä ja standardisointia. EU-alueella nämä perustuvat EU-direktiiviin (94/9/EY).
Exi	Luonnostaan vaaraton rakenne.
Ex-laite	Räjähdysvaaralliseen tilaan hyväksytty laite.
Ex-tila	Räjähdysvaarallinen tila.
I/O	Input/output, logiikan tulojen ja lähtöjen sekä kenttälaitteiden välinen tiedonsiirto.
PFD	Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys vaadittaessa.
PFDavg	Keskimääräinen vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys vaadittaessa.
PFH	Vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen taajuus [h ⁻¹].
RSA	Räjähdysuojasiasiakirja.
S/E/OE	Sähköinen/elektroninen/ohjelmoitava elektroninen.
TAJ	Turva-automaatiojärjestelmä.
TLJ	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä biokaasujalostuslaitoksen turvallisuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Työssä käsitellään räjähdysvaarallisille tiloille asetetut vaatimukset sekä perehdytään prosessiteollisuuden toiminnalliseen turvallisuuteen. Työ perustuu SFS-EN 61508- ja SFS-EN 61511 -standardeihin sekä ATEX-direktiiveihin ja standardeihin. SFS-EN 61508- ja 61511-standardisarjat käsittelevät prosessiteollisuuden turva-automaatiojärjestelmiä. ATEX-direktiivit ja standardit käsittelevät räjähdysvaarallisia tiloja ja niiden sähkölaitteita.

Työn tilaajan on Sarlin Oy Ab. Sarlin Oy Ab on vuonna 1932 perustettu teolliseen paineilmaan, automaatioon ja energiateknologiaan erikoistunut perheyrius. Yritys muun muassa suunnittelee ja toimittaa erilaisia laitoskokonaisuuksia prosessiteollisuuteen avaimet käteen periaatteella.

Työn kohteena on Sarlin Oy Ab:n suunnitteluvaiheessa oleva biokaasujalostuslaitos. Tässä opinnäytetyössä perehdytään biokaasujalostuslaitoksen turvallisuuteen liittyviin vaatimuksiin sekä laitteiden valintaan. Työn tavoitteena on antaa kattavaa informaatiota käytännöllisillä esimerkeillä siihen, miten näitä vaatimuksia voidaan täyttää.

2 Biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, joka syntyy biomassan mädätysprosessissa, ja se on täysin uusiutuva energiamuoto. Biokaasua on mahdollista valmistaa melkein mistä tahansa eloperäisestä raaka-aineesta, kuten biojätteestä jätevesiliedestä tai teollisuuden ylijäämäjätteestä. Suomessa biokaasua käytetään pääosin lämmön ja sähkön tuotantoon sekä kaasumoottori ajoneuvojen polttoaineena. Biokaasua täytyy kuitenkin jalostaa biometaaniksi, jotta sitä voidaan käyttää kaasujoneuvojen polttoaineena. (1.)

Biokaasu on siis biokaasulaitoksessa syntyvää kaasuseosta ennen sen jalostusta. Raakan biokaasun koostumus on hyvin vaihteleva. Sen metaanipitoisuus on yleensä 45-75 %:n välillä, ja hiilidioksidipitoisuus on 20-55 %:n välillä. Syötemateriaalista riippuen kaasuseos voi sisältää pieniä määriä vettä, typpeä ja erilaisia epäpuhtauksia. (2.)

Biometaanilla tarkoitetaan puhdistettua ja jalostettua biokaasua. Biometaanista on poistettu suurin osa muista kaasuista kuin metaanista. Biometaanin metaanipitoisuus on yleensä 95-99 %:n välillä, kun loput kaasuseoksesta on käytännössä hiilidioksidia. Kaasujoneuvojen moottoreita mahdollisesti vaurioittavat epäpuhtaudet on poistettu ennen kaasun jalostusta. (2.)

Kuvan 1 taulukossa on esitetty jalostamattoman biokaasun koostumus sekä Ruotsin SS 15438:1999 -liikennebiokaasustandardin mukaisen jalostetun biokaasun koostumus.

Yhdiste	Raaka reaktorikaasu	Raaka kaato-paikkakaasu	Jalostettu biokaasu (SS 155438:1999)
Metaani (CH ₄) [til-%]	45–75	20–60	95–99
Korkeammat hiilivedyt (etaani ym.)	0	0	0
Hiilidioksidi (CO ₂) [til-%]	20–55	25–50	1–5
Typpi (N ₂) [til-%]	0–2	4–35	0–4
Hiilimonoksidi (CO) [til-%]	0–0,2	0–0,2	
Happi (O ₂) [til-%]	0–1	0,5–5	< 1
Vety (H ₂) [til-%]	0–0,5	0–0,5	
Rikkivety (H ₂ S) [til-%]	< 0,8	< 3	
Rikki yhteensä [mg (Nm ³) ⁻¹]	< 8000	< 30000	≤ 23
Ammoniakki (NH ₃) [mg (Nm ³) ⁻¹]	0–3	0–1	< 20
Siloksaanit [mg (Nm ³) ⁻¹]	0–5	0–25	
Halogenoidut hiilivedyt [mg (Nm ³) ⁻¹]		0,2–7	
Vesi [mg (Nm ³) ⁻¹]			< 32
Suhteellinen kosteus [%]	100 %	< 100 %	kastepiste: käyttö-lämpötila - 5 °C

Kuva 1. Jalostamattoman ja jalostetun biokaasun koostumukset (3, s. 128).

3 Biokaasulaitos

Biokaasun tuotanto alkaa vastaanotolla, jossa biomassat esikäsitellään mädätystä varten. Esikäsitelyn jälkeen biomassat hygienisoidaan. Hygienisoinnilla tarkoitetaan biomassan kuumentamista mahdollisten haitallisten elementtien poistamiseksi. Hygienisointi tekee biomassan laadusta tasaisemman ja parantaa mädätystä. Tämän jälkeen biomassat pumpataan mädätysreaktoreihin eli biokaasureaktoreihin. Biokaasureaktoreissa tapahtuu biomassan biologinen anaerobinen hajoaminen, jonka tuloksena syntyy biokaasua. Mädätysprosessin sivutuotteena syntyy hajoamaton aines, jota kutsutaan myös mädätysjäännökseksi. Mädätysjäännöstä voidaan käyttää esimerkiksi kompostina. Mädätyksen jälkeen biokaasu puhdistetaan rikkiyhdisteistä, jonka jälkeen se johdetaan kaasuvarastoon. Kaasuvarasto mahdollistaa kaasun kulutuksen säätelyn vuorokausitasolla. Näiden vaiheiden jälkeen biokaasua voidaan käyttää lämmön- ja sähköntuotantoon. Mikäli biokaasua tuotetaan maakaasuverkkoon tai liikennekäyttöön, biokaasu jalostetaan eli puhdistetaan hiilidioksidista ja muista haitallisista yhdisteistä. Tämän prosessin seurauksena syntyy biometaani, joka on verrattavissa maakaasuun. Viimeinen vaihe on biometaanin paineistus. Paineistettua biometaania voidaan syöttää maakaasuverkkoon tai pullopatteriin. (1, s. 7.)



Kuva 2. Biokaasun tuotanto (1, s. 7).

3.1 Biokaasujalostuslaitoksen toimintaperiaate

Kun biokaasu on käynyt kuvan 2 viisi ensimmäistä vaihetta läpi, se ajetaan biokaasujalostuslaitokselle, jossa biokaasu jalostetaan liikenteen polttoaineeksi tai maakaasuverkostoon kelpaavaksi biometaaniksi. Biokaasujalostuslaitoksella biometaanin tuotanto tapahtuu kolmessa eri vaiheessa. Nämä kolme vaihetta ovat esikäsitteily, paineen korotus ja jälkikäsitteily.

Ensimmäisessä vaiheessa eli esikäsitteilyssä kaasuväroastosta tulevaa biokaasua jäädytetään tai lämmitetään sopivaan lämpötilaan. Tämän jälkeen biokaasu puhdistetaan epäpuhtauksista kuten rikkivedystä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi ajamalla biokaasu siloksaanisuodattimien läpi. Mikäli puhdistusvaiheen jälkeen biokaasun rikkivety-pitoisuus on edelleen liian korkea, se kierrätetään tulopuolelle ja ajetaan uudestaan suodattimien läpi. Biokaasun puhdistus kohdistuu kaikkiin kaasun tuotantoprosessissa syntyviin epäpuhtauksiin, paitsi inertteihin kaasuihin kuten hiilidioksidi ja typpi. Edellä mainitut kaasut eivät aiheuta ongelmia energian tuotantolaitteissa.

Seuraavassa vaiheessa biokaasu paineistetaan sopivaan paineeseen biokaasukompressorilla. Biokaasu paineistetaan eli puristetaan kokoon tiettyyn paineeseen, jotta membraanijärjestelmän toiminta olisi optimaalisin.

Prosessin kolmas vaihe on jälkikäsitteily. Jälkikäsitteilyssä biokaasu virtaa membraanien läpi. Esikäsitteilyn jälkeen biokaasun metaanipitoisuus on noin 75 – 80 %. Membraanit puhdistavat biokaasun hiilidioksidista ja tpeestä. Prosessin kolmannen vaiheen lopputuloksena syntyy biometaani, jonka metaanipitoisuus on 95 – 99 %.

3.2 Biokaasujalostuslaitoksen pääkomponentit

Biokaasujalostuslaitoksen tärkeimmät laitteet eli pääkomponentit ovat biokaasukompressorit, kaasuanalysoittori ja membraanit. Tässä luvussa käydään läpi ja tutustutaan tarkemmin biokaasujalostuslaitoksen pääkomponentteihin.

3.2.1 Biokaasukompressorori

Biokaasujalostuslaitoksen biokaasukompressorin tehtävänä on paineistaa sisään tulevaa raakakaasua membraaneille sopivaan paineeseen. Käytännössä kompressorori paineistaa kaasun noin 12 bariin mutta pystyy myös paineistamaan 15 bariin. Kompressorori on varustettu 90 kW:n sähkömoottorilla ja sitä ohjataan taajuusmuuttajalla. On hyvin tärkeä, että biokaasua paineistetaan sopivaan paineeseen, jotta membraanien toiminta olisi optimaalisin.

3.2.2 Kaasuanalysoija

Kaasuanalysoijan tehtävä nimensä mukaisesti on analysoida biokaasun laatua ja koostumusta. Tässä projektissa käytetään ruotsalaisen yhtiön Exteventin valmistamaa kaasuanalysoijaa. Exteventin valmistama kaasuanalysoija on CE-merkitty ja Atex-tilaluokkaan 2 soveltuva kokonaisuus, johon kuuluu näyteputki, mittauslähettimet sekä analysoijakeskus.

Sarlin Oy:n toimittamat biokaasujalostuslaitokset on varustettu kahdella kaasuanalysoijalla. Ensimmäinen on prosessin esikäsittelyvaiheessa ja toinen on prosessin lopussa jälkikäsittelyn puolella.

Esikäsittelyvaiheessa oleva kaasuanalysoija sijaitsee prosessissa siloksaanisuodattimien jälkeen. Ensimmäinen kaasuanalysoija analysoi hapen (O₂), metaanin (CH₄), hiilidioksidin (CO₂) ja rikkivedyn (H₂S) pitoisuuksia sisään tulevasta raakasta biokaasusta. Jos suodatuksen jälkeen kaasussa on edelleen liikaa epäpuhtauksia eli biokaasun hiilidioksidi ja hiilidioksidi arvot ovat liian korkeat, biokaasu kierrätetään tulopuolelle ja ajetaan uudelleen suodattimien läpi.

Jälkikäsittelyssä oleva kaasuanalysoija sijaitsee välittömästi membraanien jälkeen. Tämä kaasuanalysoija mittaa metaanin (CH₄) ja hiilidioksidin (CO₂) pitoisuutta paineistetusta biokaasusta. Membraanien jälkeen biokaasun metaanipitoisuus on noin 95 – 99 %. On kuitenkin mahdollista, että membraanivaiheen jälkeen biokaasun hiilidioksidipitoisuus on edelleen liian korkea. Tässä tapauksessa biokaasua kierrätetään takaisin tulopuolelle ja ajetaan uudelleen kokoprosessin läpi.

3.2.3 Membraanit

Membraanien tehtävänä on puhdistaa paineistettu biokaasu lopuista epäpuhtauksista. Membraanit toimivat siis suodattimina. Biokaasujalostuslaitoksella on kolme membraaniräkkiä. Biokaasu kulkee näiden kaikkien räkkien läpi. Näin saadaan lopputuotteeksi mahdollisimman metaanirikasta biometaania.

4 Räjähdyksvaarallisuus

Räjähdyksvaaralliseksi tilaksi kutsutaan tilaa, jossa voi esiintyä räjähdysvaarallinen ilmaseos. Räjähdyksvaarallinen tila voi olla huone, sen osa tai muu rajoitettu sisä- tai ulkotila. Palavan aineen kanssa sekoittunut normaalipaineinen ilma voi aiheuttaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Palava aine voi olla esimerkiksi kaasu, höyry, sumu tai pöly. Palavaa ainetta voidaan määrittellä eri tavoin riippuen siitä, onko kyseessä neste, kaasu vai pöly.

- Palava neste on nestemäinen kemikaali, jonka leimahduspiste on enintään 100 °C. Esimerkkejä palavista nesteistä on liuottimet, polttoaineet, kuten bensiini ja diesel, nestemäinen maakaasu, raaka-, lämmitys- voitelu- ja jäteöljyt, lakat.
- Palavan kaasun tai kaasuseoksen syttymisalue on 20 °C:n lämpötilassa ja normaali-ilmanpaineessa. Palaviin kaasuun kuuluvat esimerkiksi nestekaasut, kuten butaani, etaani tai propaani, maakaasu ja polttokaasut, kuten hiilimonoksidi tai metaani.
- Palavat pölyt ovat pölyjä, jotka ovat peräisin kiinteistä palavista aineista kuten hiilestä, puusta, alumiinista, sokerista, jauhoista tai viljasta. Aiheuttaakseen räjähtävän seoksen pölyn on oltava riittävän hienojakoista. (5.)

Atex-tiloja eli räjähdysvaarallisia tiloja esiintyy pääasiassa syttyvien nesteiden ja kaasujen sekä pölyjen käsittelyn yhteydessä, esimerkiksi kemian- ja prosessiteollisuudessa sekä jakeluasemilla.

4.1 Atex-direktiivit

Atex-direktiivit koskevat sekä laitevalmistajia että käyttäjiä. Atex-direktiivi 2014/34/EU koskee laitevalmistajia ja heidän tuotteitaan. Atex-direktiivi 99/92/EY koskee käyttäjiä. Atex-direktiivi 2014/34/EU on laitedirektiivi, mikä käsittelee EX-tiloissa käytettäviä sähköisiä sekä mekaanisia laitteita. Atex-direktiivi 99/92/EY on puolestaan olosuhdedirektiivi ja käsittelee nimensä mukaisesti Ex-tilojen olosuhteita.

Atex-olosuhdedirektiivin (99/92/EY) tarkoituksena on ennaltaehkäistä ja torjua Atex-tiloissa työskenteleville räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamia vaaroja. Atex-laitedirektiivin (2014/31/EU) tarkoituksena on saada räjähdysvaarallisten tilat ja niissä käytettävien koneiden ja laitteiden turvallisuusvaatimuksia ja ohjeita yhtenäisiksi sekä taata vapaakauppaa Euroopan unionin jäsenvaltioissa.

4.1.1 Atex-laitedirektiivi

Atex-laitedirektiivi on niin sanottu uuden lähestymistavan mukainen direktiivi. Direktiivissä ei siis ole suoria viittauksia standardeihin, kuten vanhoissa standardeissa vaan direktiivissä määritellään tärkeimmät turvallisuuteen ja terveyteen liittyvät vaatimukset.

Atex-laitedirektiivi 2014/34/EU on julkaistu 26.02.2014, ja tämä korvaa vuonna 1994 julkaistun Atex-laitedirektiivin 94/9/EY. Ensimmäiset Atex-laitedirektiivit julkaistiin jo 1970-luvulla, mutta nämä koskivat vain räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteita, ei mekaanisia laitteita.

4.1.2 Atex-olosuhdedirektiivi

ATEX-työolosuhdesäädökset koskevat kaikkia niitä työnantajia, joiden työntekijät voivat joutua alttiiksi syttyvistä nesteistä, kaasuista tai pölyistä aiheutuvalle räjähdysvaaralle. Ne koskevat ihmisiä, jotka työskentelevät Ex-tiloissa ja rakentavat tai suunnittelevat Ex-tiloja. (8.)

Direktiivissä esitetään vähimmäisvaatimukset räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi. (18.)

Atex-olosuhdedirektiivi edellyttää, että räjähdysvaarallisissa tiloissa työvälineen ja suojausjärjestelmät on valittava Atex-laitedirektiivissä säädettyjen luokkien mukaan. Direktiivi velvoittaa työnantajan tekemään tilaluokituksen räjähdysvaaralliselle tilalle ja direktiivissä annetaan kriteerit, joiden avulla tilaluokitus voidaan tehdä. Direktiivi velvoittaa myös työnantajaa huolehtimaan siitä, että laaditaan RSA, jossa kuvataan riskit, vaarat ja toimenpiteet. (19.)

4.2 Tilaluokitus

Atex-olosuhdedirektiivi velvoittaa työnantajaa tai toiminnanharjoittajaa tekemään tilaluokituksen semmoisille tiloille, joissa saattaa esiintyä räjähdyskelpoista ilmaseosta.

Tilaluokitus helpottaa laitteiden oikeaa valintaa, asentamista sekä käyttöä ja auttaa varmistamaan niiden turvallisen käytön tässä tilassa. Tilaluokituksia tulisi tehdä

niiden henkilöiden, jotka ymmärtävät palavien aineiden ominaisuuksien merkityksen ja tärkeyden, kaasujen ja höyryjen hajaantumisen ja jotka tuntevat prosessin laitteineen. (4, s.14.)

On kuitenkin suositeltavaa, että tilaluokituksen tekemiseen osallistuvat myös muiden alojen suunnittelijat, kuten sähkö- tai mekaniikan insinöörit sekä turvallisuudesta vastaavat henkilöt. Tilat, jotka vaativat tilaluokituksen ovat esimerkiksi kaasulaitetilat, mädättämöt ja ylijäämäkaasupolttimet eli soihdut. (4, s. 15.)

Räjähdyksivaarallisten tilojen tilaluokitukset:

Tilaluokka 0

Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostamaa räjähdyskelpoista ilmaseosta esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.

Tilaluokka 1

Tila, johon normaalitoiminnassa voi satunnaisesti muodostua ilman ja palavien kaasujen, höyryjen tai sumujen sekoituksesta koostuvaa räjähdyskelpoista ilmaseosta.

Tilaluokka 2

Tila, jossa ilman ja palavien kaasujen, höyryjen tai sumujen sekoituksesta muodostuvan räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen on normaalitoiminnassa epätodennäköistä ja sitä esiintyy joka tapauksessa vain lyhytaikaisesti.

Tilaluokka 20

Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.

Tilaluokka 21

Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.

Tilaluokka 22

Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan. (5.)

Räjähdysvaaralliset tilat tulee merkitä EX-merkinnällä. Mikäli koko tilaa ei ole tilaluokiteltu, räjähdysvaarallisen tilan rajat tulee merkitä niin, että ne ovat helposti huomattavissa. Atex-tiloista on myös löydettävä muut yleiseen turvallisuuteen liittyvät merkinnät, kuten ”Avotulen teko kielletty” sekä ”Tupakointi kielletty”. (5.)



Kuva 3. Olosuhdedirektiivin mukainen varoitusmerkki (6).

4.3 Räjähdysuojausasiakirja

Työnantajan tai toiminnan harjoittajan on laadittava räjähdysuojausasiakirja räjähdysvaarallisille tiloille. RSA täytyy olla laadittuna ennen räjähdysvaarallisen tilan käyttöönottoa. Räjähdysuojausasiakirjaa täytyy pitää ajan tasalla, ja se on myös tarkistettava, jos tapahtuu muutoksia. Räjähdysuojausasiakirjassa täytyy esittää vaaran arvioinnin tuloksia sekä suojaustoimenpiteitä. Räjähdysuojausasiakirjassa tulee esittää seuraavat asiat:

- Atex-tilojen toiminnasta vastuussa olevien nimet sekä tiloissa työskentelevien työntekijöiden määrää
- pohjapiirustus, jossa on myös poistumistiet esitetty
- Atex-tilojen tilaluokitus (tekstinä tai luokituskuvana)
- räjähdysvaaraa aiheuttavat aineet
- olosuhteet, joissa räjähdysvaaraa esiintyy

- Atex-laiteluettelo, jossa on lueteltuna sekä sähköiset että mekaaniset laitteet
- vaaran arvioinnin tulokset sekä arviointimenetelmä
- kuvaus pätevän henkilön suorittamasta räjähdysturvallisuuden toteamisesta
- räjähdysuojaustoimenpiteiden toteuttamisesta ja asiakirjan laatimisesta ja päivittämisestä vastaavat henkilöt
- selvitys teknisistä ja organisatorisista räjähdysuojaustoimenpiteistä.

4.4 Atex-laitteet

Räjähdysvaarallisissa tiloissa on käytettävä Atex-todistuksella varustettuja ja merkittyjä laitteita. Laittevalinnan perusteluksi ei kuitenkaan riitä, että laite on ATEX-hyväksytty. Laitteet tulee valita käyttötarkoituksen ja käyttöympäristön mukaisesti ATEX-tarkennuksiltaan. Atex-laitedirektiivin piiriin kuuluvat Atex-tiloissa käytettäväksi tarkoitetut mekaaniset ja sähköiset laitteet, joissa on syttymislähde, suojausjärjestelmät sekä laitteiden ja suojausjärjestelmien komponentit. EX-tilojen laitteiden valmistaja on vastuussa siitä, että laite täyttää laitedirektiivin vaatimukset. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että lopullinen vastuu on suunnittelijalla, jonka tehtävä on varmistaa, että kyseinen laite soveltuu käyttötarkoitukseen. (7.)

4.5 Laiteryhmät ja laiteluokat

ATEX-laitedirektiivissä EX-laitteet on jaettu ryhmiin I ja II. Ryhmän I laitteet kuuluvat kaivoksissa ja niiden maanpäällisissä osissa käytettäväksi. Näissä tiloissa räjähdysvaara perustuu kaivoskaasuun (metaaniin) ja/tai pölyyn. Ryhmän II laitteet on tarkoitettu muissa räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi.

Laiteryhmät on jaettu alaluokkiin, joita kutsutaan laiteluokiksi. Ryhmän I laitteet on jaettu kahteen laiteluokkaan M1 ja M2. Ryhmän II laitteet on jaettu kolmeen laiteluokkaan 1, 2 ja 3. Laitteet jaetaan laitteiden turvallisuustason vaatimuksien perusteella laiteluokkiin. Mitä pienempi laiteluokan numero on, sitä suurempaa turvallisuustasoa laitteelta vaaditaan.

Laiteluokkien 1 ja M1-turvallisuustason vaatimus on erittäin korkea. Näiden laiteluokkien laitteiden käyttö on sallittu kaikissa tilaluokissa. Laiteluokkien 2 ja M2-turvallisuustason vaatimus on korkea. Näiden laiteluokkien laitteiden käyttö on sallittu tilaluokissa 1,21,2 sekä 22. Laiteluokan 3 laitteiden turvallisuustason vaatimus on normaali. Tämän laiteluokan laitteiden käyttö on sallittu tilaluokassa 2 sekä 22. (8, s. 8.)

Taulukko 1. Laiteryhmät ja laiteluokat (7).

Laite-ryhmä	Laite-luokka	Suojelun teho	Tilaluokka
I	M1	Kaksi itsenäisesti toimivaa suojauskeinoja tai turvallisuus varmistettu myös silloin, kun kaksi toisistaan riippumattonta vikaa ilmenee	
	M2	Normaalitoiminta ja vaikeat käyttöolosuhteet	
II	1	Kaksi itsenäisesti toimivaa suojauskeinoja tai turvallisuus varmistettu myös silloin, kun kaksi toisistaan riippumattonta vikaa ilmenee	0, 20
	2	Normaalitoiminta ja ennakoitavissa olevat toistuvat häiriöt ja toimintaviat.	1, 21
	3	Normaalitoiminta	2, 22

4.6 Räjähdyssuojaurakenteet

Ex-tilan sähkölaite voidaan suunnitella useita erilaisia räjähdysuojaurakennemenetelmiä käyttäen. Ex-laitteen räjähdysuojaurakenteesta ilmenee, millä tavalla laite on suojattu sekä miten sen rakenne on toteutettu. Taulukossa 2 on kuvattu Ex-laitteiden suojaurakenteet sekä tunnuksat.

Taulukko 2. Atex-laitteiden suojausrakenteet (7).

Suojausrakenne	Tunnus	Kuvaus
Räjähdyspaineen kestävä rakenne	"d"	Laitteen rakenne kestää laitteen sisäpuolisen räjähdyskelpoisen ilmaseoksen räjähdyspaineen ja estää räjähdysten etenemisen laitteen ulkopuolelle
Varmennettu rakenne	"e"	Laitteen liiallinen lämpeneminen sekä valokaarien ja kipinöinnin esiintyminen on vähennetty lisätoimenpitein.
Luonnostaan vaaraton	"f"	Laitteiden ja johtojen sähköenergia on rajoitettu sellaiselle tasolle, ettei syttymistä voi tapahtua kipinöinnin tai lämpenemisen seurauksena
Suojatuuletinrakenne	"p"	Kotelon sisällä ylläpidetään ylipaineista suoja-kaasua, millä estetään ulkopuolisen ilman pääsyn koteloon
Suojausrakenne	"n"	Laite ei kykene sytyttämään ympärillä olevaa räjähdyskelpoista ilmaseosta normaali käytössä sekä tietyissä poikkeavissa olosuhteissa
Öljyyn upotus	"o"	Sähkölaite on kokonaan upotettu suojaavaan nesteeseen, näin nestepinnan yläpuolella oleva räjähdyskelpoinen ilmaseos ei voi syttyä
Hiekkatäytteinen rakenne	"q"	Laite on kiinnitetty paikalleen ja ympäröity täysin täyteaineella, joka estää räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymisen
Massaanvaluraakenne	"m"	Laitteen kipinöivät tai kuumat osat on suljettu massaan niin, että räjähdyskelpoinen ilmaseos ei voi syttyä
Suojaus koteloinnilla	"t"	Sähkölaitteet suojataan koteloinnilla niin, että pölypilvien tai kerrosten syttyminen vältetään

4.7 Räjähdyksryhmät

Ryhmän II laitteet jaetaan kolmeen alaryhmään niiden käyttöpaikassa vallitsevan räjähdyskelpoisen kaasuilmaseoksen ominaisuuksien mukaan. Näitä alaryhmiä kutsutaan räjähdysryhmiksi. Laiteryhmän II räjähdysryhmät ovat IIA, IIB ja IIC. Mikäli laitteessa ei ole räjähdysryhmän merkintää, sitä voidaan käyttää kaikkien räjähdysryhmien kaasuilmaseoksissa. (9.)

Ryhmän III laitteet on tarkoitettu käytettäväksi semmoisissa räjähdysvaarallisissa tiloissa, joissa räjähdysvaaran aiheuttajana on pöly. Kuten ryhmän II laitteet, ryhmän III

laitteet jaetaan myös kolmeen räjähdysryhmään. Jaottelu perustuu käyttöpaikassa vallitsevan räjähdyskelpoisen pölyilmaseoksen ominaisuuksiin. Ryhmän III räjähdysryhmät ovat IIIA, IIIB ja IIIC.

Taulukko 3. ATEX-laitteiden räjähdysryhmät (9).

Käyttöpaikan räjähdysryhmä	Laitteen sallittu räjähdysryhmä	Vallitsevat kaasut	Vallitsevat pölyt
IIA	II, IIA, IIB, IIC	Metaani, Etaani, Propaani	
IIB	II, IIB, IIC	Eteeni	
IIC	II, IIC	Vety, Asetyleeni	
IIIA	IIIA, IIIB, IIIC		palavat hahtuvat
IIIB	IIIB, IIIC		eristävät pölyt
IIIC	IIIC		johtavat pölyt

4.8 Lämpötilaluokat ja syttymislämpötila

Syttymislämpötilalla tarkoitetaan aineen alinta lämpötilaa, jossa se syttyy kosketuksesta kuumaan pintaan. Palavat kaasut ja höyryt on jaettu lämpötilaluokkiin T1...T6 riippuen niiden itsesyttymislämpötilasta. Laitteet on jaettu vastaaviin ryhmiin niiden pintalämpötilansa perusteella. Lämpötilaluokkien väliset erot kuvataan taulukossa 4. (9.)

Taulukko 4. ATEX-laitteiden lämpötilaluokat (9).

Lämpötilaluokka	Kaasun tai höyryn syttymislämpötila (°C)	Laitteen suurin sallittu pintalämpötila (°C)	Laitteen sallitut lämpötilaluokat
T1	> 450	450	T1...T6
T2	300...450	300	T2...T6
T3	200...300	200	T3...T6
T4	135...200	135	T4...T6
T5	100...135	100	T5...T6
T6	85...100	85	T6

4.9 Ex i -piirit ja niiden varmennus

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin Ex i -laitteisiin ja piireihin. Ex i -tunnus on lyhenne sanasta ”intrinsically safe” eli luonnostaan vaaraton. Luonnostaan vaarattomien laitteiden sähköiset energiamäärät on rajoitettu niin alhaisiksi, ettei kuumia pintoja tai syttyviä kipinöitä pääse syntymään. Luonnostaan vaarattoman suojausrakenteen laitteet jaetaan kolmeen suojaustasoon: Ex ia, Ex ib ja Ex ic. Ex ia -merkityt laitteet voidaan käyttää kaikissa räjähdysvaarallisissa tilaluokissa. Ex ib -suojaustason laitteet voidaan käyttää tilaluokissa 1 ja 2. Ex ic -laitteiden käyttö on sallittu ainoastaan tilaluokassa 2.

Luonnostaan vaaraton piiri, tutummin Ex i -piiri on piiri, jossa kaikki laitteet ovat luonnostaan vaarattomia tai yksinkertaisia laitteita. Yksinkertainen laite on standardin määritelmän mukaan ”sähköinen komponentti tai yksinkertaisten komponenttien yhdistelmä, jolla on selkeästi määritellyt ominaisarvot” (10). Yksinkertaisiin laitteisiin kuuluvat passiiviset komponentit, kuten kytkimet, jakorasiat ja vastukset, energiaa varastoivat komponentit, kuten kondensaattorit ja kelat sekä energiaa tuottavat komponentit, kuten valokennot ja termoparit.

Jotta Ex i -piirin sähköenergia pysyisi sallituissa arvoissa, Ex i -laitteen ja automaatiojärjestelmän väliin on sijoitettava liitännäislaite. Liitännäislaitteena yleensä käytetään Ex-erotinta. Ex-erottimet ovat zener-barrierit ja galvaaniset erottimet. Liitännäislaite on standardin SFS-EN 60079-14 -määritelmän mukaan ”sähkölaite, joka sisältää sekä energiarajoitettuja että ei-energiarajoitettuja virtapiirejä ja se on rakenteeltaan sellainen, että ei-energiarajoitetut piirit eivät voi vaikuttaa haitallisesti energiarajoitettuihin piireihin” (10). Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää Ex i -hyväksyttyä IO-korttia. Ex i -hyväksyttyä IO-korttia käyttäessä ex-erotinta ei laiteta Ex i -laitteen ja IO-kortin väliin, sillä Ex i -hyväksytyyn IO-korttiin on integroitu energiarajoitusominaisuudet. Luonnostaan vaarattomaan eli Ex i -piiriin kuulu Ex i -hyväksytty laite, liitännäislaite sekä niitä yhdistävä kaapeli.

4.10 Ex i -piirien varmentaminen

Luonnostaan vaarattomalle piirille on laadittava järjestelmäkuvaus. Järjestelmäkuvauksessa on esitettävä käytetyt laitteet ja niiden sähköiset parametrit kaapelien parametrit

mukaan lukien. Järjestelmäkuvauksessa on esitettävä myös Ex i -piirien varmennuslaskelmat, jotka todistavat, ettei sallittuja arvoja ylitetä. Luonnostaan vaarattoman laitteen ja liitännäislaitteen sähköiset parametrit saadaan laitteen dokumenteista. Kaapeliparametrit saadaan kaapelivalmistajan dokumentaatiosta tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää SFS-EN 60079-14:2015 + AC:2016 -standardissa määrittäjä vakioarvoja 200 pF/m ja joko 1 µH/m tai 30 µH/Ω (10). Taulukossa 5 on esitetty Ex i -piirien varmennukseen tarvittavat parametrit.

Taulukko 5. Laitteiden varmennuksessa tarvittavat parametrit.

Sähköiset parametrit	Ex i -laite	Liitännäis-laite	Kaapeli
Jännite (U)	U_i	U_o	-
Virta (I)	I_i	I_o	-
Teho (P)	P_i	P_o	-
Kapasitanssi (C)	C_i	C_o	C_c
Induktanssi (L)	L_i	L_o tai L_o/R_o	L_c tai L_c/R_c

Ex i -piirin varmennuksella varmennetaan, että piirin Ex i -laite, liitännäislaite ja kaapeli ovat yhteensopivat. Ensimmäiseksi varmistetaan, että liitännäislaitteen U_o , I_o ja P_o eli jännite-, virta- ja tehoarvot ovat pienemmät tai yhtä suuret kuin Ex i -laitteen vastaavat arvot. Taulukossa kuusi on esitetty laitteiden väliset arvot.

Taulukko 6. Ex i -laitteen ja liitännäislaitteen väliset jännite-, virta- ja tehoarvot.

Sähköiset parametrit	Liitännäislaite		Exi-laite
Jännite (U)	U_o	\leq	U_i
Virta (I)	I_o	\leq	I_i
Teho (P)	P_o	\leq	P_i

Yllä olevien lisäksi Ex i -piirin varmennuksessa pitää tarkastaa myös koko piirin induktanssi- ja kapasitanssiarvot. Jos Ex i -laitteen induktanssi- tai kapasitanssi arvo on pienempi kuin 1 % * liitännäislaitteen vastaavat arvot eli jos:

$$L_i \leq 1\% \cdot L_o \quad (1)$$

$$\text{tai} \quad C_i \leq 1\% \cdot C_o \quad (2)$$

niin käytetään varmennuksessa seuraavia kaavoja:

$$L_o \geq L_i + L_c \quad (3)$$

$$\text{ja} \quad C_o \geq C_i + C_c \quad (4)$$

Jos yhtälöiden 1 ja 2 ehdot eivät toteudu, eli Ex i -laitteen induktanssi ja kapasitanssi on suurempi kuin 1 % liitännäislaitteen vastaavista arvoista eli jos:

$$L_i > 1\% \cdot L_o \quad (5)$$

$$\text{ja} \quad C_i > 1\% \cdot C_o \quad (6)$$

niin käytetään varmennuksessa seuraavia kaavoja:

$$\frac{L_o}{2} \geq L_c + L_i \quad (7)$$

$$\frac{C_o}{2} \geq C_c + C_i \quad (8)$$

4.11 Laitevalinnat ja niiden varmentaminen

Suurin osa biokaasujalostuslaitoksen SIA-komponenteiksi on valittu Ex i -laitteita. Tästä syystä olemme päättäneet valitsemaan Ex i -hyväksytyn etä-I/O-moduulin. Turckin valmistama Excom etä-I/O -moduuli soveltuu käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. Excom moduulin IO-korteilla on Ex i -hyväksyntä eli se toimii myös liitännäislaitteena. Ennen näiden laitteiden käyttöönottoa Ex i -piireille on tehtävä varmennus. Tehdään Ex i -piirin varmennus piirille, johon kuuluvat ADZ Nagano GmbH:n painelähetin, Turck Excom AIH401EX Ex i -hyväksytty I/O-kortti sekä ÖFLEX EB CY -instrumentointikaapeli. Ex i -laitteiden ja kaapelin sähköiset parametrit on kerätty taulukkoon 7. Laitteiden parametrit saadaan niiden Atex-sertifikaateista ja kaapelin parametrit sen datalehdessä. Kaapelin pituudeksi on laskettu 25 metriä.

Taulukko 7. Esimerkkipiirin sähköiset parametrit

Sähköiset parametrit	Ex i-laitte	Liitännäis-laitte	Kaapeli
Jännite (U)	27 V	19,7 V	-
Virta (I)	125 mA	90 mA	-
Teho (P)	850 mW	633 mW	-
Kapasitanssi (C)	5 nF	840 nF	160 nF/km*0,025km = 4nF
Induktanssi (L)	-	2 mH	0,52 mH/km * 0,025km = 0,013 mH

Kuten taulukossa 7 näkyy Ex i -laitteen, eli tässä tapauksessa painelähtetimen jännite, virta ja teho ovat pienemmät kuin liitännäislaitteen eli Ex i -hyväksytyin I/O-kortin vastaavat arvot. Taulukon 6 ehdot siis toteutuivat.

Seuraavaksi tarkastellaan Ex i -piirin induktanssi ja kapasitanssi arvoja 1 % -sääntöä käyttäen. Sijoitetaan Ex i -laitteen sekä liitännäislaitteen induktanssi- ja kapasitanssiarvot yhtälöihin 1 ja 2.

$$0 \text{ mH} \leq 1\% \cdot 2 \text{ mH}$$

tai $5 \text{ nF} \leq 1\% \cdot 840 \text{ nF}$

Yhtälöistä nähdään, että Ex i -laitteen induktanssin ja kapasitanssin arvot ovat pienemmät kuin 1 % liitännäislaitteen vastaavista arvoista. Tämä jälkeen verrataan kaapelin ja Ex i -laitteen kokonaisinduktanssia ja -kapasitanssia liitännäislaitteen vastaaviin arvoihin. Sijoitetaan taulukon 7 arvot yhtälöihin 3 ja 4.

$$2 \text{ mH} \geq 0 \text{ mH} + 0,013 \text{ mH}$$

$$840 \text{ nF} \geq 5 \text{ nF} + 4 \text{ nF}$$

Yhtälöistä nähdään, että molemmat ehdot toteutuvat. Kaikki viisi ehtoa toteutuivat, joten kyseinen Ex i -piiri on varmennettu luonnostaan vaarattomaksi.

5 Turva-automaatio ja toiminnallinen turvallisuus

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005, tutummin Kemikaaliturvallisuuslaki on astunut voimaan ensimmäisen kerran 01.07.2005. Kemikaaliturvallisuuslain tarkoituksena on ehkäistä vaarallisten kemikaalien sekä räjähteiden valmistuksesta, siirrosta, varastoinnista, säilytyksestä ja muusta käsittelystä syntyviä henkilö-, ympäristö- ja omaisuusvahinkoja. Lakia sovelletaan laitteisiin, joilla käsitellään vaaralliseksi luokiteltuja kemikaaleja tai valmistetaan räjähteitä. (11.)

Kemikaaliturvallisuuslaissa ei ole mitään mainintaa turva-automaatiosta tai siihen liittyvistä laitteistosta tai ohjelmistosta. Laki 390/2005 kuitenkin velvoittaa toiminnanharjoittajaa seuraavalla tavalla:

Toiminnanharjoittajan on huolehdittava laitteistojen ja laitteiden sekä turvallisuuden varmistamiseen tarkoitettujen laitteiden ja järjestelmien kunnossapidosta ja varmistettava riittävän usein, että niitä voidaan käyttää turvallisesti ja että ne toimivat oikein (10).

Valtioneuvoston asetus 856/2012 vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista on tullut voimaan 01.01.2013. Asetuksessa 856/2012 otetaan vahvasti kantaa prosessien valvontaan, hallintaan ja turvallisuuteen liittyviin järjestelmiin. Asetuksen 856/2012 mukaan prosessit on tarvittaessa varustettava järjestelmillä, joilla onnettomuustilanteet voidaan havaita ajoissa ja onnettomuuksien seurauksia voidaan rajoittaa mahdollisimman vähäisiksi. Seuraavassa listassa on lueteltu asetuksen 856/2012 määrittämät turvajärjestelmät. (12).

- 1) Käyttöautomaatiojärjestelmä, jolla prosessi tai toiminta pidetään ennalta määritellyissä olosuhteissa.
- 2) Käyttöautomaatiojärjestelmästä toiminnaltaan riippumaton hätäpysäytysjärjestelmä, joka mahdollistaa prosessin alasajon tai toimintojen turvallisen keskeyttämisen käsikäyttöisesti mahdollisen automaattisen hätäpysäytyksen lisäksi.
- 3) Laitteistojen ja säiliöiden ylitäyttymisestä hälyttävä ja ylitäyttöjä estävä järjestelmä.
- 4) Järjestelmä, jonka avulla kemikaalin käsittelyyn tai varastointiin liittyvät häiriöt tai poikkeavat olosuhteet voidaan havaita riittävän ajoissa onnettomuuksien estämiseksi.

5) Järjestelmä, jolla vaaralliset reaktiot voidaan estää tai pysäyttää tai jolla niitä voidaan hidastuttaa, kuten hätäjähdytys-, hätälaimennus- ja inertointijärjestelmät.

6) Käyttöautomaatiojärjestelmästä riippumaton turva-automaatiojärjestelmä, jolla toteutetaan turvallisuuden kannalta kriittiset lukitukset, suojaukset tai vastaavat ja jolla voidaan estää prosessin joutuminen vaaralliseen tilaan tai jonka avulla prosessi voidaan ohjata turvalliseen tilaan; turva-automaatiojärjestelmän tulee olla niin suunniteltu, että häiriötilanteessa toimilaitteet jäävät tai siirtyvät ennalta määriteltyyn turvalliseen tilaan; järjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon toiminnan luonteen ja vaarallisuuden kannalta riittävä luotettavuus

7) Varaenergiajärjestelmä, jolla voidaan ylläpitää turvallisuuden kannalta kriittisiä toimintoja. (12).

5.1 Standardit

5.1.1 IEC 61508

IEC 61508 -standardi käsittelee toiminnalliseen turvallisuuteen liittyviä sähköisiä, elektronisia ja ohjelmoitavia elektronisia järjestelmiä.

Toiminnallisella turvallisuudella tarkoitetaan sitä osaa kokonaisturvallisuudesta, joka riippuu järjestelmien ja laitteiden oikeasta ja oikea-aikaisesta toiminnasta (13 s. 4).

IEC 61508 -standardiperhe on kehitetty turva-automaatiolaitteiden, kuten ohjelmoitavien logiikkojen ja turvareleiden valmistajille ja toimii alakohtaisena kattostandardina.

5.1.2 IEC 61511

IEC 61511 -standardisarjassa perehdytään turva-automaatiojärjestelmien soveltamista prosessiteollisuudessa. IEC 61511 -standardisarja käsittelee myös prosessien vaaran ja riskin arviointia. IEC 61511 -standardiperhe on tarkoitettu prosessiteollisuuden turva-automaatiojärjestelmien suunnittelijoille, integroijille ja käyttäjille.

5.2 Turva-automaatiojärjestelmän rakenne

Turva-automaatiojärjestelmä on kokonaisuus, joka koostuu laitteistosta ja ohjelmistosta. Laitteistoon kuuluvat turvalogiikka turvatuloineen ja turvalähtöineen sekä kenttälaitteet.

Ohjelmisto muodostaa turvalaitteiden kanssa automaatiotoimintoja, joiden tarkoitus on ylläpitää turvallisuutta.

Tuntoelimen tehtävä on kerätä tietoa prosessista. Turvalogiikka päättelee tuntoelimen keräämän tiedon perusteella, onko prosessi vaarallisessa vai turvallisessa tilassa. Tuntoelin voi olla jotakin suuretta mittaava anturi, kuten lämpötila -tai paineanturi tai se voi olla esimerkiksi pintakytkin.

Turvalogiikka toimii TAJ:ssa eli turva-automaatiojärjestelmässä tarkkailijana. Tuntoelimen antaman signaalin perusteella turvalogiikka päättää, onko tarvetta antaa toimilaitteelle käsky ajaa prosessi turvalliseen tilaan. Mikäli turva-automaatiojärjestelmän jokin osa-alue vikaantuu, turvalogiikka suorittaa turvatoiminnon.

Toimielimen tehtävä on hyvin yksinkertainen. Mikäli turvalogiikalta tulee käsky, toimielimen on suoritettava turva-automaatiotoiminto. Toimielin on toimilaitte, mikä saattaa prosessiin turvalliseen tilaan. Tällaisia toimilaitteita ovat esimerkiksi pikasulkuventtiilit ja taa-juusmuuttajat.

5.3 Turva-automaatiojärjestelmän suunnittelu

Ennen kuin aletaan suunnittelemaan ja toteuttamaan turva-automaatiojärjestelmää, on suositeltavaa ja tarpeellista tehdä kattavaa tarkastelua ja suunnittelua kohteelle. Turva-automaatiojärjestelmän suunnittelua ja toteuttamista edistää riskin- ja vaaran arvioinnin sekä turvallisuuden eheyden tason (TET) määrittämisen tekeminen. Seuraavissa luvuissa perehdytään riskin- ja vaaran arviointiin sekä TET-määrittämiseen.

5.3.1 Riskin- ja vaaranarviointi

Riskin- ja vaaranarvioinnin tarkoitus on tunnistaa kohteen mahdolliset vaarat, poikkeamat ja niiden syyt sekä arvioida vaaran suuruus sekä vaikutus turvallisuudelle. Riskin- ja vaaranarviointia on suositeltavaa tehdä työryhmässä. VTT:n tekemän tutkimusraportin mukaan hyvä työryhmä koostuu 6-8 jäsenestä tai vaihtoehtoisesti vain muutamasta kohteen prosessin asiantuntijoista. Tutkimusraportti painottaa, että on tärkeää saada mukaan analysoitavaa kohdetta eri näkökulmista tuntevia henkilöitä. (14, s.19.)

Riskin- ja vaaranarviointi menetelmiä on useita erilaisia mutta tunnetuin ja VTT:n tutkimusraportin mukaan käytetyin menetelmä on Poikkeamatarkastelu (HAZOP, Hazard and Operability Study). Riskin- ja vaaran arviointi menetelmät voidaan jakaa kolmeen ryhmään: vaarojen tunnistamismenetelmät, onnettomuuksien mallintamismenetelmät ja seurausanalyysit (14 s.19). Kuvassa neljä on esitelty erilaisia riskin- ja vaaranarvioinnin menetelmiä.

- Vaarojen tunnistamismenetelmät
 - Poikkeamatarkastelu (HAZOP)
 - Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA)
 - Reaktiomatriisi
 - Riskien arviointi työpaikalla -työkirja
 - Satunnaispäästöriskianalyysi (SARA)
 - SeqHaz-riskikartoitus
 - Toimintovirheanalyysi (TVA)
 - Työn turvallisuusanalyysi (TTA)
 - Työtapojen analyysi
 - Vaarallisten skenaarioiden analyysi (HAZSCAN)
 - Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA)
- Onnettomuuksien mallintamismenetelmät
 - Syy-seuraus-kaavio (SSK)
 - Tapahtumapuuanalyysi (TPA)
 - Vikapuuanalyysi (VPA)
- Seurausanalyysit
 - ilma
 - vesistö
 - maaperä

Kuva 4. Riskin- ja vaaranarvioinnin menetelmiä. (14, liite 1 s. 3)

5.3.2 Turvallisuuden eheyden taso

Turvallisuuden eheyden taso tutummin TET on diskreetti luokitus sille, miten todennäköisesti TLJ eli turvallisuuteen liittyvä järjestelmä kykenee suorittamaan turva-automaatiotoiminnon vaadittaessa. Turvallisuuden eheyden tasoja on yhteensä neljä ja niitä yleensä merkitään käyttäen englanninkielistä termiä safety integrity level (SIL). Turvallisuuden eheystaso 4 (SIL 4) korkein ja vaativin eheystaso ja turvallisuuden eheystaso 1 (SIL 1) on matalin ja lievin eheystaso. (15, s. 30.)

SFS-EN 61511-3 -standardissa kerrotaan turvallisuuden eheyden koostuvan kahdesta elementistä: laitteiston turvallisuuden eheydestä ja systemaattisen turvallisuuden eheydestä. Laitteiston turvallisuuden eheys liittyy laitteiston satunnaisiin vikaantumisiin ja systemaattisen turvallisuuden eheys liittyy systemaattisiin vikaantumisiin, joilla on vaarallinen vikamuoto. Vaarallisella vikamuodolla tarkoitetaan sellaista vikaa, joka estää TLJ:n turva-automaatiotoiminnon vaadittaessa. (16, s.12.)

Turvallisuuden eheyden tasoon liittyy kolme toimintatapa. Toimintatavat kuvaavat, kuinka usein turvallisuuteen liittyvän järjestelmän on tarkoitus suorittaa turva-automaatiotoiminto. Nämä toimintatavat ovat harvojen vaateiden toimintatapa, tiheiden vaateiden toimintatapa ja jatkuva toimintatapa. Harvojen vaateiden toimintatavassa turva-automaatiotoimintoa suoritetaan vain vaateesta eikä vaateiden taajuus ole suurempi kuin yksi vuodessa. Tiheiden vaateiden toimintatavassa turvatoimintoa suoritetaan myös vain vaateesta ja vaateiden taajuus on suurempi kuin yksi vuodessa. SFS-EN 61511-1 -standardi määrittelee jatkuvien vaateiden toimintatapa seuraavalla tavalla:

turva-automaatiotoiminto pitää prosessin turvallisessa tilassa osana normaalia toimintaa (15 s. 23).

Toimintatapa määrittää sen, millä todennäköisyydellä vaaralliseksi luokiteltu vika saa ilmetä. Seuraavissa kuvissa on esitetty TET-tasot sekä vaarallisten vikaantumisten todennäköisyydet. Harvojen vaateiden toimintatavassa yksikkönä käytetään PFD_{avg}-arvoa. Tiheiden ja jatkuvien vaateiden toimintavoissa yksikkönä käytetään PFH-arvoa. PFD_{avg}-arvolla tarkoitetaan vaarallisen vikaantumisen todennäköisyyttä vaateen ilmetessä. PFH-arvolla tarkoitetaan vaarallisen vikaantumisen todennäköisyyttä tunnissa (15. s. 36.) Kuvissa 5 ja 6 on esitetty TET-tasot sekä vastaavat PFD_{avg}- ja PFH-arvot.

VAATEIDEN TOIMINTATAPA		
Turvallisuuden eheyden taso (SIL)	Keskimääräinen vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys vaateen ilmetessä (PFD _{avg})	Vaadittu riskin pienennys
4	$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4}$	> 10 000 ... ≤ 100 000
3	$\geq 10^{-4} \dots < 10^{-3}$	> 1 000 ... ≤ 10 000
2	$\geq 10^{-3} \dots < 10^{-2}$	> 100 ... ≤ 1 000
1	$\geq 10^{-2} \dots < 10^{-1}$	> 10 ... ≤ 100

Kuva 5. Harvojen vaateiden toimintatapa ja niihin liittyvät vaarallisten vikaantumisten todennäköisyydet vaadittaessa. (15, s. 54)

JATKUVA TAI VAATEIDEN TOIMINTATAPA	
Turvallisuuden eheyden taso (SIL)	Vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen taajuus (vikaa tuntia kohti)
4	$\geq 10^{-9} \dots < 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8} \dots < 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7} \dots < 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6} \dots < 10^{-5}$

Kuva 6. Tiheiden ja jatkuvien vaateiden toimintatapa ja vaarallisten vikaantumisten taajuudet tuntia kohden. (15, s. 55)

5.3.3 Turvallisuuden eheyden tason määrittäminen

Kun riskin- ja vaaranarvioinnissa mahdolliset vaarat on tunnistettu, tulee vaaralliselle tapahtumalle määrittää turvallisuuden eheystaso. Vaaralliselle tapahtumalle määritetty TET-taso koskee vain kyseessä olevan tapahtuman turva-automaatio toimintaa eikä koko turva-automaatiojärjestelmää. Jokaiselle vaaralliselle tapahtumalle on siis määritettävä omaakohtainen TET-taso.

Turvallisuuden eheyden taso määritetään riskigraafin avulla. Riskigraafissa on neljä eri parametria. Nämä neljä parametria ovat:

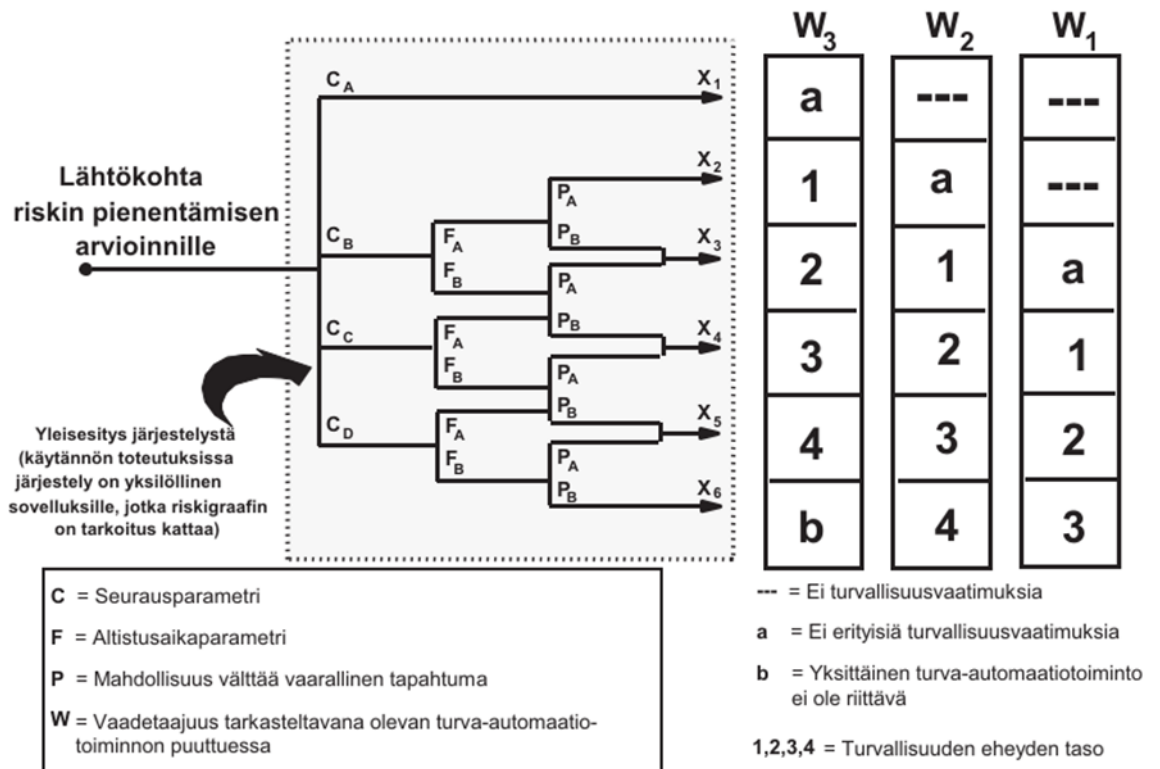
- vaarallisen tapahtuman seuraus (C)
- oleskelun taajuus ja alttiinaolon aika (F)
- todennäköisyys vaaran välttämiseen (P)
- vaadetaajuus turva-automaatio toiminnon puuttuessa (W).

Riskigraafin parametrit on kuvailtu tarkemmin taulukossa 8. Riskigraafin parametrit tulee aina kalibroida kyseiselle kohteelle.

Taulukko 8. Riskigraafin parametrien kuvaukset. (16, s. 35)

Riskiparametri		Luokitus	Kommentit
Seuraus (C)	C _A	Pieni vamma	Parametri käsittelee ihmisten vammautumista tai kuoleman tapauksia. Voidaan myös käyttää ympäristön ja omaisuuden vahinkoja.
	C _B	henkilön kuolema	
	C _C	Usean henkilön kuolema	
	C _D	Hyvin monen henkilön kuolema	
Miehitys (F)	F _A	Harvoin tai vähäinen oleskelu vaara-alueella	Parametri käsittelee ihmisten vammautumista tai kuoleman tapauksia. Voidaan myös käyttää ympäristön ja omaisuuden vahinkoja.
	F _B	Toistuva tai pysyvä oleskelu vaara-alueella	
Todennäköisyys vaaran välttämiseen (P)	P _A	Mahdollista jossakin olosuhteissa	Parametri käsittelee ihmisten toiminnan: - Valvotaanko prosessia/kohdetta - Onko pakenemisreitit tiedossa - Mahdolliset käsikäyttöiset menetelmät vaaran estämiseen
	P _B	Melkein mahdotonta	
Vaadetaajuus (W)	W ₁	Erittäin harvoin ja enintään muutama	Parametri käsittelee vaaran sattumisen taajuutta ilman turva-automaatiojärjestelmää
	W ₂	Harvoin ja enintään muutama	
	W ₃	Usein ja toistuva	

Kun riskigraafin parametrit on kalibroitu kohteelle, valitaan sopivat parametrit ja yhdistetään niitä. Valituista parametreista muodostuu ketju, joka ohjaa tietyllä turvallisuuden eheyden tasolle. Kuvassa 7 on riskigraafin yleinen kuvaus.



Kuva 7. Riskigraafin yleinen kuvaus. (16, s. 38)

5.3.4 Turva-automaatio toiminnon TET-tason todentaminen

Turva-automaatio toiminnolle määritetään riskigraafia käyttäen turvallisuuden eheyden taso. Täytyy kuitenkin huomioida, että määritetylle TET-tasolle ei välttämättä päästä käyttämällä määritetyn TET-tason komponentteja.

Turva-automaatio toiminto todennetaan matemaattisella tarkastelulla. Tarkastelussa lasketaan turvatoiminnon vaarallisen vikaantumisen todennäköisyyttä vaadittaessa. Todentamisessa on laskettava yhteen turva-automaatio toiminnon kaikkien laitteiden PFDavg-arvot. Laskettu PFDavg-arvo verrataan kuvan 5 taulukkoon ja tarkistetaan, saavuttaako kyseiselle turvatoiminnolle määritetyn TET-tason PFDavg-arvoa. Laskennan tarkoitus on siis todentaa, onko laitteiden muodostama turva-automaatio toiminto saavuttanut määritetyn TET-tason.

6 Biokaasujalostuslaitoksen turva-automaatiotoiminnon todentaminen

Tässä luvussa perehdytään yhteen biokaasujalostuslaitokseen liittyvään turva-automaatiotoimintoon. Turva-automaatiotoiminto todennetaan SFS-EN 61508 -standardin määrittelemällä matemaattisella laskennalla.

Kyseessä olevan turva-automaatiotoiminnon on tarkoitus katkaista paineilma pneumaattisilta toimilaitteilta, jos kaasun lämpötila nousee liian korkeaksi. Kaikki pneumaattiset toimilaitteet ovat jousipalautteisia eli ohjautuvat kiinni asentoon paineilman kadotessa.

Turva-automaatiotoiminnolle on valittu harvojen vaateiden toimintatapa, koska vaateiden taajuus ei ole suurempi kuin yksi vuodessa. Riskigraafia käyttäen päädyttiin siihen, että turva-automaatiotoiminnon on saavutettava turvallisuuden eheystaso 2.

6.1 Tuntoelin

Tuntoelimenä toimii GMI:n valmistama D1073S-signaalimuunnin. Laite muuttaa esimerkiksi PT100:n vastussignaalin milliampeerisignaaliksi. Laitteessa on myös kaksi erillistä reletietoa saatavilla, jotka aktivoituvat hälytysrajan rikkoutuessa. Hälytysrajat ovat ohjelmoitavissa laitteeseen valmistajan omalla ohjelmointityökalulla.

D1073S-signaalimuuntimella on Tuv Südin myöntämä SIL-sertifikaatti. Sertifikaatissa vakuutetaan signaalimuuntimen sopivan TET 2 -luokkaan asti. Sertifikaatissa kerrotaan laitteen PDFavg-arvon olevan $8,14 \cdot 10^{-4}$ analogi signaalille ja $8,71 \cdot 10^{-4}$ relelähdoille. Tässä tapauksessa käytetään relelähettä, joten käytetään todentamisessa jälkimmäistä PDFavg-arvoa.

6.2 Logiikka

Kuten GMI:n signaalimuuntimella myös Beckhoffin TwinSafe-sarjan tuotteilla on Tuv Südin myöntämä SIL-sertifikaatti. Logiikka-osa muodostuu kolmesta eri laitteesta: EL1904 -tulokortista (DI), EL6910 -logiikasta (F-CPU) ja EL2904 -lähtökortista (DO). Tuv Süd:n sertifikaatissa vakuutetaan kaikkien laitteiden sopivan TET 3 -luokkaan asti.

Logiikka-osien PFDavg-arvot löytyvät laitteiden manuaaleista. Logiikka-osan PFDavg-arvo saadaan summaamalla laitteiden arvot yhteen.

$$PFD_{avg} = 2,54 \cdot 10^{-5} + 8,29 \cdot 10^{-5} + 8,45 \cdot 10^{-5} = 19,28 \cdot 10^{-5}$$

6.3 Toimielin

Toimielimenä on Burkertin 3/2-magneettiventtiili, joka päästää paineilmaa pneumaattisille toimilaitteille. Valmistaja vakuuttaa magneettiventtiin sopivan turvallisuuden eheystason 2-luokkaan asti. Laitteelle ei ole annettu PFDavg-arvoa mutta sen vaaralliset viikaantumiset on annettu FIT-asteikolla. Annettujen tietojen perusteella laitteen PFDavg-arvoa voidaan laskea kaavan 9 avulla.

$$PFD_{avg} = \lambda du * \frac{TI}{2} \quad (9)$$

Kaavassa 9 λdu -arvo kuvaa ei-havaittujen, vaarallisten vikojen keskimääräistä esiintymistiheyttä. TI-arvo määräaikaistestausväli, joka annetaan tunteina. Määräaikaistestausvälin voi määrittää valmistaja, tai se voidaan päättää suunnitteluvaiheessa. Tässä tapauksessa määräaikaistestausväli on määritetty suunnitteluvaiheessa, ja se on yksi vuosi.

Sijoitetaan annetut arvot kaavaan 9 ja lasketaan laitteen PFDavg-arvoa. Laskentaan annettu FIT-arvo on muutettu kaavaan sopivaksi.

$$PFD_{avg} = 2,87 \cdot 10^{-7} * (8760/2) = 1,26 \cdot 10^{-3}$$

6.4 Lopputulos

Kaikkien turva-automaatiotoiminnon laitteiden PFDavg-arvojen ollessa tiedossa voidaan summata arvot yhteen. Arvon tulee saavuttaa turva-automaatiotoiminnolle määritetty turvallisuuden eheystaso.

$$PFD_{avg} = 8,14 \cdot 10^{-4} + 19,28 \cdot 10^{-5} + 1,26 \cdot 10^{-3} = 2,3 \cdot 10^{-3}$$

Laskennan lopputuloksena laskettiin kaikkien kyseiseen turva-automaatiotoimintoon liittyvien laitteiden PDFavg-arvoa ja voidaan todeta, että turva-automaatiotoiminto saavuttaa sille määritetyn turvallisuuden eheystason.

7 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin räjähdysvaarallisten tiloihin sekä prosessiautomaation turvallisuuden liittyviä vaatimuksia. Työssä perehdyttiin ATEX-direktiiveihin ja standardeihin sekä prosessiteollisuuden turva-automaatioon liittyviin standardeihin SFS-EN 61508 ja SFS-EN 61511.

Työn tavoitteena oli antaa parempaa tietoa siitä, mitä turvallisuusvaatimuksia on asetettu biokaasujalostuslaitokselle. Biokaasu on räjähdysherkkä kaasu ja kuuluu ATEX-direktiivin alaisuuteen. Biokaasujalostuslaitoksella on myös oltava käyttöautomaatiojärjestelmästä riippumaton turva-automaatiojärjestelmä valtioneuvoston asetuksen 856/2012 mukaan.

Työssä käytiin hyvin kattavasti läpi direktiiveissä ja standardeissa esitetyt vaatimukset ATEX-tiloille. Työssä annettiin myös käytännön esimerkki, miten Ex i -piirejä varmenneetaan. Opinnäytetyön toinen pääaihe oli prosessiteollisuuden turva-automaatio. Työssä käytiin läpi, miten vaaraa aiheuttavalle tapahtumalle määritetään turvallisuuden eheyden taso. TET-tason määrittämisen jälkeen käytännön esimerkkiä hyödyntäen todennettiin turva-automaatiotoiminnon saavuttavan sille määritetyn TET-tason.

Lähteet

- 1 Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. 2008. Verkkoaineisto. <<https://issuu.com/en-jaoy/docs/biokaasunkasikirja>> Luettu 14.02.2021.
- 2 Biovoiman www-sivut. <<https://biovoima.com/biokaasu>> Luettu 14.02.2021.
- 3 Kymäläinen, Maritta ja Pakarinen, Outi. 2015. Biokaasuteknologia Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammatti-korkeakoulu.
- 4 SFS-EN 60079-10-1. Tilaluokitus. Kaasuräjähdyksivaaralliset tilat. 2015. Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 Räjähdyksivaaralliset tilat. Verkkoaineisto. <<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat#8627a19e>> Luettu 01.02.2021.
- 6 Työterveyslaitos. Verkkoaineisto. <<https://www.ttl.fi/vesihuoltolaitosten-tyoturvallisuus-opas/riskien-tunnistus-ja-hallintakeinot/tapaturmavaaralliset-tyot/rajahdysvaaralliset-tilat/>> Luettu 25.02.2021.
- 7 Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteet – ATEX. Verkkoaineisto. <<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex#8627a19e>> Luettu 01.02.2021.
- 8 ATEX Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus. Verkkoaineisto. <<https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/ATEX+r%C3%A4j%C3%A4hdysvaarallisten+tilojen+turvallisuus/310d29f5-57bc-431a-90e5-27bf0b6e0f8d/ATEX+r%C3%A4j%C3%A4hdysvaarallisten+tilojen+turvallisuus.pdf?version=1.0>> Luettu 10.02.2021.
- 9 Zenerin www-sivut. Verkkoaineisto. <<https://www.zener.fi/sahkomootorit/atex-mootorit/>> Luettu 20.02.2021.
- 10 SFS-EN-60079-14. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. 2015. Suomen Standardisoimisliitto.
- 11 Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005. 2005. Finlex. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050390>> Luettu 13.03.2021.
- 12 Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012. 2013. Finlex. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120856>> Luettu 13.03.2021.

- 13 Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Tukes. 2007. Verkkoaineisto. <<https://tukes.fi/documents/5470659/6409383/Turva-automaatio+prosessiturvallisuuudessa/e159a62f-a1c2-4de9-a063-7050349d5081/Turva-automaatio+prosessiturvallisuuudessa.pdf?version=1.0>> Luettu 25.03.2021.
- 14 Riskianalyysien laatu: vaatimukset tilaajalle ja toteuttajalle. VTT. 2007. Verkkoaineisto. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2007/Tutkimusraportti_VTT_R_03718_07.pdf> Luettu 30.03.2021.
- 15 SFS-EN 61511-1. Toiminnallinen turvallisuus. Turva-automaatiojärjestelmät prosessiteollisuussektorille. Osa 1: Rakenne, määritelmät, järjestelmän, laitteiston ja sovellusohjelmoinnin vaatimukset. 2017. Suomen Standardisoimisliitto.
- 16 SFS-EN 61511-3. Toiminnallinen turvallisuus. Turva-automaatiojärjestelmät prosessiteollisuussektorille. Osa 3: Ohjeita vaadittavien turvallisuuden eheyden tasojen määrittämiseen. 2017. Suomen Standardisoimisliitto.
- 17 Prosessiteollisuuden turva-automaatio ja IEC 61511. 2020. Koulutusmateriaali.
- 18 Direktiivi 1999/92/EY — vähimmäisvaatimukset räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi. 1999. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:c11141>> Luettu 21.02.2021.
- 19 ATEX – Räjähdysvaarallisten tilojen, laitteiden, asennusten ja tilaluokituksen standardit. OAMK. Verkkoaineisto. <<http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/ATEX/atex-esite.pdf>> Luettu 23.01.2021.