

Nestekaasutäyttölaitoksen laitteiston kriittisyysluokittelu

Valtter Miettinen

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2024

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

MIETTINEN, VALTTER
Nestekaasutäyttölaitoksen laitteiston kriittisyysluokittelu

Opinnäytetyö 56 sivua
Marraskuu 2024

Opinnäytetyö tehtiin Woikoski Oy:n toimeksiannosta. Yrityksen Pirkkalassa sijaitsevalla nestekaasutäyttölaitoksella oli tarve toteuttaa laitteiston kriittisyysluokittelu. Yritys voi hyödyntää kriittisyysluokittelun tuloksia tulevaisuudessa kunnossapidon työkaluna. Työn tarkoituksena oli luoda laitoksen tarpeisiin soveltuva tapa analysoida ja luokitella laitteiston kriittisyyttä.

Työssä perehdyttiin täyttölaitoksen laitteistojen toimintaan sekä PSK 6800 -standardiin. Laitteistosta kerättiin listaus, ja luokittelua varten muokattiin laitoksen piirteet huomioon ottava ja standardia soveltava taulukko, jonka avulla laitteet luokiteltiin A-, B- tai C-kriittisyysluokkaan. Laitteisto luokiteltiin yhdessä yrityksen henkilöstön kanssa, ja luokittelussa käytettiin kvalitatiivista tietoa perustuen henkilöstön kokemuksiin laitteistosta.

Tuloksena tuotettiin kolme standardia soveltavaa taulukkoa, jotka sisältävät laitoksen laitteiston jaoteltuina täyttölaitteistoon, nestekaasuosaprosessiin ja turvallisuusjärjestelmiin. Täyttölaitokselta luokiteltiin yhteensä 418 laitetta, joista 109 luokiteltiin korkeimpaan A-kriittisyysluokkaan, 92 luokiteltiin B-kriittisyysluokkaan ja 217 luokiteltiin C-kriittisyysluokkaan. Laitelistat ja niistä laaditut kriittisyysluokittelulistaukset on luokiteltu salassa pidettäviksi ja ne on poistettu julkisesta raportista.

Kriittisyysluokittelutaulukoita tulisi päivittää säännöllisin väliajoin tulevaisuudessa kriittisyysluokittelun luotettavuuden ylläpitämiseksi. Kunnossapitojärjestelmään tulisi viedä työssä kerätty laitehierarkiaa kuvaava listaus. Lisäksi kunnossapitojärjestelmään tulisi merkitä kaikki kunnossapitotyöt. Kvantitatiivisen tiedon myötä kriittisyysluokittelua voitaisiin tulevaisuudessa tarkentaa.

Asiasanat: kriittisyysluokittelu, kunnossapito, nestekaasu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct Engineering

MIETTINEN, VALTTER:
Criticality Classification of Equipment in an LPG Filling Plant

Bachelor's thesis 56 pages
November 2024

The thesis was conducted for Woikoski Oy's LPG filling plant in Pirkkala to develop a criticality classification of the plant's equipment. The classification results were aimed to be utilized as maintenance tool in the future. The purpose of the thesis was to create an appropriate method for analyzing and classifying the criticality of the equipment.

The study involved understanding the functioning of the filling plant's equipment and the PSK 6800 standard. A list of the equipment was compiled, and a table was developed to accommodate the plant's features while applying the standard. This table facilitated the classification of the equipment into A, B, or C criticality classes, based on the qualitative information derived from the personnel's experiences.

As a result, three tables were produced that applied the standard, categorizing the equipment into filling equipment, LPG subsystem process, and safety systems. A total of 418 devices were classified: 109 into the highest A class, 92 into B, and 217 into C. The classification lists have been marked confidential and removed from the public report.

The criticality classification tables should be updated regularly to maintain reliability, and all maintenance tasks should be documented in the maintenance system for future refinement.

Key words: criticality classification, LPG, maintenance

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	WOIKOSKI OY	7
3	Nestekaasu	8
	3.1 Nestekaasun yleisiä ominaisuuksia.....	8
	3.2 Nestekaasupullot.....	9
4	Pirkkalan nestekaasutäyttölaitos.....	11
	4.1 Toiminta täyttölaitoksella.....	11
	4.2 Nestekaasutäyttölinja.....	11
	4.2.1 Liukastettu ketjukuljetin	12
	4.2.2 Korinpurkujärjestelmä.....	13
	4.2.3 Karusellin sisäänsyöttöjärjestelmä.....	14
	4.2.4 Täyttökaruselli	16
	4.2.5 Karusellin ulostulojärjestelmä	18
	4.2.6 Vuodonhavaitsemisjärjestelmä	19
	4.2.7 Korinlastausjärjestelmä	20
	4.3 Säiliöt, pumput ja putkiston venttiilit	21
	4.3.1 Säiliöt.....	21
	4.3.2 Pumput.....	22
	4.3.3 Putkiston venttiilit.....	23
	4.4 Turvallisuusjärjestelmät.....	24
	4.4.1 Häätäseistoiminnot.....	24
	4.4.2 Palo- ja kaasujärjestelmät	25
5	KUNNOSSAPITO	28
	5.1 Kunnossapidon lajit.....	29
	5.1.1 Korjaava kunnossapito	29
	5.1.2 Ehkäisevä kunnossapito.....	30
	5.1.3 Parantaminen tai parantava kunnossapito	31
	5.2 Kriittisyysanalyysi kunnossapidossa	32
6	KRIITTISYYSANALYYSI PSK 6800 MUKAAN	33
	6.1 Yleistä	33
	6.2 Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen	33
	6.3 Laitteiden kriittisyysindeksin laskeminen.....	35
7	Työn toteutusvaihe.....	38
	7.1 Aloitus	38
	7.2 Laitelistojen kerääminen	38
	7.3 Standardin soveltaminen laitokselle	39

7.4 Taulukon toteutus.....	42
7.5 Kriittisyysluokitteluidunnot	43
8 Tulokset	44
8.1 Laitteiston kriittisyysluokittelu kokonaisuudessaan.....	44
8.2 Täyttölaitteiston kriittisyysluokittelu	45
8.3 Nestekaasuosaprosessin kriittisyysluokittelu	47
8.4 Turvallisuusjärjestelmien kriittisyysluokittelu	49
9 POHDINTA	52
LÄHTEET	54

1 JOHDANTO

Kriittisyysluokittelu on hyödyllinen työkalu teollisuudessa, jossa laitteiden luotettavuus ja turvallisuus ovat ensiarvoisen tärkeitä. Teollisuudessa laitteiden vikaantumiset voivat aiheuttaa merkittäviä riskejä niin tuotannon jatkuvuudelle, turvallisuudelle kuin ympäristöllekin. Monilla yrityksillä on haasteita rajallisten kunnossapitoresurssien käytön priorisoinnissa, mikä voi johtaa tehokkuuden ja turvallisuuden heikkenemiseen. Kriittisyysluokittelun avulla voidaan ohjata näiden rajallisten resurssien käyttöä systemaattisella lähestymistavalla, jolloin varmistetaan, että kunnossapito kohdistuu ensisijaisesti niihin laitteisiin, joilla on suurin vaikutus tuotannon jatkuvuuteen ja turvallisuuteen.

Woikoski Oy:n nestekaasutäyttölaitoksella rajallisten kunnossapitoresurssien kohdentaminen oikein on erityisen tärkeää, sillä laitoksen toiminnan luonteeseen liittyy korkeat vaatimukset sekä tuotannon jatkuvuuden että turvallisuuden suhteen. Yritys panostaa jatkuvaan kehitykseen ja pyrkii jatkuvasti parantamaan prosessejaan toimintavarmuuden ja tehokkuuden lisäämiseksi.

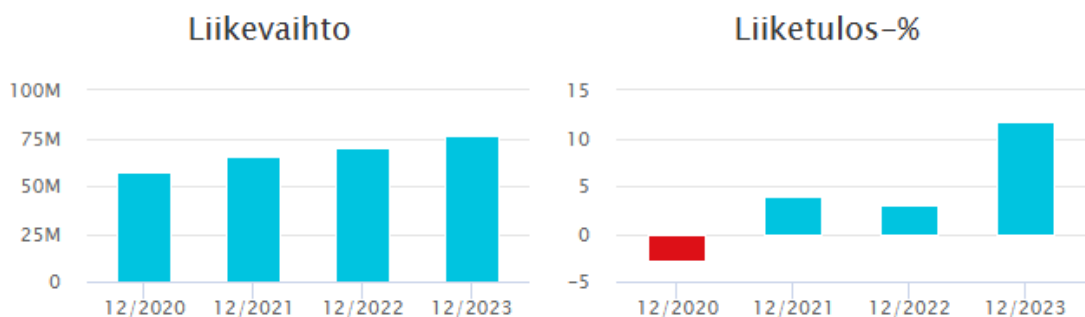
Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua toimeksiantajan Pirkkalassa sijaitsevan nestekaasutäyttölaitoksen laitteistoon ja PSK 6800 -standardiin. Työn tarkoituksena on kehittää nestekaasutäyttölaitoksen laitteiston kriittisyysluokittelu kriittisyysanalyysin perusteella. Kriittisyysanalyysi toteutetaan standardin tarjoamien suuntaviivojen mukaisesti, mikä takaa luotettavan ja johdonmukaisen arviointiprosessin. Työn rajaus sisältää täyttölaitteiston, nestekaasusäiliöt, pumput, putkistojen laitteet sekä kaikki niihin liittyvät turvallisuusjärjestelmät. Kriittisyysluokittelun ulkopuolelle on rajattu paineilmakäyttöhyödykeprosessi sekä itse nestekaasuputkisto, sillä yrityksellä on omat käytäntönsä niiden kriittisyyden arvioimiseksi.

2 WOIKOSKI OY

Woikoski on suomalainen perheyritys, joka työllistää yli 220 henkilöä ja on toiminut jo yli 140 vuotta. Yritys sai alkunsa vuonna 1882, kun insinööri Knut August Palmberg perusti kimrööki- eli nokimustatehtaan Vehkalahden Koivuniemeen. (Woikoski .n.d.a.)

Woikoski Oy, perustettu vuonna 1978, toimii teollisuuskaasujen valmistuksen alalla. Vuonna 2023 yrityksen liikevaihto oli 76,8 miljoonaa euroa, ja liiketulos oli 7,1 miljoonaa euroa, mikä toi nettotulosprosentiksi 9,19 %. Yrityksen liikevaihto on ollut tasaisessa nousussa viime vuosina ja liiketulos-% näyttää myös kehittyvän oikeaan suuntaan (kuvio 1). Woikoski toimii monipuolisesti kemiallisen teollisuuden, kaasujen, laitteistojen ja energia-alan kehittämisen sekä kiinteistö- ja sijoitustoiminnan parissa. (Kauppalehti. n.d.)

Woikoski Oy



KUVIO 1. Woikoski Oy:n Liikevaihto ja -tulos-% 2020–2023 (Kauppalehti n.d.).

3 Nestekaasu

3.1 Nestekaasun yleisiä ominaisuuksia

Nestekaasu eli LPG (liquefied petroleum gas) on pääasiassa propaanin ja butaanin seos. Yleisimmät nestekaasun komponentit ovat propaani (C_3H_8), propeeni (C_3H_6), butaani (C_4H_{10}) ja buteeni (C_4H_8). Nestekaasu on kaupallinen tuote, jossa saattaa olla myös pieniä määriä muita hiilivetyjä. Nestemäisenä LPG on väritöntä, eikä kaasumuodossa olevaa nestekaasua voi nähdä paljaalla silmällä. Puhdas nestekaasu on hajutonta, joten siihen lisätään turvallisuussyistä hajustetta, yleensä merkaptania, jonka avulla kaasu voidaan havaita jo erittäin alhaisissa pitoisuuksissa. (Parkash 2010.)

Nestekaasu on kaasumaisessa muodossa normaalissa ilmakehän paineessa ja lämpötilassa. Se on kuitenkin helposti nesteytettävissä kohtalaisella paineella normaaleissa lämpötiloissa. Tämä ominaisuus antaa nestekaasulle etuja verrattuna maakaasuun, joka nesteytyy vasta hyvin alhaisessa lämpötilassa ja korkeassa paineessa. Nestemäisenä nestekaasu on noin 250 kertaa tiheämpää kuin kaasumaisessa muodossa, joka mahdollistaa suuren määrän varastoinnin suhteellisen pieneen tilaan. (Parkash 2010.)

Kokoon puristettuna nestekaasu voidaan helposti varastoida ja kuljettaa nestemäisessä muodossa. Nestekaasut ovat ilmaa raskaampia; propaanin tiheys on noin 1,56-kertainen ja butaanin 2,1-kertainen ilmaan verrattuna. Tämä tarkoittaa, että ne voivat kerääntyä matalille alueille, mikä on huomioitava turvallisuussuunnittelussa. (Neste n.d.)

Nestekaasu on monikäyttöinen energialähde, jota käytetään laajasti sekä kotitalouksissa että teollisuudessa. Kotitalouksissa nestekaasu soveltuu ruoanlaittoon, lämmitykseen ja moniin kodinkoneisiin, kun taas teollisuudessa sitä hyödynnetään uunien, polttouunien ja muiden laitteiden energianlähteenä. Lisäksi LPG on yleistynyt ajoneuvojen polttoaineena taloudellisuutensa ja puhtaiden päästöjensä ansiosta. Kehittyvissä maissa LPG tarjoaa puhtaamman vaihtoehdon kotitalouksien perinteisille energianlähteille, kuten puulle ja hiilelle. (Parkash 2010.)

3.2 Nestekaasupullot

Nestekaasupulloja on saatavilla eri kokoisina ja eri venttiilityypeillä, jotta ne sopivat erilaisiin käyttötarkoituksiin (kuva 1). Pullojen tunnistaminen onnistuu värin, venttiilityypin, kaulaosan merkintöjen ja stanssausten avulla, mikä auttaa varmistamaan oikeanlaisen ja turvallisen tuotteen valinnan. (Tukes .n.d.)



KUVA 1. Erilaisia nestekaasupulloja (Woikoski).

Woikoskella on monipuolinen valikoima nestekaasupulloja eri käyttötarkoituksiin. Tarjolla on erikokoisia pulloja, jotka on valmistettu eri materiaaleista, kuten teräksestä, alumiinista ja komposiitista. Nestekaasupullot ovat saatavilla useissa eri kokoluokissa, alkaen pienistä 2 kg pulloista aina suuriin 190 kg maxi-pulloihin saakka. Venttiilityyppejä on saatavilla sekä painoventtiileinä (PV) että kierreventtiileinä (KV), jotta voidaan varmistaa oikeanlainen ratkaisu kaikkiin tarpeisiin. Woikosken tarjomat pullotyytit on lueteltuna taulukossa 1. (Woikoski .n.d.b.)

TAULUKKO 1. Woikosken tarjoamat nestekaasupullot (Woikoski .n.d.b.).

Tuotetyyppi	Materiaali	Venttiilityyppi
Moottorikaasu 10 kg	Komposiitti	KV
Moottorikaasu 11 kg	Alumiini	KV
Moottorikaasu 11 kg	Teräs	KV
Nestekaasu 10 kg	Komposiitti	PV
Nestekaasu 11 kg	Teräs	KV
Nestekaasu 11 kg	Teräs	PV
Nestekaasu 190 kg	Teräs	KV
Nestekaasu 2 kg	Teräs	PV
Nestekaasu 33 kg	Teräs	KV
Nestekaasu 5 kg	Komposiitti	PV
Nestekaasu 5 kg	Teräs	PV

4 Pirkkalan nestekaasutäyttölaitos

4.1 Toiminta täyttölaitoksella

Pirkkalan nestekaasutäyttölaitos on valmistunut vuonna 2013 Pirkkalan teollisuusalueelle. Nestekaasutäytön lisäksi laitoksella on sijainnut hajuhappitäyttö, joka on ollut poissa käytöstä toistaiseksi vuodesta 2021. Laitoksella sijaitsee myös aikaisemmin myyntipiste, joka suljettiin myöhemmin laitoksen tuotannon laajentuessa turvallisuus- ja käytännöllisyysistä. (Suominen 2024.)

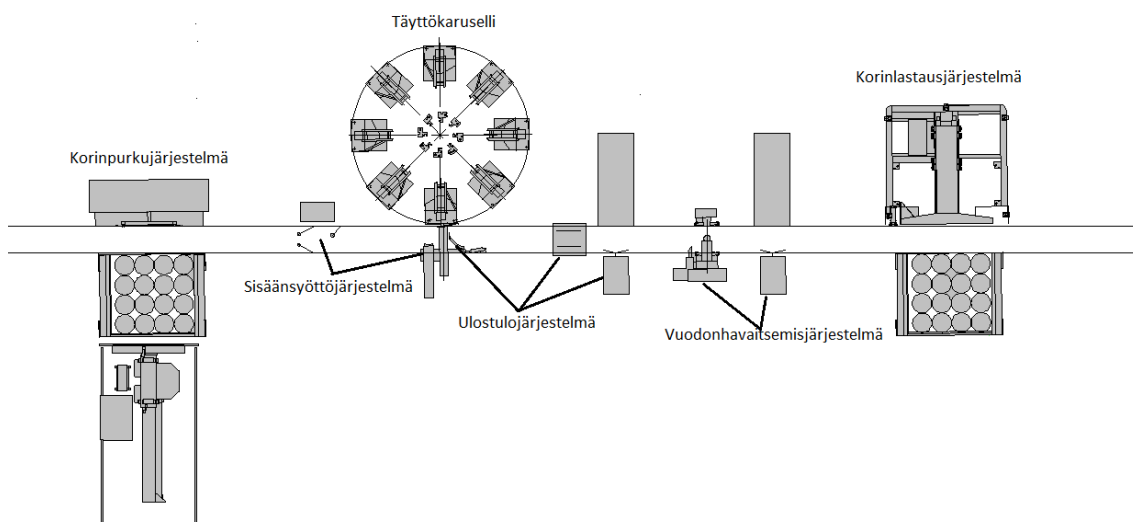
Laitoksen nestekaasutäyttötoiminta koostuu täyttöhallista, jossa sijaitsee kaikki nestekaasupullojen täyttöön tarvittava laitteisto. Hallista sopivan varoetäisyyden päässä on pumppaamo, jonka yhteydessä nestekaasua säilötään kahdessa maapeitteisessä varastosäiliössä. Pumppaamon vieressä sijaitsee purkualue, jossa nestekaasurekoilla kuljetettu nestekaasu siirretään varastosäiliöihin nestekaasupurkulinjaja pitkin. Pumppaamossa sijaitsevilla pumpuilla nestekaasu siirretään maan alla kulkevia nestekaasuputkistoja pitkin säiliöistä täyttöhalliin täyttölaitteistolle. (Suominen 2024.)

4.2 Nestekaasutäyttölinja

Nestekaasutäyttölinjan on suunnitellut Kosan Crisplant, joka nykyisemmin tunnetaan nimellä MAKEEN gas solutions vuonna 2022 tapahtuneen nimen muutoksen jälkeen. MAKEEN gas solutions jatkaa entiseen tapaansa palvelun ja varaosien tarjoamista täyttölinjastolle. Täyttölinjastoa ajetaan normaalisti yhdessä vuorossa ja tuotannon määrä on vuodessa noin 250 000 nestekaasupulloa. (Suominen 2024.)

Nestekaasutäyttölinjasto kykenee täyttämään erikokoisia ja rakenteisia kierre- ja painoventtiilipulloja. Nestekaasutäyttölinjasto koostuu ketjukuljettimesta, korinpurkujärjestelmästä, karusellin sisäänsyöttöjärjestelmästä, täyttökarusellista, karusellin ulostulojärjestelmästä, vuodonhavaitsemisjärjestelmästä ja korinlastaus-

järjestelmästä. Näiden lisäksi vuodonhavaitsemisjärjestelmän ja korinlastausjärjestelmän välissä on manuaalinen korkituspiste. (Suominen 2024.) Nestekaasutäyttölinjan rakennetta on havainnollistettu kuviossa 2, kuvion mittasuhteet eivät ole todenmukaisia ja siihen on piirretty vain tärkeimmät osat joka kokonaisuudesta.



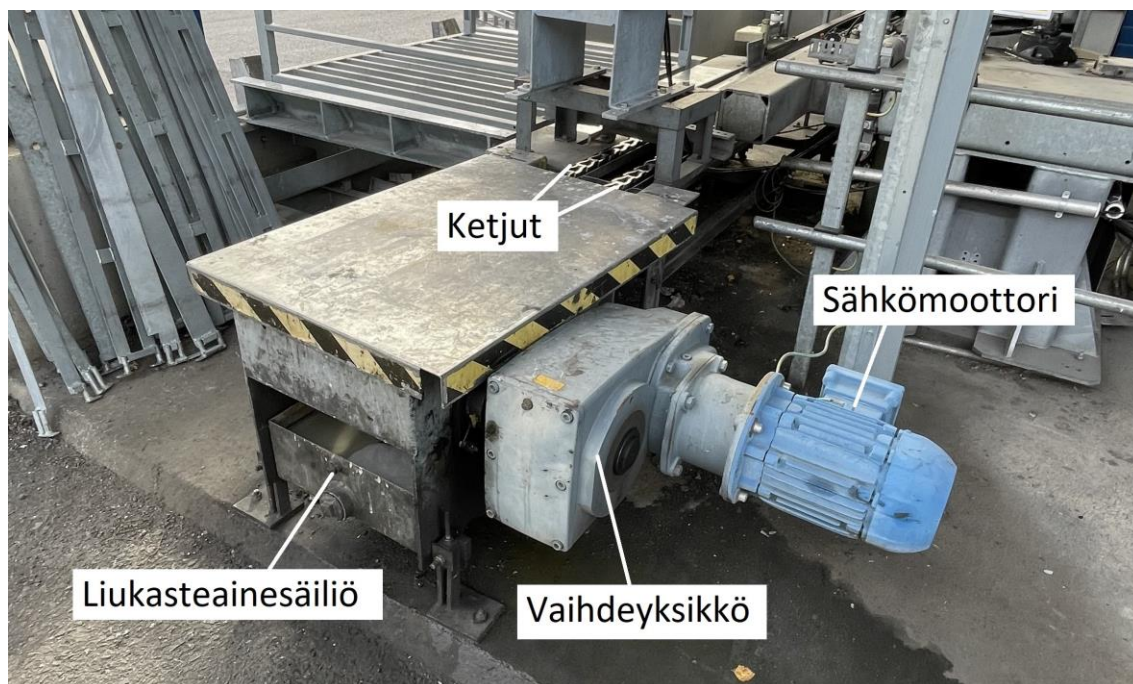
KUVIO 2. Nestekaasutäyttölinjaston rakenne.

Laitoksella on nestekaasulinjaston lisäksi kaksi manuaalista kierreventtiilipullojen täyttöasemaa, yksi manuaalinen painoventtiilitäyttövaaka sekä kaasupullojen tyhjennysjärjestelmä. Näitä asemia käytetään vaihtelevasti prosessin ali- ja ylitäytettyjen pullojen täyttämiseen ja tyhjentämiseen sekä sellaisten pullojen täyttämiseen, joita ei voida käsitellä linjastolla, kuten 190 kg ja 2 kg nestekaasupullot. (Suominen 2024.)

4.2.1 Liukastettu ketjukuljetin

Nestekaasutäyttölinjaston läpi kulkeva kaksiketjuinen ketjukuljetin vastaa kaasupullojen siirtämisestä prosessin vaiheesta toiseen. Kuljetin saa liike-energiansa sähkömoottorista, jonka tuottama vääntö välitetään ketjuihin vaihdeyksikön ja ketjupyörien avulla. Tämä mahdollistaa tasaisen ja hallitun liikkeen kuljettimessa, jolloin pullot liikkuvat sujuvasti koko täyttöprosessin läpi. (Kosan Crisplant 2012a.)

Ketjun liukuvuutta ja toimintavarmuutta ylläpidetään liukasteaineen avulla, jota siirretään ketjuun kuljettimen molemmissa päissä sijaitsevista säiliöistä. Ketju kulkee näiden säiliöiden läpi, jolloin liukaste leviää tasaisesti ketjun pintaan. Tämä auttaa vähentämään kitkaa ja varmistaa sujuvan liikkeen, mikä vähentää kulumista ja lisää kuljettimen käyttöikä. (Kosan Crisplant 2012a.) Ketjukuljettimen ajopää on esitelty kuvassa 2.



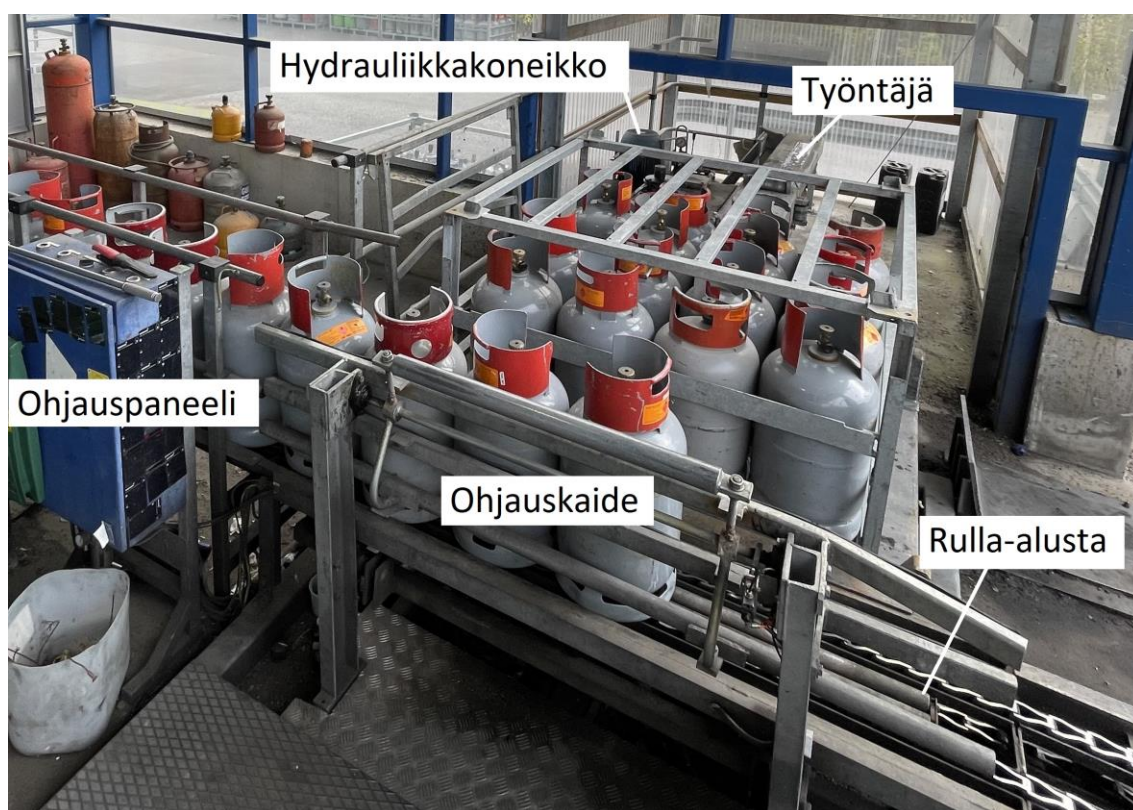
KUVA 2. Ketjukuljettimen ajopää (Valtter Miettinen 2024).

4.2.2 Korinpurkujärjestelmä

Korinpurkujärjestelmä tehtävänä on siirtää tyhjä nestekaasupullot nestekaasupullokoreista ketjukuljettimelle. Korinpurkujärjestelmää ohjaa täysin pneumaattinen ohjauspaneeli. Työntäjää voidaan ohjata joko manuaalisesti tai automaattisesti ohjauslaatikolta. (Kosan Crisplant 2012d.)

Automaattitilassa työntäjän hydraulikkakoneikko ja ketjukuljettimen alla sijaitseva rulla-alusta saavat pneumaattisen ohjaussignaalin ohjauslaatikolta, kun linjaston ohjauskaide on kallistuneessa asennossa. Hydraulikkakoneikko ohjaa sen tuottaman hydraulisen voiman työntäjän hydraulikkamoottorille ja rulla-alusta

nostaa rullia ketjujen yläpuolelle ohjaamaan pulloja tasaisesti kuljettimelle. Kun työntäjä työntää pullot ketjukuljettimelle, pullot työntävät ohjauskaiteen pystyasentoon. Tämä katkaisee pneumaattisen ohjaussignaalin, joka pysäyttää työntäjän ja laskee rulla-alustan. Kun pullot ovat ohittaneet kaiteen, se palaa painovoiman vaikutuksesta vaakasuoraan asentoon, mikä vapauttaa pneumaattisen signaalin uudelleen. Viimeisen pullorivin työntämisen jälkeen työntäjä palaa alkiasentoonsa pneumaattisten rajakytkimien avulla. (Kosan Crisplant 2012d.) Korinpurkujärjestelmä ja sen pääosat ovat esitelty kuvassa 3.



KUVA 3. Korinpurkujärjestelmä (Valtter Miettinen 2024).

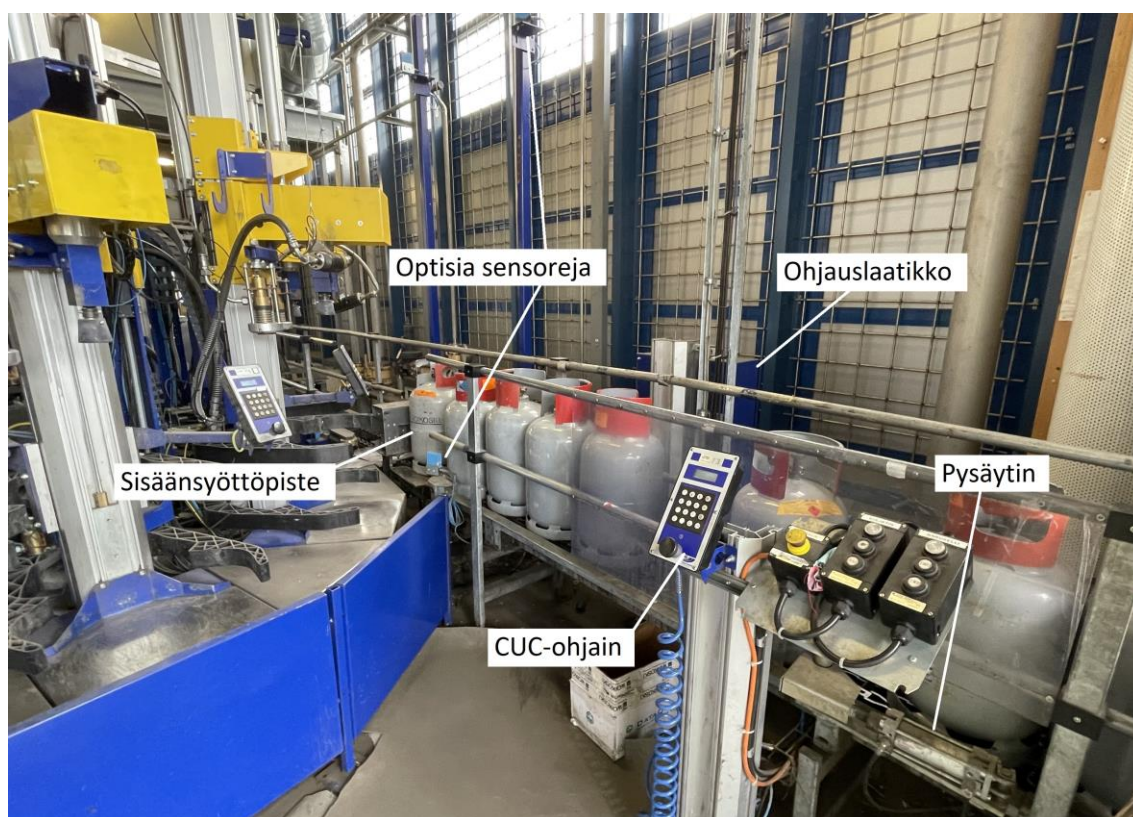
4.2.3 Karusellin sisäänsyöttöjärjestelmä

Karusellin sisäänsyöttöjärjestelmän tehtävä on siirtää kaasupullot ja niiden taara-arvot karusellille oikea-aikaisesti ja turvallisesti. Järjestelmää ohjaa CUC-ohjain (Crisplant universal controller), joka jakaa pneumaattisia ohjaussignaaleja järjestelmän laitteille ja vastaanottaa signaaleja järjestelmän sensoreilta ohjauslaatikon kautta. (Kosan Crisplant 2012e.) CUC-ohjain on ohjelmoitava logiikkaohjain ja

ihmisen ja koneen välinen käyttöliittymä. Se toimii automaattisena ohjaus- ja valvontayksikkönä kaikille sähköisille järjestelmille nestekaasutäyttöprosessissa. (Makeen .n.d.)

Pneumaattiset pysäyttimet kontrolloivat pullojen kerääntymistä ja kulkemista taaransyöttöpisteelle, jonossa ja sisäänsyöttöpisteelle optisten sensoreiden avulla. Pullon saapuessa taaransyöttöpisteelle pysäytin pysäyttää pullon ja sen taara syötetään CUC-ohjaimen. Pullo jatkaa matkaansa jonossa, kunnes se kulkeutuu sisäänsyöttöpisteelle, josta pneumaattinen työntäjä syöttää sen tangentiaalisesti karuselliin. Sisäänsyöttö tapahtuu, vain jos optiset sensorit havaitsevat pullon olevan sisäänsyöttöpisteellä, täyttökoneen peilin olevan ylhäällä ja vaa'an olevan tyhjä. (Kosan Crisplant 2012e.)

CUC-ohjain saa tietoa karusellin asennosta ja syötettävästä täyttövaa'asta karusellin alla sijaitsevien tunnistelaattojen avulla, joita luetaan valokuitusensoreille. Valokuitusensoreilta saadut signaalit auttavat varmistamaan oikean aikaisen pullon syötön ja tiedon siirron karusellille. (Kosan Crisplan. 2012e.) Sisäänsyöttö järjestelmä on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Sisäänsyöttöjärjestelmä (Valtter Miettinen 2024).

4.2.4 Täyttökaruselli

Karuselli on termi, jota käytetään kuvaamaan ympyrän muotoista pyörivää alustaa, johon voidaan asentaa täyttökoneita nestekaasun täyttöä varten. Pirkkalan täyttölaitoksella asennettujen täyttökoneiden määrä karusellissa on 8. Jokaisen täyttökoneen kulkevan ympyrän muotoisen reitin johdosta automaattiset syöttö- ja ulostuloyksiköt voivat siirtää nestekaasupulloja ketjukuljettimen ja koko asennetun täyttökonejoukon välillä. Jokaiselle täyttökoneelle tuodaan oma paineilmasto, nestekaasu- ja sähkösyöttö karusellin keskikolumnin kautta, joka mahdollistaa yksittäisen täyttökoneen väliaikaisen alasajon vaikuttamatta muiden täyttökoneiden toimintaan. (Kosan Crisplant 2012h.)

Karusellin ajoyksikkö tuottaa tarvittavan vääntömomentin, jolla karusellialusta ja siihen asennetut täyttöjärjestelmät saadaan pyörimään. Ajoyksikkö hyödyntää hydraulikkakoneikolla tuotettua hydraulista voimaa pyörittämään hydraulikkamootoria, jonka momentti siirretään ketjupyörien ja kiilahihnojen kautta karuselliin. (Kosan Crisplant 2012h.)

Universaali täyttökone (Universal Filling Machine) on itsenäinen yksikkö karusellissa, joka on suunniteltu turvalliseen nestekaasupullojen täyttöön. Laite on varustettu automaattisella täyttöyhteellä painoventtiilejä varten (PV-täyttöyhde), puoliautomaattisella täyttöyhteellä kierreventtiileille (KV-täyttöyhde) ja täysin automaattisella kierreventtiilin avaajalla/sulkijalla (KV-avaaja). (Kosan Crisplant 2012g.) Karusellin asennettu UFM on esitetty kuvassa 5.

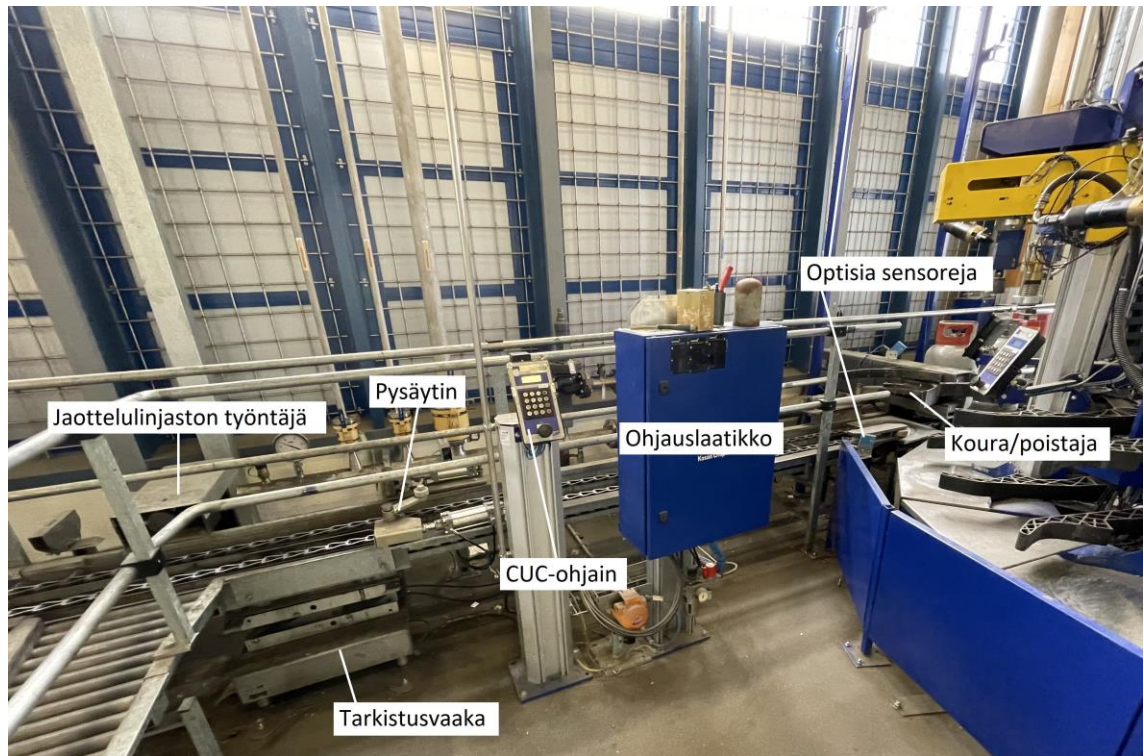


KUVA 5. Karuselliin asennettu UFM (Valtter Miettinen 2024).

CUC-ohjain ohjaa täyttökoneen toimintaa ja paineilman jakelua sen lukuisille pneumaattisille mekanismeille ohjauslaatikon kautta. Pullo syötetään karuselliin UFM:n vaa'an päälle, painoventtiilien tapauksessa CUC-ohjain käynnistää täyttöprosessin aktivoimalla pneumaattisen keskitusyksikön sen havaitessa vaa'alle asetetun pullon painon. Keskitusyksikkö varmistaa pullon olevan täysin vaa'an keskellä, automaattinen painoventtiilitäyttöyhde laskeutuu pullon päälle ja aloittaa pullon täytön. Täytön alkaessa täyttökoneen päällä oleva peili laskeutuu, jotta karusellin ulostulojärjestelmän koura ei aktivoidu täytön ollessa käynnissä. Pullon saavuttaessa halutun täyttömäärän gas stop-venttiili pysäyttää kaasunsyötön, keskitusyksikkö vapauttaa pullon ja peili nousee takaisin yläasentoon. (Kosan Crisplant 2012g.)

4.2.5 Karusellin ulostulojärjestelmä

Ulostulojärjestelmän tehtävä on siirtää täytetyt nestekaasupullot karusellista ketjukuljettimelle ja jaotella yli- ja alitäytetyt pullot jaottelulinjastolle. Järjestelmää ohjaa CUC-ohjain, joka jakaa pneumaattisia ohjaussignaaleja järjestelmän laitteille ja vastaanottaa signaaleja järjestelmän sensoreilta ohjauslaatikon kautta. (Kosan Crisplant 2012e.) Ulostulojärjestelmä on kuvattuna kuvassa 6.



KUVA 6. Ulostulojärjestelmä (Valtter Miettinen 2024).

Pneumaattinen koura aktivoituu ja vetää täytetyn pullon linjastolle, kun optiset sensorit havaitsevat pullon olevan täyttökoneessa ja täytön olevan valmis UFM:n päällä sijaitsevan peilin avulla. Kouran aktivoituessa samaan aikaan aktivoituu myös kouran rakenteeseen liitetty pullon poistaja, joka työntää aikaisempaa poistettua pulloa eteenpäin linjalla varmistaakseen poistopisteen olevan tyhjä. Sisäänsyöttöjärjestelmän tapaan ajoitusta ja tiedon siirtoa ohjaa karusellin alla oleva valokuitusensori pari, jotka lukevat vaakojen tunnistelaattoja. (Kosan Crisplant. 2012e.)

Pullon siirryttyä linjastolle, se etenee pysäyttimelle, joka ohjaa pullojen kulkeutumista tarkistusvaa'alle. Pullo päästetään kulkeutumaan tarkistusvaa'an päälle

sen ollessa vapaa, ja pneumatiikalla toimiva nostopöytä nostaa pullon tarkistettavaksi. Jos pullon paino eroaa CUC-ohjaimen karusellilta saamasta tiedosta, pullo ohjataan vaa'an jälkeisellä työntäjällä jaottelulinjalle: muuten se jatkaa matkaansa linjastolla. (Kosan Crisplant 2012e.)

4.2.6 Vuodonhavaitsemisjärjestelmä

Vuodonhavaitsemisjärjestelmän tehtävä on havaita kaasua vuotavat pullot ja jaotella ne jaottelulinjastolle. Vuodonhavaitsemisensoripään toiminta perustuu infrapunateknologiaan, joka havaitsee kaasun määrän perustuen infrapunasäteilyn absorptiomäärään kaasun konsentraation seurauksena. Kokonaisuutta ohjaa CUC-ohjain, joka jakaa pneumaattisia ohjaussignaaleja järjestelmän laitteille ja vastaanottaa signaaleja järjestelmän sensoreilta ohjauslaatikon kautta. (Kosan Crisplant 2012f.) Vuodonhavaitsemisjärjestelmä on esitetty kuvassa 7.

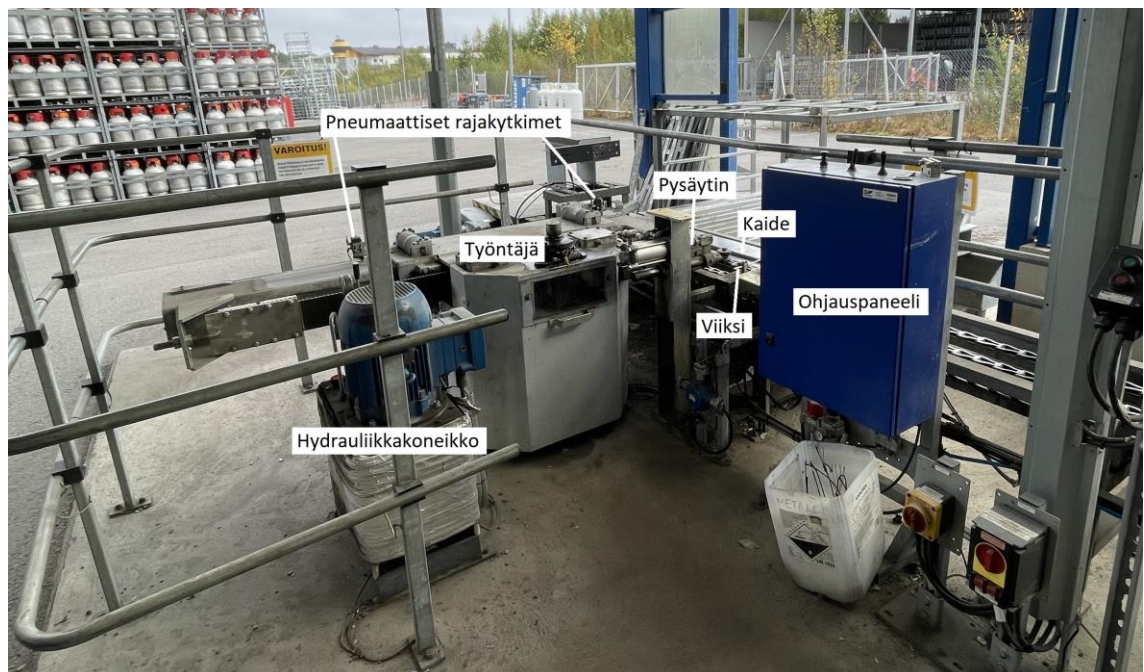


KUVA 7. Vuodonhavaitsemisjärjestelmä (Valtter Miettinen 2024).

Pullo kulkeutuu linjalla vuodohvaitsemisjärjestelmän eteen, jossa pysäyttimet ohjaavat pullojen kulkua laitteelle. Kun vuodohvaitsemisjärjestelmä on vapaa, pysäyttimet päästävät pullon läpi vuodohvaitseijalle. Vuodohvaitseijassa aktivoituvat pneumaattiset keskitys- ja nostoyksiköt, jotka keskittävät pullon suoraan vuodohvaitsemissensoripään alle ja nostavat sen ketjukuljettimelta ilmaan. Vuodohvaitsemissensoripään laskeutuu pneumaattisella sylinterillä pullon venttiin päälle ja suorittaa mittauksen. Vuodohvaitseijan jälkeen sijaitsee linjaston toinen jaottelulinja, jonne sensorin raja-arvot ylittävät pullo ohjataan pneumaattisella työntäjällä ja raja-arvot alittavat pullojatkatavat matkaansa linjastolla korkituspisteelle. (Kosan Crisplant 2012f.)

4.2.7 Korinlastausjärjestelmä

Korinlastausjärjestelmän tehtävä on lastata täytettyjä nestekaasupulloja pullokoreihin neljän pullon riveissä. Korinlastausjärjestelmää ohjaa täysin pneumaattinen ohjauspaneeli. (Kosan Crisplant 2012c.) Korinlastausjärjestelmä on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Korinlastausjärjestelmä (Valtter Miettinen 2024).

Pullojen kulkiessa linjalla ne kulkevat pneumaattisen viiksen ohi, joka lähettää signaalin kontrollipaneelille. Kun neljä pulloa on ohittanut viiksen, ohjauspaneeli aktivoi paineilmaohjauksella pysäyttimen estämään ylimääräisten pullojen liikkumisen viiksen ohi työntäjän eteen. Tämän jälkeen ohjauspaneeli laskee pneumaattisesti ohjatun kaiteen, joka estää pulloja ajautumasta pois linjastolta niiden kääntyessä työntäjän eteen. Samaan aikaan ohjauspaneeli lähettää pneumaattisen ohjaussignaalin työntäjän hydrauliiikkakoneikon ohjaukseen, joka ohjaa sen tuottaman hydrauliikkavoiman työntäjän hydrauliikkamoottorille. Hydrauliikkamoottorille ohjattu voima ohjaa työntäjän puskemaan neljän pullon rivin koriin. Jokaisen rivin työntämisen jälkeen työntäjä palaa alkuasentoonsa siihen asennettujen pneumaattisten rajakytkimien avulla. (Kosan Crisplant 2012c.)

4.3 Säiliöt, pumput ja putkiston venttiilit

4.3.1 Säiliöt

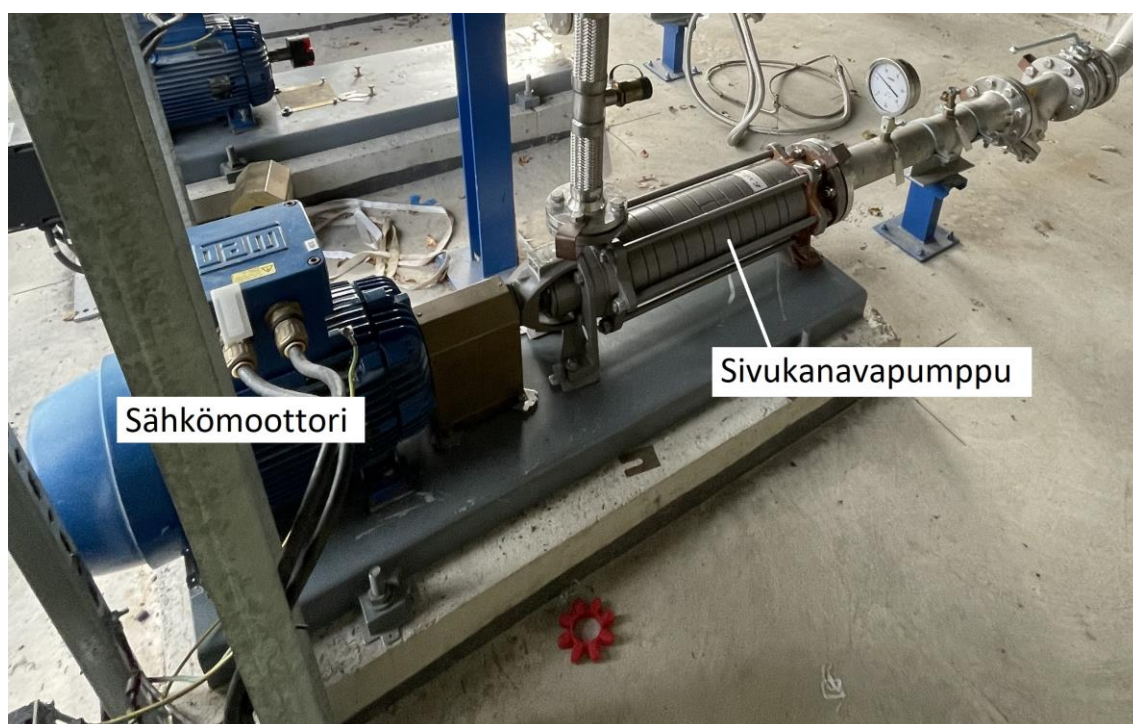
Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksella nestekaasua säilötään kahdessa maapeitteisessä nestekaasusäiliössä (Woikoski 2021.). Maapeitteiset nestekaasusäiliöt ovat vaakasuuntaisia paineastioita, jotka on suunniteltu nestekaasun varastointiin ympäristön lämpötilassa. Näissä varastointijärjestelmissä tankit peitetään maan tai muun sopivan materiaalin kerroksella, mikä tarjoaa paremman suojan esimerkiksi tulipalolta, säteilyltä ja ilkivallalta verrattuna perinteisiin menetelmiin. Lisäksi maapeite vähentää visuaalista vaikutusta ja suojaa tankkia ulkoisilta iskuilta. Maapeitteiset nestekaasusäiliöt vaativat vähemmän tilaa ja pienemmät turvaetäisyydet muihin kohteisiin, mikä tekee niistä tilatehokkaan vaihtoehdon nestekaasun varastoinnille. (Mishael & Shenoï 2015, 1.)

Säiliöissä on oltava useita mittalaitteita, jotka osoittavat suurimman sallitun täyttömäärän, nestepinnan korkeuden ja paineen (Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista 2012/858.). Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksen säiliöt on varusteltu pintatieto-, lämpötila- ja painelähettimillä, jotka ovat kytketty etävalvontajärjestelmiin. (Woikoski 2021.)

Varoventtiilit ovat kriittisiä turvallisuuskomponentteja, sillä ne suojaavat säiliötä ylipaineelta. Niiden ulospuhalluksen yläpään on ulotuttava vähintään kolme metriä maasta ja 1,5 metriä säiliön yläpinnasta, jotta kaasu pääsee purkautumaan turvallisesti. (Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksesta 2012/858.) Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksen nestekaasusäiliöihin on asennettu molempiin säiliöihin kaksi kappaletta varoventtiilejä, jotka täyttävät lakisääteiset vaatimukset. (Woikoski 2021.)

4.3.2 Pumput

Säiliöistä nestekaasu pumpataan täyttölaitteistolle sivukanavapumpulla (kuva 9). Vaikka pumppuja tarvitaan vain yksi, laitoksella on kaksi pumppua niiden toiminnan tärkeyden vuoksi. Tämä järjestely parantaa toimintavarmuutta, sillä toisen pumppun mahdollinen huolto tai vikaantuminen ei estä prosessin jatkuvuutta. Pumpun momentti tuotetaan erillisellä sähkömoottorilla. (Suominen 2024.)



KUVA 9. Pumppujärjestelmä (Valtter Miettinen 2024).

Sivukanavapumput ovat hyödyllisiä nestekaasun pumppauksessa, sillä ne pystyvät käsittelemään jopa 50 % kaasua sisältäviä seoksia ilman toimintakatkoksia tai vaurioita. Niiden kyky tuottaa korkeita paineita pienillä virtausmäärillä tekee

niistä tehokkaan vaihtoehdon nestekaasun siirtoon ja varastosäiliöiden tyhjentämiseen. Pumput ovat myös vähemmän alltiita kavitaatiolle. (Michael Smith Engineers n.d.)

4.3.3 Putkiston venttiilit

Nestekaasuputkisto tulee varustaa käytön, huollon ja turvallisuuden varmistamiseksi sopivilla sulkuventtiileillä. Sulkuventtiilien avulla voidaan nestekaasun tulo katkaista helposti kuhunkin käyttökohteeseen, mikä parantaa käyttöturvallisuutta ja mahdollistaa huoltotoimenpiteiden suorittamisen. (Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista 2012/858.) Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksella sulkuventtiileitä on asennettu noin 30 kappaletta putkiston eri osiin. Sulkuventtiileinä on käytetty palloventtiileitä. (Woikoski 2021.) Palloventtiilit sopivat erinomaisesti sulkuventtiileiksi, sillä ne mahdollistavat yksinkertaisen ja nopean avaus- ja sulkutoiminnon. Niitä käytetään sekä nestemäisten että kaasumaisten aineiden virtauksen katkaisuun, kunhan aine ei ole hankaavaa. (Skou-sen 2011.)

Kun kaasuputkiston sisältämä kaasumäärä on huomattava, tulee putkisto varustaa tyhjennyslaitteilla, joiden avulla putkisto voidaan tyhjentää turvallisesti ulkoilmaan tai muuhun turvalliseen paikkaan (Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista 2012/858). Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksen putkiston osuuksiin on asennettu tähän tarkoitukseen tyhjennysventtiilejä. (Woikoski 2021.)

Nestekaasun paineensäätö hoidetaan käyttötarkoitukseen sopivilla laitteilla, jotka rajoittavat ja säätelevät painetta. Paineensäätölaitteet on varustettava ohjaus-, säätö- ja varolaitteilla, jotka estävät kaasun paineen nousemisen putkiston suurimman sallitun käyttöpaineen yli. Lisäksi varolaittevaatimukset kasvavat kaasun tulopaineen noustessa, ja erityisesti nestemäistä kaasua sisältävät putkiosuudet on varustettava varoventtiilillä. (Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista 2012/858.) Laitoksen putkiston varoventtiilit on sijoitettu laajalti putkistoon siten, että jokainen eristettävissä oleva osuus sulkuventtiilien välillä on suojattu ylipaineelta. Tämä varmistaa, että putkiston paine ei pääse

nousemaan yli turvallisten rajojen suljetuissa osioissa. Näiden lisäksi täyttöhallissa on myös manuaalinen paineensäätöventtiili, jolla säädetään täyttölaitteistolle tulevan nestekaasun painetta. (Woikoski 2021.)

Putkiston kriittisimpiin osiin on myös asennettu hätäsulkuventtiilejä. Hätäsulkuventtiilit ovat osa laitoksen turva-automaatiojärjestelmää. (Woikoski 2021) Näiden venttiilien tehtävänä on sulkea kaasun virtaus nopeasti ja siirtää laitos turvalliseen tilaan, kun mahdollinen vaara havaitaan. Hätäsulkuventtiilit ovat keskeinen osa turvallisuusjärjestelmiä ja kuuluvat usein turva-automaatiojärjestelmiin, joiden tavoitteena on suojata prosessilaitokset automaattisesti vaarallisilta tilanteilta. (Cameron, Lewis, Montalvão & Herfatmanesh 2023, 613.)

Turva-automaatiojärjestelmien toimintaa säännellään standardin IEC-61511 mukaisesti, ja hätäsulkuventtiileille on asetettu vaatimuksia, kuten säännölliset testit sulkeutumisaikojen tarkistamiseksi. Testauksen tavoitteena on varmistaa, että venttiilit toimivat suunnitellusti ja sulkeutuvat nopeasti vaaran ilmetessä. Jos testissä ilmenee puutteita, hätäsulkuventtiilin suorituskykyä on arvioitava uudelleen, ja mahdolliset vikaantumiset voivat johtaa tuotannon keskeytymiseen, kunnes venttiili saadaan takaisin toimintakuntoon. (Cameron ym. 2023, 613.)

4.4 Turvallisuusjärjestelmät

4.4.1 Hätäseistoiminnot

Hätäpysäytystoiminto on keskeinen turvatoimi, jonka tarkoituksena on estää vaaratilanteita, jotka voivat syntyä esimerkiksi ihmisten toiminnasta tai odottamattomista tapahtumista. Toiminto aktivoituu yhdellä, yksinkertaisella käyttäjän toimenpiteellä ja sen on oltava aina valmiina käyttöön. Hätäpysäytystoiminnon tulee olla priorisoitu muihin koneen toimintoihin verrattuna, eikä sen käyttö saa heikentää muita suojaustoimia, kuten palontorjuntaa tai loukkuun jääneiden auttamista. (SFS-EN ISO 13850 2015, 8.)

Kun hätäpysäytystoiminto on aktivoitu, sen on pysyttävä toiminnassa, kunnes se käsin kuitataan. Aktivointi ei saa johtaa muiden toimintojen käynnistymiseen. Toiminnon palauttaminen normaalitilaan vaatii käyttäjän toimenpidettä, kuten hätäpysäytyslaitteen vapauttamista, ja tämä prosessi ei saa automaattisesti käynnistää koneen toimintaa. On tärkeää muistaa, että hätäpysäytystoiminto on vain yksi osa kokonaisuutta, eikä sen tulisi korvata muita turvallisuuteen liittyviä toimenpiteitä. Sen on oltava suunniteltu siten, että koneen vaaralliset liikkeet pysähtyvät turvallisesti ilman lisävaaroja. (SFS-EN ISO 13850 2015, 8.)

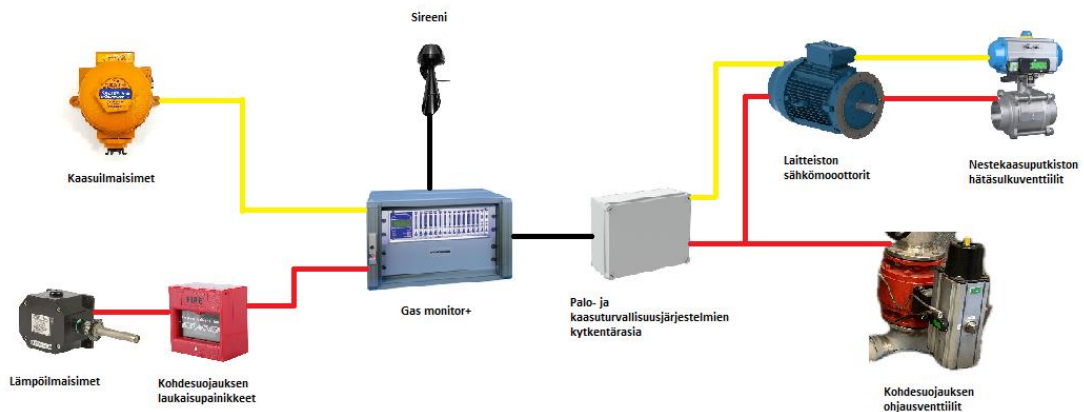
Pirkkalan nestekaasutäyttölaitokselle on asennettu kuusi hätäseispainiketta laitoksen eri osuuksiin. Hätäseispainikkeet sammuttavat kaikki tehtaan sähkömoottorit ja estävät niiden käynnistyksen, kunnes hätäseispiiri manuaalisesti palautetaan toimintavalmiuteen. (Kosan crisplant2012j.)

4.4.2 Palo- ja kaasujärjestelmät

Vaarallisia aineita sisältävän prosessin turvallisuudessa palo- ja kaasujärjestelmät ovat olennaisia, koska ne mahdollistavat vaaratilanteiden havaitsemisen ja hallinnan nopeasti ja tehokkaasti. Nämä järjestelmät voivat koostua useista erityyppisistä tunnistuslaitteista, kuten liekin-, kaasun- ja savuilmamisimista, jotka on sijoitettu strategisiin paikkoihin prosessialueilla. Ilmaisimet pystyvät tunnistamaan erilaisia uhkia, kuten palavia kaasuja, savun muodostumista tai kaasuvuotoja, ja reagoivat heti, kun asetetut raja-arvot ylittyvät. Tämä mahdollistaa nopean varoituksen ja hälytyksen lähettämisen henkilöstölle, mikä on olennaista vaaratilanteen eskaloitumisen estämiseksi. (Crosley & Indgjer 2018, 1–3.)

Järjestelmään voi kuulua automaattisia toimenpiteitä, kuten sammutuslaitteiden aktivointi tai kaasun syötön katkaiseminen sulkemalla hätäsulkuventtiilit. Lisäksi se voi olla kytketty prosessinhallintajärjestelmään, mutta turvallisuuden takaamiseksi palo- ja kaasujärjestelmät toimivat yleensä itsenäisesti, jotta ne voivat reagoida nopeasti ja luotettavasti myös silloin, kun prosessinhallintajärjestelmä ei ole käytettävissä tai siinä ilmenee ongelmia. (Crosley & Indgjer 2018, 2–4.)

Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksen strategisiin sijainteihin sijoitetut lämpöilmaisimet, kohdesuojauksen laukaisupainikkeet, kaasuilmaisimet ja hälytyssireeni on kytketty omaan ohjauspaneeliinsa. Tämä ohjauspaneeli on liitetty laitoksen hätäsulkuventtiileihin, hätäseispiiriin ja kohdesuojauksen ohjausventtiileihin kaasuja palojärjestelmin kytkentärasian kautta. Kyseinen järjestely mahdollistaa välittömän reaktion avata kohdesuojauksen ohjausventtiilit, sammuttaa laitteisto, sulkea nestekaasuputkiston hätäsulkuventtiilit ja käynnistää hälytyssireeni, kun signaali saadaan lämpöilmaisimelta tai kohdesuojauksen laukaisupainikkeelta. Kaasuilmaisimen raja-arvon ylittyessä järjestelmä toimii samalla tavalla, mutta ei aktivoi kohdesuojausta. Kohdesuojauksen käynnistyessä järjestelmä lähettää myös palohälytyksen hätäkeskukseen. Järjestelmän toimintaa on havainnollistettu kuviossa 3. (Vehviläinen 2013, 5-6.)



KUVIO 3. Turva-automaatiojärjestelmä.

Laitoksen tiloissa sijaitsee myös lukuisia savuilmaisimia, palohälytyspainikkeita ja palohälytyssireenejä, jotka ovat kytkettynä rakennuksen palohälytyskeskukseen ja siitä eteenpäin hätäkeskukseen. Palo- ja kaasujärjestelmät kommunikoivat myös Fidelix-ohjauskeskuksen kanssa, joka mahdollistaa ilmanvaihdon ohjauksen oikeanlaisesti palo- tai kaasuhälytyksen aikana. (Vehviläinen 2013, 5-6.)

Palo- ja kaasujärjestelmien integrointi laitoksen muihin järjestelmiin auttaa vähentämään mahdollisia onnettomuuksia, omaisuusvahinkoja ja tuotantokatkoja. Järjestelmien tarkoitus on suojata sekä henkilöstöä että laitteistoa, varmistaa lai-

toksen turvallisuus ja täyttää alan turvallisuusvaatimukset. Tämä kattava turvallisuusstrategia on erityisen tärkeä vaarallisten aineiden käsittelyssä, jossa onnettomuuksien potentiaalinen vakavuus on suuri. (Crosley & Indgjer 2018, 1.)

5 KUNNOSSAPITO

Kunnossapitoon liittyy monia väärinkäsityksiä, ja sitä pidetään usein toimintona, joka tuottaa vain vähän todellista arvoa ja jota pidetään pakollisena "pahana". Tällainen näkemys, erityisesti yritysjohdossa, jättää huomiotta kunnossapidon todellisen merkityksen, joka on paljon enemmän kuin vain rikkoontuneiden laitteiden korjaamista. Oikein toteutettuna kunnossapito on investointi tulevaisuuteen ja varmistaa, että laitoksen kapasiteetti pysyy luotettavana nyt ja tulevaisuudessa. (Mobley 2014.)

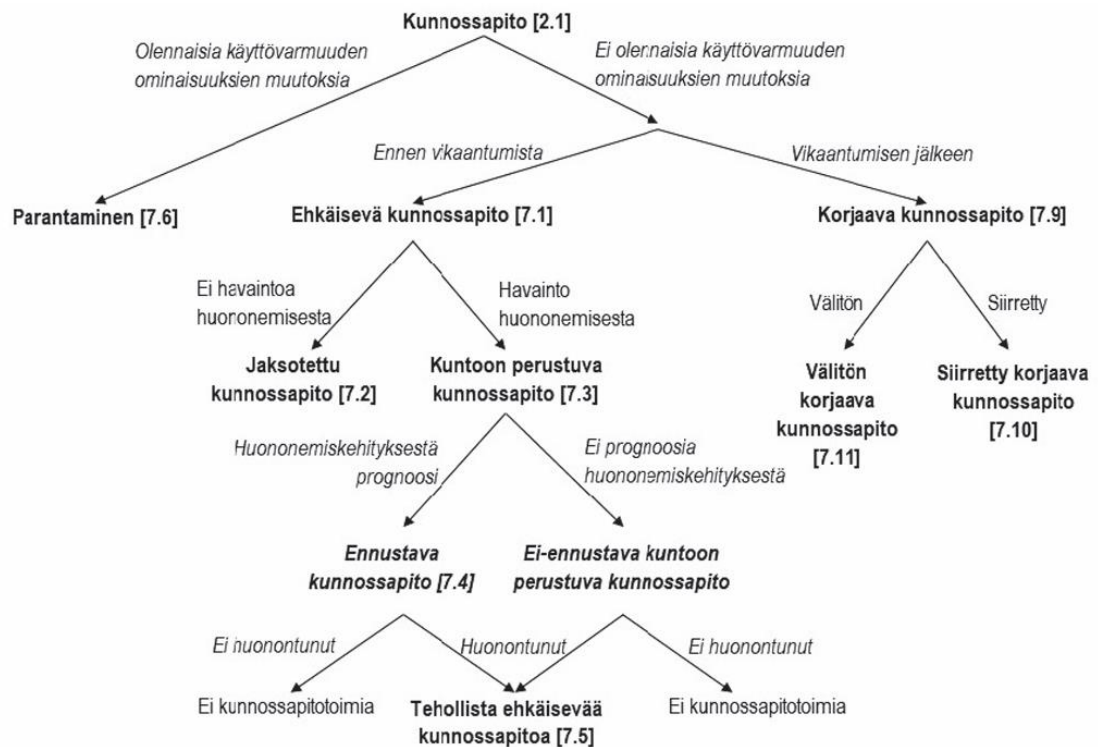
Kunnossapito vaatii kurinalaisuutta kaikilla organisaation tasoilla ja muodostaa toimintafilosofian, joka varmistaa kriittisten pääomavarojen pitkän aikavälin luotettavan toiminnan. Eri tekijöistä riippuen kunnossapitoa voidaan toteuttaa vaihtelevalla intensiteetillä, mutta sen vaikutukset ulottuvat usein lyhytaikaisia ratkaisuja pidemmälle. (Mobley, R. Keith. 2014.) Aikaisemmin on ajateltu kunnossapidon tehtävän olleen saavuttaa mahdollisimman iso luotettavuus sekä tuotantokyky, mutta nykyään käsitys kunnossa pidosta on se, että sillä tulisi saavuttaa mahdollisimman sopiva ja kontrolloitu luotettavuus. (Järviö, Piispa, Parantainen & Åstrom 2007, 12.)

Perinteisesti kunnossapito ymmärrettiin vain keinona korjata esiintyviä vikoja, tämä käsitys ei kuitenkaan nykypäivänä ole tarpeeksi laaja (Järviö ym. 2007, 12). Kunnossapidon keskeinen tehtävä on ylläpitää olemassa olevien laitoksen varojen luotettavuutta ja toimintakuntoa. Tämä tarkoittaa sitä, että kunnossapitohenkilöstön, kuten insinöörien ja teknikkojen, on suoritettava tehtäviä, jotka estävät laitteiden ja järjestelmien rappeutumisen tai vaurioitumisen. Näihin tehtäviin kuuluu muun muassa ennakoiva kunnossapito, säännöllinen varaosien vaihtaminen ja peruskorjaukset, jotka kaikki tukevat laitoksen päämäärää ja toimintaa. (Mobley 2014.)

5.1 Kunnossapidon lajit

Kunnossapidon jaottelu erilaisiin lajeihin on edellytys tehokkaalle johtamiselle. Kunnossapidon jaottelulla voidaan seurata muun muassa kunnossapidon tehokkuutta vertailemalla eri kunnossapitolajien kustannuksia ja käytettyjen työtuntien määrää. (Järviö 2012, 46.)

SFS 13306-standardi jakaa kunnossapitolajit kolmeen pääryhmään: parantamiseen, ehkäisevään kunnossapitoon ja korjaavaan kunnossapitoon. Jaotelluista päälajeista ehkäisevä ja korjaava kunnossapito jaotellaan vielä omiin alalajeihinsa (kuvio 4). (SFS-EN 13306 2017, 22.)



KUVIO 4. Kunnossapitolajit (SFS-EN 13306 2017, 22).

5.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavassa kunnossapidon pääasiallinen tehtävä on palauttaa vikaantuneeksi todettu osa tai komponentti toimivaan kuntoon. Korjaavan kunnossapidon tarpeen seurannalla pystytään laskemaan osalle tai laitteelle odotettu elinaika. (Järviö 2012, 51.)

Korjaus voi tapahtua joko välittömästi poikkeaman havaitsemisen jälkeen tai se voidaan siirtää myöhempään ajankohtaan, riippuen poikkeaman vaikutuksista tuotantoon ja turvallisuuteen. Välitön korjaus tapahtuu, kun poikkeama aiheuttaa äkillisen häiriön, joka vaatii nopeaa toimenpidettä, vaikka sitä ei olisi ehditty suunnitella etukäteen. (PSK 6201 2022, 27.)

Toisaalta, jos poikkeama ei vaikuta välittömästi tuotantoon tai turvallisuuteen, korjaava kunnossapito voidaan siirtää ajankohtaan, jolloin se on resursseiltaan tai tuotannon kannalta suotuisa. Tällaiset viivästyneet korjaukset tehdään usein laitteille, joiden toimintahäiriöillä ei ole merkittäviä vaikutuksia tuotantoon tai turvallisuuteen. (PSK 6201 2022, 27-28.)

5.1.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito sisältää toimenpiteitä, joiden tehtävänä on arvioida ja vähentää kohteen alttiutta heikentymiselle ja vikaantumiselle (SFS-EN 13306 2017, 14). Ehkäisevä kunnossapito voi olla luonteeltaan jaksotettua tai kuntoon perustuvaa (Järviö 2012, 50).

Ehkäisevä kunnossapito sisältää useita ennakoivia toimenpiteitä, joiden tavoitteena on estää korjaustarpeet ja välttää äkilliset hätäkorjaukset. Tämä saavutetaan säännöllisten tarkastusten avulla, joilla pyritään tunnistamaan laitteiden vikaantumismallit ennen ongelmien muuttumista vakaviksi. Tarkastusten tueksi kehitetään selkeät menetelmät, joiden avulla varmistetaan toimenpiteiden toistettavuus ja luotettavuus. Ehkäisevä kunnossapito ei kuitenkaan rajoitu pelkästään tarkastuksiin, vaan siihen kuuluvat myös laitteiden voitelu, puhdistus, tasapainotus ja kalibrointi, joiden johdosta todellinen ehkäisevä kunnossapito nojaa pääasiassa työvoiman käyttöön, ja sen materiaalit tarpeet rajoittuvat lähinnä voiteluaineisiin. (Mobley 2014, 2.3.1.)

Jaksotettu kunnossapito suoritetaan ennalta määritettyjen aikajaksojen tai käyttötuntien perusteella ilman edeltävää kunnan arviointia. Sen tavoitteena on pienentää vikaantumisen todennäköisyyttä tai hidastaa laitteen toiminnan heikkenemistä. (PSK 6201 2022, 32)

Kuntoon perustuva kunnossapito puolestaan keskittyy laitteiden kunnan jatkuvaan tai määräajoin suoritettavaan tarkkailuun ja sen perusteella tehtäviin toimenpiteisiin. Tämä kunnossapitomuoto pyrkii siirtämään suunnittelemattomat korjaukset ennakoitaviksi ja suunnitelluiksi korjauksiksi, ja sen avulla voidaan havaita vikaantumiseen liittyviä oireita aikaisessa vaiheessa ja reagoida niihin ennen varsinaisen vian ilmenemistä. Näin vältetään äkillisiltä häiriöiltä ja vähennetään hätäkorjausten tarvetta. (PSK 6201 2022, 29-32.)

5.1.3 Parantaminen tai parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito viittaa toimenpiteisiin, joiden tavoitteena on parantaa kohteen toimintavarmuutta, kunnossapidettävyyttä sekä henkilö- ja ympäristöturvallisuutta muuttamatta laitteen tai järjestelmän alkuperäistä toimintoa. Näiden toimenpiteiden avulla pyritään tunnistamaan ja korjaamaan kohteen käyttövarmuutta heikentäviä tekijöitä, jotta laitteiden ja järjestelmien toiminta olisi mahdollisimman luotettavaa. Parantava kunnossapito voi sisältää esimerkiksi kunnossapitosuunnitelman päivittämistä, kunnossapito-ohjeistuksen muokkaamista tai erilaisten parannusinvestointien tekemistä, joilla pyritään lisäämään laitteiston käyttöikä ja vähentämään huollon tarvetta. (PSK 6201 2022, 32-33.)

Lisäksi parantava kunnossapito voi kohdistua turvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden parantamiseen, esimerkiksi lisäämällä turvallisuustoimenpiteitä tai parantamalla ympäristöturvallisuuteen liittyviä ratkaisuja. Käyttövarmuuden analytiikka, kuten vika- ja vaikutusanalyysi (FMEA) tai vikapuuanalyysi (FTA), voi auttaa määrittämään kriittiset kohdat ja optimoimaan kunnossapitotoimenpiteet sen mukaan, miten ne vaikuttavat kohteen käyttövarmuuteen ja toimintaan. Näin voidaan saavuttaa parempi turvallisuus ja tehokkaampi resurssien käyttö ilman alkuperäisen toiminnon muuttamista. (PSK 6201 2022, 32-33.)

5.2 Kriittisyysanalyysi kunnossapidossa

Kriittisyysanalyysi on tehokas työkalu kunnossapidon hallinnassa, joka parantaa laitteiden huollon suunnittelua ja resursointia. Monet yritykset kohtaavat haasteita ennaltaehkäisevän kunnossapidon aikataulutuksessa ja huoltoresurssien varauksessa, mikä voi johtaa tuotantokatkoksiin. (Al-Hourani 2020, 1.) Kriittisyysanalyysi on prosessi, jossa arvioidaan ja luokitellaan omaisuuseriä, järjestelmiä, komponentteja tai vikaantumismuotoja niiden vakavuuden, todennäköisyyden ja havaitsemisen yhdistetyn vaikutuksen perusteella. Analyysi voi ottaa huomioon myös ympäristövaikutukset, ihmisten terveyden, turvallisuuden, laadun, tuotannon ja yrityksen maineen. Tämä tekee siitä olennainen osa riskinarviointia ja omaisuuden priorisointia. (Mobley 2014, 4.3.)

Kriittisten järjestelmien analysoinnin jälkeen voidaan priorisoida niiden komponentteja, mikä on tärkeää kunnossapitostrategioiden määrittämisessä. Kriittisyysanalyysin tuloksia voidaan hyödyntää riskitason perusteella kehittämään kunnossapitostrategioita. Useat organisaatiot syventävät analyysiään edelleen luotettavuuskeskeisen kunnossapidon (RCM) ja vikamoodianalyysin (FMEA) avulla. Nämä prosessit tuottavat optimoituja kunnossapitostrategioita, jotka vastaavat järjestelmän vikaantumismuotoja ja ovat linjassa riskiperusteisten omaisuudenhallintakäytäntöjen kanssa. Näin ollen kriittisyysanalyysi mahdollistaa resurssien tehokkaan käytön ja riskien hallinnan organisaation toiminnassa. (Mobley 2014, 4.3.)

Kriittisyysanalyysi voi paljastaa, että alhaisen kriittisyyden omaaville kohteilla on usein tarpeettoman suuret ennaltaehkäisevät kunnossapitoresurssit, mikä johtaa turhiin kustannuksiin. Optimoinnin avulla kunnossapitostrategiat voidaan muuttaa tehokkaammiksi, mikä voi tuoda merkittäviä säästöjä. Kriittisyysanalyysin jälkeisissä seurantavaiheissa on havaittu, että kunnossapitokustannuksia voidaan vähentää jopa 30 % ohjaamalla kunnossapitoa liiketoiminnan tarpeiden mukaisiksi. (Crespo, Moreu, Sola & Gómez 2016, 531.) Useat ei-kriittiset laitteet eivät vaadi lainkaan ehkäisevää kunnossapitoa, vaan niitä voidaan yleensä ajaa, kunnes ne hajoavat. Kriittisten laitteiden tapauksessa tiheämpi ennaltaehkäisevän kunnossapidon väli ja uusien kunnonvalvontamenetelmien käyttöönotto voivat olla hyödyllisiä. (Al-Hourani 2020, 5.)

6 KRIITTISYYSANALYYSI PSK 6800 MUKAAN

6.1 Yleistä

PSK 6800 -standardi tarjoaa menetelmän teollisuuden laitteiden kriittisyyden arviointiin taloudellisten vaikutusten, henkilöturvallisuuden ja ympäristövaikutusten näkökulmista. Menetelmä toimii erityisesti kunnossapitosuunnitelman perustana, mutta sitä voidaan hyödyntää myös laitteen hankintavaiheessa, kun määritellään kriittisen laitteen ominaisuuksia, laatutasoa ja vastaanottokriteerejä. (PSK 6800 2008, 3.)

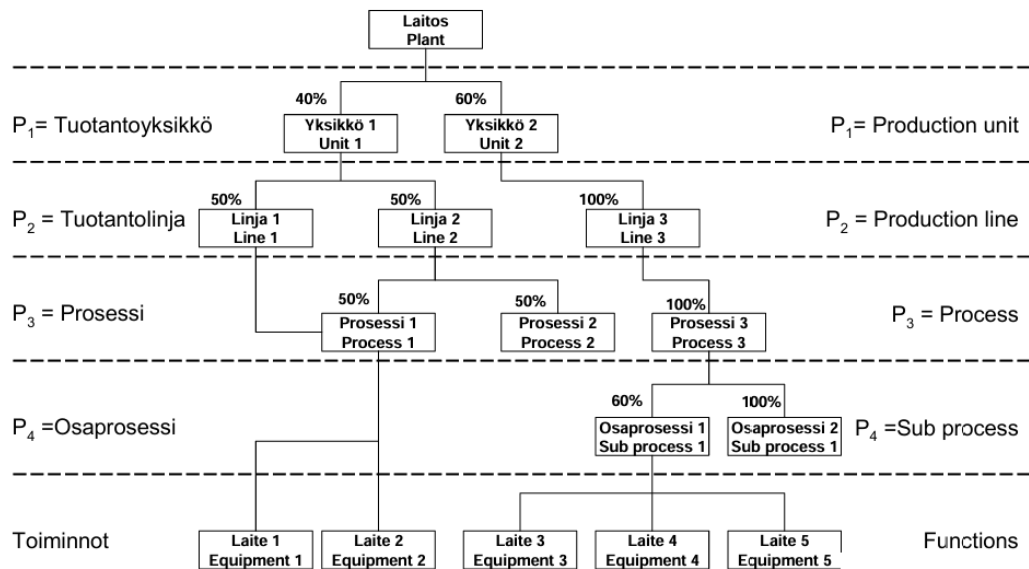
Standardissa kriittisyys arvioidaan pääasiassa taloudellisten vaikutusten perusteella, mutta myös turvallisuuteen ja ympäristöön liittyvät riskit otetaan huomioon soveltuvin osin. Kriittisyyden laskenta pohjautuu painoarvojen ja kertoimien määrittämiseen sekä kriittisyysindeksin laskentaan, mikä auttaa laitteiden kriittisyyden systemaattisessa luokittelussa. (PSK 6800 2008, 3.)

6.2 Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen

Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen PSK 6800 -standardin mukaisesti on keskeinen osa kriittisyysanalyysiä, koska sen avulla arvioidaan eri prosessien ja laitteiden vaikutusta tuotannon jatkuvuuteen. Tuotannon menetyksen painoarvokerrointa käytetään määrittämään, kuinka suuri osuus laitteen tai prosessin toimintahäiriöllä on koko laitoksen tuotantoon. Tällä tavoin voidaan tunnistaa kriittisimmät laitteet ja prosessit, joihin kunnossapitotoimenpiteet ja resurssit tulisi kohdistaa ensisijaisesti tuotannon kannalta. (PSK 6800 2008, 4.)

Tuotannon kriittisyyttä määritettäessä oletetaan käyttöhyödykkeiden prosessien kuten höyryn, paineilman ja sähkön toimivan. Menetelmää voi myös soveltaa käyttöhyödykeprosessien tarkasteluun. (PSK 6800 2008, 4.)

Laitoksen prosessihierarkin painoarvokertoimiin on esitetty kuviossa 5. Painoarvokertoimilla kuvastetaan laitoksen prosessien keskinäistä riippuvuutta. Kyseinen hierarkia on yleinen malli, jota voidaan muovata teollisuusaloittain. (PSK 6800 2008, 4.)



KUVIO 5. Painoarvokertoimien hierarkia (PSK 6800. 2008, 5).

Tuotantoyksikön painoarvokerroin P_1 kuvaa yksikön osuutta koko laitoksen tuotoksesta. Tämä tarkoittaa että arvioidaan, kuinka suuri osa laitoksen kokonais-tuotannosta on tuotantoyksikön vastuulla. Jos laitos koostuu yhdestä tuotantoyksiköstä, sen painoarvokerroin on 100 %. Jos laitos koostuu kahdesta identtisestä tuotantoyksiköstä, molempien yksiköiden painoarvokertoimet ovat 50 %, koska ne jakavat tuotannon tasan. (PSK 6800 2008, 5.)

Tuotantolinjan painoarvokerroin P_2 määrittää tuotantolinjan osuuden koko tuotantoyksikön tuotoksesta. Tämä arviointi perustuu siihen, kuinka suuri osa tuotantoyksikön tuotannosta on linjan vastuulla. Kuten tuotantoyksiköissä, painoarvokerroin voidaan laskea tuotannon määrän, arvon tai tulojen perusteella. Kaikkien tuotantolinjojen painoarvokertoimien summa on 100 %, mikä tarkoittaa, että yksittäisen tuotantolinjan osuus määräytyy suhteessa koko tuotantoyksikön tuotokseen. (PSK 6800 2008, 5.)

Prosessin painoarvokerroin P_3 kuvaa prosessin merkitystä koko tuotantolinjalle. Jos prosessin toimimattomuus estää tuotantolinjan toiminnan kokonaan, prosessin painoarvokerroin on 100 %. Prosessit voivat olla kytkettynä joko rinnan tai sarjaan. Rinnakkaisesti toimivat prosessit jakavat painoarvot suhteessa niiden merkitykseen tuotantolinjalle. Sarjaan kytketyt prosessit jakavat saman painoarvokertoimen. Prosessitasolla arvioidaan tuotosta tuotannon määränä. (PSK 6800 2008, 6.)

Osaprosessin painoarvokerroin P_4 mittaa osaprosessin merkitystä koko prosessille. Jos osaprosessin toimimattomuus pysäyttää prosessin tai tuotantolinjan, osaprosessin painoarvokerroin on 100 %. Osaprosessit voivat olla kytkettyinä joko rinnan tai sarjaan, ja sarjaan kytketyt osaprosessit jakavat saman painoarvokertoimen. Osaprosessitasolla arvioidaan tuotosta tuotannon määränä. (PSK 6800 2008, 6.)

Tuotannon menetyksen painoarvo on keskeinen tekijä arvioitaessa laitoksen kriittisyyttä, se lasketaan yhdistämällä prosessien ja osaprosessien painoarvokertoimet. Tuotannon menetyksen painoarvo kuvaa tuotannon menetyksen vaikutusta laitoksen kokonaisuuteen, ja sen laskenta perustuu eri tasojen painoarvokertoimien suhteellisiin osuuksiin. Tuotannon menetyksen painoarvokerroin W_p voidaan laskea kaavalla 1

$$W_p = P_4 \cdot P_3 \cdot P_2 \cdot P_1, \quad (1)$$

jossa P_4 on osaprosessin painoarvokerroin, P_3 on prosessin painoarvokerroin, P_2 on tuotantolinjan painoarvokerroin ja P_1 on tuotantoyksikön painoarvokerroin. (PSK 6800 2008, 6.)

6.3 Laitteiden kriittisyysindeksin laskeminen

Taulukossa 2 esitetään laitteiden kriittisyyden laskemiseen käytettävät painoarvot, kertoimet ja kertoimien valintakriteerit, jossa huomioidaan laitteen vaikutus turvallisuuteen, ympäristöön, laatuun ja tuotantoon, sekä korjaus- ja seurauskus-

tannukset. Painoarvoilla ja kertoimilla laskettua kriittisyyttä käytetään priorisoi-
maan kunnossapidon toimenpiteet ja varmistamaan, että kaikkein kriittisimmät
laitteet saavat asianmukaisen huomion mahdollisten häiriöiden minimoimiseksi.
(PSK 6800 2008, 7.)

TAULUKKO 2. Laitetason kriittisyyden tekijät (PSK 6800 2008, 7).

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantu- misväli esimer- kiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaan- tumisväli esi- merkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vi- kaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantu- misväli esimer- kiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon mene- tys $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)	
Korjaus- tai seuraus- kustannukset	Korjaus- tai seurauskustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.	
		$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)	
		$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)	
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)	

Taulukossa esitetyt painoarvot, kertoimet ja kertoimien valintakriteerit ovat ohjeellisia, ja niitä voidaan soveltaa kriittisyysanalyysikohteen tarpeisiin sopivaksi. Laitteen kriittisyysindeksi K lasketaan kaavalla 2

$$K = p \cdot (W_s \cdot M_s + W_e \cdot M_e + W_p \cdot M_p + W_q \cdot M_q + W_r \cdot M_r), \quad (2)$$

jossa p on vikaantumisväli, W_s painoarvo turvallisuusriskille, M_s kerroin turvallisuusriskille, W_e painoarvo ympäristöriskille, M_e kerroin ympäristöriskille, W_p painoarvo tuotannonmenetykselle, M_p kerroin tuotannonmenetykselle, W_q on painoarvo laatuksennukselle, M_q kerroin laatuksennukselle, W_r painoarvo korjauskustannukselle ja M_r kerroin korjaus- tai seurauskustannukselle. (PSK 6800 2008, 7.)

Laitteiden kokonaiskriittisyysindeksin lisäksi laitteille voidaan laskea kriittisyyden osaindeksit. Osaindeksien laskemisen avulla voidaan tarkastella tarkemmin mistä osista kokonaiskriittisyys koostuu ja tarkastella myös laitteistoa vain halutun osa-alueen perusteella. Osaindeksien laskeminen tapahtuu kaavalla 3

$$K_x = p \cdot (W_x \cdot M_x), \quad (3)$$

jossa K_x on halutun osa-alueen kriittisyysindeksi, p vikaantumisväli, W_x halutun osa-alueen painoarvo ja M_x on halutun osa-alueen kerroin. (PSK 6800 2008, 7-11.)

7 Työn toteutusvaihe

7.1 Aloitus

Työ aloitettiin määrittelemällä kriittisyysanalyysin tarkastelunalaiset kohteet. Kohteiden määrittely käytiin läpi jo ennen aloituspalaveria Woikosken kunnossapitopäällikön kanssa. Tässä opinnäytetyössä nestekaasutäyttölaitokselta arvioitiin kaikki nestekaasutäyttöön liittyvä laitteisto sisältäen, täyttölaitteiston, säiliöt, pumput, putkiston laitteet ja instrumentointi sekä kaikki palo- ja kaasuhälytysjärjestelmiin liittyvät laitteet. Pois suljettiin paineilmajärjestelmä ja itse putkisto, sillä yrityksellä on omat tavat arvioida niiden kriittisyyttä.

Kriittisyysanalyysi suoritettiin soveltaen PSK 6800-standardia. Heti tehtävänannon jälkeen kyseiseen standardiin alettiin perehtyä, että sen antamien raamien pohjalta voitaisiin päättää kuinka laitteet kannattaa jaotella kyseisellä laitoksella.

7.2 Laitelistojen kerääminen

Nestekaasutäyttölaitoksen laitteistoa alettiin kartoittamaan ensin nestekaasutäyttölinjasta ja sen lisäksi muista täyttöprosessiin liittyvistä osista, kuten käsitäyttövaaoista ja pullontyhjennysjärjestelmästä. Nestekaasutäyttölinjaston laitteet listattiin taulukkoon pitkälti lukemalla projektidokumentaatiota, josta oli runsaasti hyötyä laitteiston jakamisessa osiin. Nestekaasutäyttölaitteisto on jaettu sen eri prosessiosiin ja ne on jaettu alalaitteisiin, joista ne on vielä jaettu niiden eri komponentteihin, jos niin on katsottu tarpeelliseksi. Lista luotiin kuvaamaan nestekaasutäyttölinjaston laitehierarkiaa. Käsitäyttövaa'at ja pullon tyhjennysjärjestelmä listattiin samaan taulukkoon omiksi kokonaisuuksikseen. Täyttölaitteistosta listattiin kokonaisuudessaan 195 laitetta.

Nestekaasu säiliöt, pumput ja putkiston laitteet päätettiin listata omaan taulukkoonsa ja käsitellä omana osaprosessinaan. Nestekaasuosaprosessin laitteiden listaamiseen käytettiin pitkälti hyödyksi laitoksen putkisto- ja instrumentointipiirustusta. Säiliöiden yhteyteen listattiin kaikki siihen liittyvät laitteet, kuten mittarit,

varoventtiilit, lähettimet ja lähettämiin liitetyt monitorit. Säiliöiden yhteyteen listattiin myös siitä lähtevien putkistojen kaksi ensimmäistä venttiiliä, jotka sisälsivät aina manuaalisen sulkuventtiilin ja hätäsulkuventtiilin. Pumppujärjestelmien yhteyteen listattiin kaikki niiden toimintaan liittyvät laitteet, kuten käynnistyskytkin, turvakytkin, akselikytkin, sähkömoottori ja itse pumppu. Putkiston laitteet ja instrumentointi listattiin seuraten putkiston kulkua loogisesti lastausalueelta säiliöihin, säiliöiltä pumppaamolle, pumppaamolta täyttöhalliin ja täyttöhallista paluulinjaa pitkin takaisin säiliöille. Nestekaasuosaprosessista listattiin kokonaisuudessaan 140 laitetta.

Turvallisuuteen vaikuttavien järjestelmien laitteet kerättiin omaan taulukkoonsa. Tähän taulukkoon kerättiin kaikki kohdesuojaukseen kuuluvat laitteet, hätäseis-painikkeet, ilmanvaihtojärjestelmät ja palo- ja kaasujärjestelmiin kuuluvat laitteet. Kaikki turvallisuuslaitteet käytiin tarkastamassa paikan päällä, laitteet listattiin päätelaitteen tai kokonaisuuden alle, johon ne kuuluivat. Päätelaitteiden määrittämisessä auttoi laitoksella usein työskentelevät sähköasentajat ja laitoksen henkilökunta. Nestekaasuosaprosessiin listattujen putkiston hätäsulkuventtiilien olisi myös voitu katsoa kuuluvan osaksi turvallisuusjärjestelmiä, mutta ne kuitenkin jätettiin nestekaasuosaprosessin alle. Kokonaisuudessaan turvallisuusjärjestelmistä listattiin 87 laitetta.

7.3 Standardin soveltaminen laitokselle

Laitteiden listaamisen jälkeen PSK 6800 -standardia alettiin soveltamaan laitokselle sopivaksi. Standardin osa-alueista päätettiin jättää laatukustannus huomioimatta, sillä nestekaasutäytössä laatukustannuksia ei oikeastaan ole.

Matriisien muokkaaminen laitokselle sopiviksi osoittautui yllättävän haastavaksi ja niiden kertoimia jouduttiin säätämään useasti. Lopulta päädyttiin taulukossa 3 esitettyihin kertoimiin ja painoarvoihin, jotka tuottivat järkeviä tuloksia kokonaisriittäisyyttä tarkasteltaessa.

TAULUKKO 3. Laitokselle sovellettu luokittelumatriisi.

Painoarvo (W)	Vikaantumisväli (p)	Kerroin (M)	Valintakriteeri
Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli 2-5 vuotta 4 = Kohtalainen vikaantumisväli 1-2 vuotta 6 = Lyhyehkö vikaantumisväli 0,5 - 1 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli 0 - 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
		$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
		$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
		$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
		$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
		$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
		$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
		$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
Tuotannon menetys $W_p = 100$ $W_{pl} = 1-0$ (W_{pl} määritetään jokaisen osaprosessin kohdalla erikseen, kertoo kuinka monta prosenttia kokonaistuotannosta menetetään)		$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle.
	$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi. Alle 4 tuntia	
	$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi. Alle 24 h	
	$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi. 1-4 työpäivää	
	$M_p = 8$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi. Yli 5 työpäivää	
Korjaus- tai seurauskustannukset $W_r = 20$	$M_r = 0$	Pienet korjauskustannukset tai seurauskustannukset. ($\leq 1000e$)	
	$M_r = 2$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset. (≤ 5000)	
	$M_r = 4$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset (≤ 10000)	
	$M_r = 8$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset (< 50000)	
	$M_r = 16$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset (> 50000)	

Turvallisuus- ja ympäristöosuus pidettiin muuttumattomina, tuotannon menetyksen kertoimia kasvatettiin huomattavasti standardin antamista niiden pituuden kasvaessa, sillä niiden valintakriteerejä muutettiin. Tuotannon menetyksen painoarvon laskemiseksi lisättiin jokaiselle laitteelle erikseen määritettävä lisäkerroin W_{pl} , jolla kerrotaan vakiona pysyvä tuotannon menetyksen painoarvo W_p . Tuotannon menetyksen lisäkertoimen avulla saadaan helposti määritettyä taulukossa laitteille eri tuotannon menetyksen painoarvo ja tuotannon menetyksen painotusta voidaan muuttaa kaikille laitteille helpommin muuttamalla itse tuotannon menetyksen painoarvoa W_p . Lisäkerroin mukailee standardin tapaa määrittää

tuotannon menetyksen painoarvoa ja on arvio menetetyistä kokonaistuotannosta. Esimerkiksi, jos arvioidaan, että täyttölinjaston korinpurkujärjestelmän vikaantuminen aiheuttaa 15 % menetyksen kokonaistuotannosta, lisäkerroin on 0,15.

Korjaus- tai seurauskustannuksien valintakriteerit muutettiin rahallisiksi menetyksiksi ja niiden kerroin muutettiin kasvamaan eksponentiaalisesti ympäristö- ja turvallisuuskertoimien tapaan, koska muuten sen tuoma kriittisyysindeksi jäisi mitätömäksi. Viimeisenä vikaantumisväliin lisättiin kerroin 6, joka määritettiin 0,5–1 vuoden vikaantumisväliksi, sillä 0,5–2 vuoden vikaantumisvälin katsottiin olevan liian laaja.

Standardin soveltamisen jälkeen täyttölaitokselle saadaan sille sopeutuva standardia mukaileva kaava 4, jolla määritetään laitteen kriittisyys

$$K = p \cdot (W_s \cdot M_s + W_e \cdot M_e + W_p \cdot W_{pl} \cdot M_p + W_r \cdot M_r), \quad (4)$$

jossa K on kriittisyys, p vikaantumisväli, W_s painoarvo turvallisuusriskille, M_s kerroin turvallisuusriskille, W_e painoarvo ympäristöriskille, M_e kerroin ympäristöriskille, W_p painoarvo tuotannonmenetykselle, W_{pl} lisäkerroin tuotannon menetyksen painoarvolle, M_p kerroin tuotannonmenetykselle, W_r painoarvo korjauskustannukselle ja M_r kerroin korjaus- tai seurauskustannukselle.

Kriittisyyden osaindeksit lasketaan turvallisuusriskille, ympäristöriskille ja korjaus- tai seurauskustannuksille kaavalla 3. Tuotannon menetyksen painoarvon lisäkerroimen vuoksi tuotannon menetyksen osaindeksin laskeminen tapahtuu vähän erilaisella kaavalla 5

$$K_p = p \cdot (W_p \cdot W_{pl} \cdot M_p), \quad (5)$$

jossa K_p on tuotannon menetyksen kriittisyyden osaindeksi.

7.4 Taulukon toteutus

Kriittisyysanalyysiin ja luokitteluun käytettävä taulukko luotiin aiemmin yrityksessä toteutetun kriittisyysluokittelutaulukon pohjalta. Aikaisempaa kriittisyysluokittelua ei ollut toteutettu PSK 6800 -standardin pohjalta, eikä taulukossa ollut käytetty painoarvokertoimia tai vikaantumisväliä. Taulukkoa jouduttiin muokkaamaan huomattavasti ja lopulta alkuperäisestä taulukosta jäi pääasiassa jäljelle ulkoasu. Kriittisyysluokittelussa käytetty taulukko on esitetty kuvassa 10.

WOIKOSKI		Kriittisyysanalyysi Nestekaasutäyttö/Täyttölaitteisto															
Kohde	nn	Positio	Laitte	Kriittisyysluokkien raja-arvot										Kriittisyyden osaindeksit			Index
				Tuotannon lisäkertoimien	A>=	350	B>=	200	C<	B	K	K _p	K _e				
				Vikaantumisväli	Tuotannollinen menetyk	Ympäristö	Korjauskustannus	Turvallisuus	Kriittisyys	Kriittisyysluokka				Varaosien saatavuus			
100	20	20	30	K	K _p	K _e	K _r	K _s									
6000-L-0101 / Nestekaasun täyttölinja	Ketjukuljetin		Ketjut	0,8	2	1	0	0	2	280	B	1	160	0	0	120	1
6000-L-0101 / Nestekaasun täyttölinja	Ketjukuljetin	Vetopää	Sähkömoottori	0,8	1	8	0	2	2	740	A	4	240	0	40	60	2
6000-L-0101 / Nestekaasun täyttölinja	Ketjukuljetin	Vetopää	Vaihdelaatikko	0,8	1	2	0	2	2	260	B	1	160	0	40	60	3
6000-L-0101 / Nestekaasun täyttölinja	Ketjukuljetin	Vetopää	Ketjujyörät	0,8	1	2	0	0	2	220	B	1	160	0	0	60	4
6000-L-0101 / Nestekaasun täyttölinja	Ketjukuljetin	Vetopää	Akseli	0,8	1	2	0	0	2	220	B	1	160	0	0	60	5
6000-L-0101 / Nestekaasun täyttölinja	Ketjukuljetin	Vetopää	Laippalaakeri	0,8	1	2	0	0	0	140	C	1	160	0	0	0	6
6000-L-0101 / Nestekaasun täyttölinja	Ketjukuljetin	Vetopää	Liukasteainetankki	0,8	1	0	2	0	2	100	C	2	0	40	0	60	7

KUVA 10. Kriittisyysluokittelutaulukko.

Taulukkoon lisättiin kaavat, jotka automaattisesti laskevat laitteen kriittisyyden ja kriittisyyden osaindeksit, kun taulukkoon syötetään tarvittavat kertoimet. Painoarvoja voidaan muuttaa, jolloin taulukko laskee automaattisesti uuden kriittisyyden ja kriittisyyden osaindeksin perustuen muutettuihin arvoihin. Taulukon rivien järjestystä voidaan lajitella jokaisen sarakkeen kohdalta isoimmasta arvosta pienimpään tai pienimmästä arvosta isoimpaan. Taulukon viimeiseen sarakkeeseen lisättiin alkuperäinen järjestysnumero, jotta rivit voidaan palauttaa alkuperäiseen järjestykseen.

Kriittisyysarvon perusteella laitteet päätettiin jakaa kolmeen luokkaan A, B ja C. Taulukon kriittisyysluokkien raja-arvoja voidaan muuttaa raja-arvojen soluista. Raja-arvot määrittävät automaattisesti jokaiselle laitteelle kriittisyyden perusteella luokan A, B tai C. Kriittisyysluokkien solut värittyvät myös automaattisesti kriittisyysluokan perusteella. Työssä käytettiin kriittisyysluokittelussa seuraavia raja-arvoja kriittisyysluokille: luokka A määriteltiin laitteille, joiden kriittisyysarvo on

350 tai enemmän, luokka B laitteille, joiden kriittisyysarvo on 200 tai enemmän, mutta alle 350, ja luokka C laitteille, joiden kriittisyysarvo on alle 200.

Kriittisyysarvojen solut muokattiin automaattisesti väritymään sen perusteella, kuinka suuri arvo on verrattuna taulukon muihin kriittisyysarvoihin, pienet kriittisyysarvot saavat vihreän värin, keskinkertaiset keltaisen värin ja korkeat punaisen värin. Solujen väritys tehtiin tuomaan taulukkoon lisää visuaalisuutta. Kriittisyyden osaindeksienkin solut on muokattu toimimaan samalla periaatteella, mutta ne muuttavat väriä vain keltaisesta punaiseksi, koska vihreän värin lisääminen saisi taulukon näyttämään sekavalta. Taulukkoon on myös lisätty sarake varaosien saatavuudelle, sarake ei vaikuta kriittisyyteen vaan toimii pelkästään lisätietona varaosien saatavuuden nykytilanteesta.

7.5 Kriittisyysluokitteluistunnot

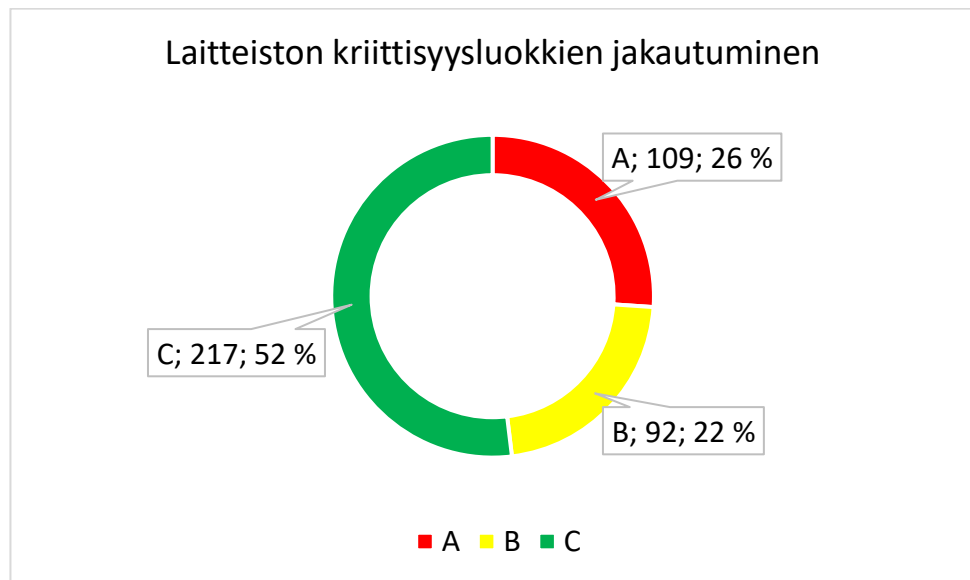
Kriittisyysluokittelu suoritettiin etä- ja lähitapaamisissa Woikosken henkilökunnan kanssa. Pääasiassa luokittelu toteutettiin Pirkkalan täyttölaitoksen kunnossapitovastaavan Jaakko Seurasen kanssa. Seurasen kokemus ja tietämys laitteiston vikaantumishistoriasta, korjauksiin kuluva ajasta ja varaosasaatavuudesta oli työn toteuttamiselle elintärkeää. Laitoksen päällikkö Kari Suominen toi myös laitteiden tuotannon menetyksen painoarvon määrittämisessä lisäarvoa, jakamalla toimintaperiaatteita laitteiden vikaantuessa.

Koko laitteiston luokittelun jälkeen laitteiden luokittelua käytiin vielä läpi Woikosken turvallisuuspäällikön Juha-Pekka Savisen kanssa, jolla on kokemusta kriittisyysanalyysien suorittamisesta. Näissä istunnoissa muutettiin vielä kriittisyysluokittelusta monia turvallisuuteen liittyviä asioita etenkin putkistojen venttiileiden ja turvallisuusjärjestelmien kohdalla, joista Savisella on paljon kokemusta.

8 Tulokset

8.1 Laitteiston kriittisyysluokittelu kokonaisuudessaan

Laitteiston kriittisyysluokittelussa luokiteltiin laitokselta yhteensä 418 laitetta. Näistä A-kriittisyysluokkaan kuului 109 laitetta, mikä vastaa noin 26 % laitteistosta. B-kriittisyysluokkaan puolestaan kuului 92 laitetta eli noin 22 % laitteistosta. C-kriittisyysluokka oli selvästi suurin, sisältäen 217 laitetta, mikä vastaa noin 52 % laitteistosta. Laitteiston kriittisyysluokkien jakautuminen on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Laitteiston kriittisyysluokkien jakautuminen.

Kriittisyysluokkien jakaantuminen korostaa laitteiston eri osien merkitystä sekä tuotannon jatkuvuudelle että turvallisuudelle. A-kriittisyysluokkaan kuuluvat laitteet ovat erityisen tärkeitä, sillä niiden toimintahäiriöt voivat aiheuttaa merkittäviä tuotantokatkoja ja vaarantaa työntekijöiden turvallisuuden. Tämän vuoksi A-luokan laitteiden ylläpito ja valvonta ovat ensiarvoisen tärkeitä.

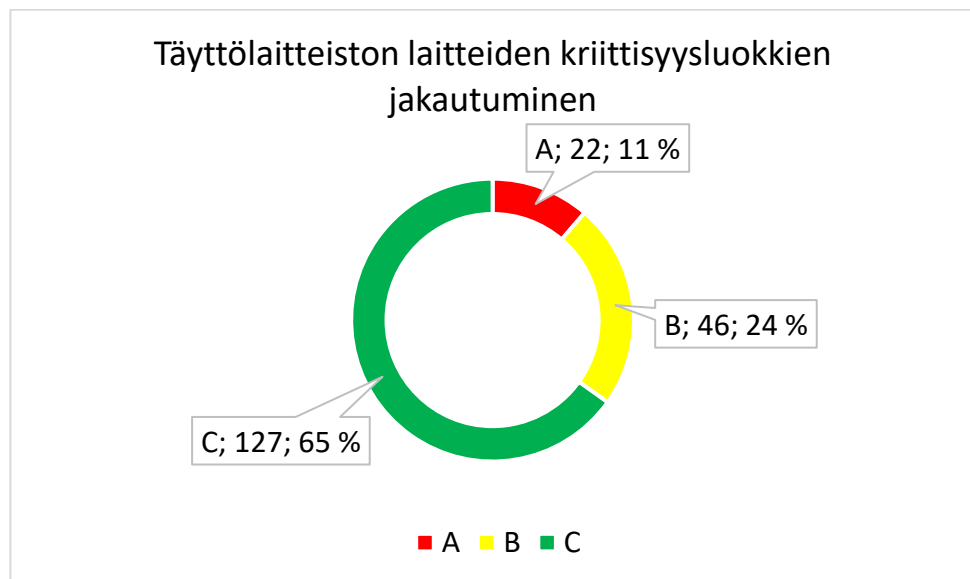
B-kriittisyysluokkaan kuuluvat laitteet vaikuttavat vähemmän suoraan tuotantoon, turvallisuuteen ja ympäristöön verrattuna A-luokan laitteisiin. Niiden toimintahäiriöt eivät yleensä johda yhtä suurisiin ongelmiin kuin A-luokan laitteilla. Kuitenkin B-luokan laitteet ovat silti tärkeitä prosessien sujuvuuden kannalta, ja

niiden kunnossapidolla on merkitystä, jotta tuotanto voidaan pitää tehokkaana ja turvallisena.

C-kriittisyysluokka kattaa suurimman osan laitteistosta, ja sen kriittisyys on erittäin alhainen. Näillä laitteilla on vähäinen vaikutus tuotannon jatkuvuuteen, ja niiden toimintahäiriöt eivät yleensä aiheuta merkittäviä ongelmia.

8.2 Täyttölaitteiston kriittisyysluokittelu

Täyttölaitteistosta kriittisyysluokittelussa luokiteltiin yhteensä 195 laitetta. Näistä A-kriittisyysluokkaan kuului 22 laitetta, mikä vastaa noin 11 % laitteistosta. B-kriittisyysluokkaan puolestaan kuului 46 laitetta, eli noin 24 % laitteistosta. C-kriittisyysluokka oli selvästi suurin, sisältäen 127 laitetta, mikä vastaa noin 65 % laitteistosta. Laitteiston kriittisyysluokkien jakautuminen on esitetty kuviossa 6.



KUVIO 6. Täyttölaitteiston laitteiden kriittisyysluokkien jakautuminen.

Täyttölaitteiston kriittisimmäksi osaksi muodostui täyttökarusellin kaasunjakopää, vaikka se ei ole koskaan vikaantunut. Kaasunjakopään vikaantuessa tuotannon menetys on merkittävä, sillä varaosien saaminen kestää pitkään, eikä tuotantoa voida ajaa karusellin kautta ollenkaan. Korjaustyö on vaativa prosessi, joka edellyttää laajamittaista purkamista ja mahdollisesti laitetoimittajan

läsnäoloa. Lisäksi kaasunjakopään vikaantuminen on merkittävä turvallisuusriski, koska sen kautta kulkee korkeassa paineessa olevaa nestekaasua. Karusellin kaasunjakopään lisäksi monet muut karusellin osat, kuten keskikolumni, liukurengasjärjestelmä, raiteet, pyörät, ympyräputket, sähköjärjestelmän jakelurasia, ajojärjestelmän sähkömoottori ja hydrauliiikkamoottori, on luokiteltu A-kriittisyysluokkaan. Näiden laitteiden vikaantuminen aiheuttaa pitkäaikaisen ja laaja-alaisen tuotannon menetyksen laitoksella johtuen niiden varaosien pitkistä toimitusajoista ja vaikeista korjaustöistä.

A-kriittisyysluokkaan lukeutui myös kaksi osaa UFM:stä, vaikka yksittäisen täyttölaitteen tuotannon menetyksen painoarvo on vain 10 % kokonaistuotannosta. Yllättävänä tuloksena täyttökoneen peilijärjestelmä osoittautui täyttölaitteiston kriittisimmäksi laitteeksi turvallisuusriskin osaindeksin kannalta. Peilijärjestelmän vikaantumisväli on ollut tiheä ja järjestelmän vikaantuessa peili saattaa jäädä yläasentoon täytön ollessa käynnissä. Ulostulojärjestelmän kouran optinen sensori lukee peilin yläasennon ja se vetää pullon ulos karusellista täytön ollessa vielä käynnissä. Näissä tapahtumissa materiaalivahinkoja sattuu aina ja tähän mennessä onneksi pelkästään niillä on selvitty. Kouran tuottama voima on yllättävän suuri ja pahimmassa tapauksessa se kaataa koko täyttökoneen tai katkaisee kierreventtiiliyhteen nestekaasuletkun. Myös kierreventtiilitäyttöyhde päätyi A-luokkaan pääasiassa sen erittäin tiheän vikaantumisvälin takia ja vikaantumisen aiheuttaman riskin takia, joka johtaa nestekaasuvuotoihin yhteestä täytön aikana.

A-kriittisyysluokkaan ylsi myös korinlastausjärjestelmän hydrauliikkakoneikon ja ketjukuljettimen sähkömoottori. Sähkömoottorien vikaantuminen aiheuttaisi pitkäaikaisen tuotannon menetyksen niiden huonon varaosasaatavuuden takia kyseisessä osaprosessissa. Tilanne on sama kaikilla sähkömoottoreilla ainoastaan korinpurkujärjestelmän hydrauliikkakoneikon sähkömoottori ei yllä A-luokkaan, sillä korinpurkujärjestelmän tuotannon menetyksen painoarvo on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi korinlastausjärjestelmän. Tämän kaltaiset erot johtuvat pitkälti siitä kuinka helppoa laitteen toimimattomuudesta aiheutuvaa tuotannon menetystä on kompensoida fyysisellä työllä. Täyttölinjan muiden jär-

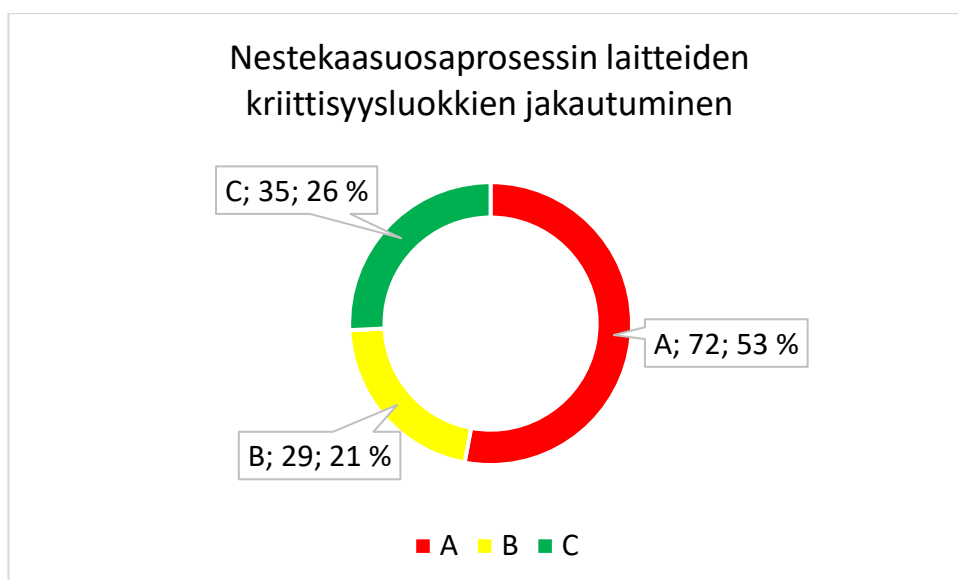
jestelmien vikaantumista voidaan kompensoida fyysisellä työllä tiettyyn pisteeseen asti, lukuun ottamatta täyttökarusellin nestekaasu-, paineilma- tai sähkösyöttöongelmia.

B-kriittisyysluokka koostuu pääasiassa laitteista, joiden vikaantuminen aiheuttaa vain suhteellisen pieniä tuotannon menetyksiä, johtuen varaosien hyvästä saatavuudesta ja helpoista korjauksista tai pienestä laitteen tuotannon menetyksen painoarvosta. Esimerkkinä toimii hyvin ketjukuljettimen vaihdelaatikko, jonka tuotannon menetyksen painoarvo on 80 % kokonaistuotannosta, mutta sen varaosat ovat heti saatavilla ja korjaus suoritetaan alle päivässä. Esimerkkinä laitteesta, jolla on pitkäaikainen tuotannon menetys mutta pieni tuotannon painoarvo toimii korinpurkujärjestelmän sähkömoottori. Sähkömoottorin vikaantuessa tuotanto menetetään pitkäksi ajaksi, mutta tuotannon menetyksen painoarvo on vain 15 % kokonaistuotannosta.

C-kriittisyysluokkaan lukeutuu täyttölaitteistosta suuri määrä laitteita, tämä johtuu pitkälti laitteiden pitkästä vikaantumisvälistä ja vähäisistä vaikutuksista tuotantoon, turvallisuuteen ja ympäristöön. C-luokan laitteiden määrää nostaa lukuiset optiset sensorit, paineilmasäätimet ja pneumaattiset pysäyttimet, joiden vikaantuminen on harvinaista ja korjausaika on erittäin lyhyt. C-luokan määrää lisää myös suhteellisen helposti fyysisellä työllä korvattavissa olevat linjaston järjestelmät, kuten korinpurkujärjestelmä, vuodonhavaitsemisjärjestelmä ja painontarkistusvaaka. Manuaaliset täyttöpisteet ja pullojen tyhjennysjärjestelmien osat kuuluvat myös pääosin C-luokkaan, sillä tuotannon menetyksen painoarvo niillä on erittäin matala.

8.3 Nestekaasuosaprosessin kriittisyysluokittelu

Nestekaasuosaprosessin kriittisyysluokittelussa luokiteltiin yhteensä 136 laitetta. Näistä A-kriittisyysluokkaan kuului 72 laitetta, mikä vastaa noin 53 % laitteistosta. B-kriittisyysluokkaan kuului 29 laitetta, eli noin 21 % laitteistosta. C-kriittisyysluokka oli keskikokoinen, sisältäen 35 laitetta, mikä vastaa noin 26 % laitteistosta. Laitteiston kriittisyysluokkien jakautuminen on esitetty kuviossa 7.



KUVIO 7. Nestekaasuosaprosessin laitteiden kriittisyysluokkien jakautuminen.

A-kriittisyysluokka on nestekaasuosaprosessin kohdalla selvästi suurin. A-luokan laitteiden osuuden suuruuteen vaikuttaa vahvasti nestekaasuputkistoon kuuluvat turvallisuuskriittiset laitteet kuten varoventtiilit ja hätäsulkuventtiilit. Hätäsulkuventtiilit on lisäksi jaoteltu kahteen osaan, toimilaitteeseen ja itse venttiiliin. Tämä jako toteutettiin, sillä toimilaitteiden vikaantuminen ei aiheuta samantilaista tuotannon menetystä kuin itse venttiiliin, jonka tapauksessa putkisto täytyy avata. Ne molemmat kuuluvat kuitenkin A-luokkaan, sillä niiden vikaantuminen on vakava turvallisuusriski. Hätäsulkuventtiilien toimilaitteissa on huomattu vikaantumisia, ja ne ovatkin nestekaasuosaprosessin kriittisimmät laitteet.

Toiseksi kriittisimpinä laitteina tulevat maapeitteiset nestekaasusäiliöt, luonnollisesti tankkien vikaantuminen on vakava turvallisuus- ja ympäristöriski ja aiheuttaa todella suuret korjaus- ja seurauskustannukset. Tankkien jälkeen hätäsulkuventtiilien itse venttiiliosiot saavuttavat erittäin korkean kriittisyyden johtuen niiden turvallisuuskriittisyydestä ja tuotannon menetyksistä. Nestekaasuosaprosessissa tuotannon menetyksen painoarvo on melkein jokaisessa tapauksessa 100 % kokonaistuotannosta, kun putkisto joudutaan avaamaan. Yrityksen linjauksen mukaisesti nestekaasuun täytyy olla kahden sulkuventtiilin takana, kun putkisto avataan huoltotöitä varten.

Nestekaasupumput sijoittuvat kriittisyydeltään A-luokkaan, vaikka pumput on kahdennettu. Tämä johtuu siitä, ettei kahdennus ole täydellinen. Pumput täytyy

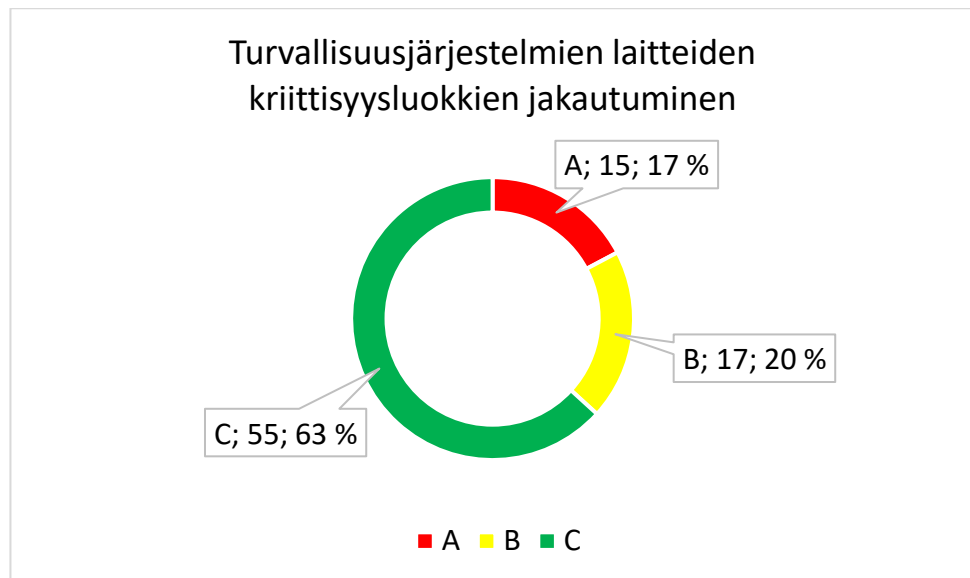
huoltaa tiettyjen käyttötuntien välein ja toisen pumpun ollessa huollossa toivotaan, ettei ainoaan käytettävissä olevaan pumppuun ilmene vikoja. Pumppujen huolloissa voi kestää pitkiä aikoja, pahimmissa tapauksissa yhdellä pumpulla joudutaan pärjäämään vuodessa useita kuukausia. Pumpun vioittuessa toisen pumpun ollessa huollossa tuotanto menetetään välittömästi kokonaan ja uuden pumpun hankkimisessa tulee kulumaan pitkä aika. Pumppujen vikaantumiseen ei ole ennen kuulumatonta, mikä entisestään nostaa niiden kriittisyyttä.

Aiemmin mainitut varoventtiilit kuuluvat myös A-kriittisyysluokkaan, niiden toiminta on turvallisuuden kannalta kriittistä. Vikaantuessaan ne joko eivät toimi paineen ylittyessä tai päästävät normaaleissa putkiston paineissa nestekaasua pihalle. Osa putkiston sulkuventtiileistä kuuluu A-luokkaan, mikä johtuu pääasiassa niiden sijainnista. Sulkuventtiilin sijaitessa putkiston kohdassa, jossa pitkä matka putkistoa tulee tyhjentää nestekaasusta vaihtamista varten, putkiston tyhjentämisessä kuluu useita päiviä.

B-kriittisyysluokka koostuu pääasiassa sulkuventtiileistä ja tyhjennysventtiileistä, joiden vaihtamista varten vain lyhyitä putkiosuuksia joudutaan tyhjentämään nestekaasusta. C-luokkaan lukeutuu pitkälti putkistojen painemittareita ja pumppujen osia, jotka ovat helposti huollettavissa, sekä instrumentteja, joiden vikaantuminen ei käytännössä ole merkittävää.

8.4 Turvallisuusjärjestelmien kriittisyysluokittelu

Turvallisuusjärjestelmien kriittisyysluokittelussa luokiteltiin yhteensä 87 laitetta. Näistä A-kriittisyysluokkaan kuului 15 laitetta, mikä vastaa noin 17 % laitteista. B-kriittisyysluokkaan kuului 17 laitetta eli noin 20 % laitteista. C-kriittisyysluokka oli suurin, sisältäen 55 laitetta, mikä vastaa noin 63 % laitteista. Turvallisuusjärjestelmien kriittisyysluokkien jakautuminen on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. Turvallisuusjärjestelmien laitteiden kriittisyysluokkien jakautuminen.

Selvästi kriittisimmiksi laitteiksi muodostuivat kohdesuojauksen ohjausventtiilien toimilaitteet. Toimilaitteita on jouduttu huoltamaan vuosien saatossa, ja ne ovat erittäin tärkeitä turvallisuuden kannalta, sillä ne ohjaavat veden kulkua palovesiputkistoon ja ovat keskeinen osa laitoksen turvallisuusautomaatiojärjestelmää. Seuraavaksi kriittisin laite oli kaasu- ja palojärjestelmää ohjaava Gas Monitor+ -ohjauspaneeli. Tämä paneeli on keskeinen osa laitoksen turva-automaatiojärjestelmää, sillä sen tehtävänä on jatkuvasti valvoa mahdollisia kaasuvuotoja ja tulipaloja. Se ei ainoastaan tunnista uhkia, vaan se myös aktivoi automaattiset suojaustoimenpiteet, kuten hälytykset ja tarvittavat sulut ja kohdesuojauksen.

Gas Monitor+ -ohjauspaneeliin on liitetty useita kaasu- ja lämpöilmaisimia, joista vain yksi kummastakin ilmaisuluokasta päätyivät A-luokkaan niiden kriittisen sijainnin perusteella. Pumppaamossa sijaitsevat kaasu- ja lämpöilmaisimet arvioitiin erityisen tärkeiksi turvallisuuden kannalta, sillä pumppaamo on pääasiassa miehittämätön, ja siellä sijaitsee vain yksi kaasu- ja yksi lämpöilmaisim. Muut kaasu- ja lämpöilmaisimet sijoittuivat B-luokkaan. Lisäksi A-luokkaan kuuluivat laitoksen hätäseispainikkeet, joiden toiminta on luonnollisesti keskeistä turvallisuuden kannalta.

B-kriittisyysluokka koostuu pääasiassa kaasu- ja lämpöilmaisimista, kohdesuojauksen painikkeista, palohälytyskeskuksesta sekä kohdesuojauksen käsilaukaisuventtiileistä. Nämä laitteet ovat keskeisiä turvallisuuden kannalta, ja niiden

toiminta on olennaista hätätilanteiden hallinnassa. B-luokan laitteiden vaikutus on merkittävä, mutta niiden kriittisyys eroaa selvästi A-kriittisyysluokan laitteista, jotka ovat selvästi tärkeämpiä turvallisuuden varmistamiseksi.

C-luokkaan puolestaan kuuluvat laitteet, joiden vikaantuminen ei ole turvallisuuden kannalta merkittävä huolenaihe, kuten savuilmaisimet ja hälyttimet, joita on tiloissa useita. Näiden lisäksi C-luokkaan sijoittuvat kohdesuojauksen palovesiputkiston tyhjennys- ja sulkuventtiilit.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Woikoski Oy:n Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksen laitteistolle kriittisyysluokittelu kriittisyysanalyysin avulla. Kriittisyysanalyysi perustui PSK 6800 -standardiin, joka tarjosi vankat periaatteet luokittelun toteuttamiselle. Työn tavoite saavutettiin, ja laitokselta luokiteltiin yhteensä 418 laitetta, jotka koottiin dynaamiseen luokittelutaulukkoon. Tämä taulukko on helposti muokattavissa ja tulee olemaan hyödyllinen työkalu myös tulevaisuudessa kriittisyysluokitteluprojekteissa.

Kriittisyysluokittelun tulokset paljastavat, että useat laitteet luokitellaan A-kriittisyysluokkaan, mikä johtuu niiden vikaantumiseen liittyvistä turvallisuusriskeistä. Nestekaasua käsittelevän tehtaan tiukat turvallisuusvaatimukset korostuvat tässä luokittelussa, ja se erottaa sen monista muista tuotantolaitoksista, joissa kriittisten laitteiden turvallisuusriskejä ei välttämättä esiinny yhtä paljon. Lisäksi selvästi eniten A-kriittisyysluokan laitteista muodostui nestekaasuputkistoon sijoitetuista laitteista, joka korostaa putkiston laitteiden kriittisyyttä tuotannolle ja turvallisuudelle.

Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksen laitteiston kriittisyysanalyysi ja luokittelu luopuutuu kunnossapidon tehokkaammalle ja tarkoituksenmukaisemmalle resurssien kohdentamiselle. Analyysin avulla laitoksen kriittiset komponentit on tunnistettu ja luokiteltu sen mukaan, miten merkittäviä ne ovat turvallisuuden, ympäristön ja taloudellisten menetysten kannalta. Tämä auttaa kunnossapitoa priorisoimaan toimenpiteensä siten, että resurssit keskitetään ensisijaisesti niihin laitteisiin, joiden vikaantuminen aiheuttaisi merkittävimmät häiriöt laitoksen toiminnalle. Lisäksi kriittisyysluokittelu toimii käytännön työkaluna riskienhallinnassa ja auttaa laitosta ennakoimaan ja minimoimaan potentiaalisia vaaroja tehokkaammin.

Jokaiselle laitokselle toteutettu kriittisyysanalyysi on ainutlaatuinen, sillä analyysiin vaikuttavat muun muassa laitoksen toimintaympäristö, käytettävät prosessit ja erityiset turvallisuusvaatimukset. Näin ollen analyysimenetelmiä on usein tarpeen muokata laitoksen erityistarpeiden mukaisiksi, jotta saadaan mahdollisimman luotettavat ja hyödylliset tulokset. Tämän takia kriittisyysanalyysien tuloksia

on vaikea vertailla suoraan muiden laitosten vastaaviin tuloksiin, sillä kunkin analyysin painoarvot, kertoimet ja arviointikriteerit vaihtelevat. Samalla tämä korostaa jokaisen kriittisyysanalyysin paikallista merkitystä ja käyttöarvoa, sillä ne tarjoavat kohdennettua tietoa, jota voidaan hyödyntää juuri kyseisen laitoksen riskienhallinnassa ja tuotannon ylläpidossa.

Kriittisyysanalyysi perustui pitkälti kvalitatiiviseen tietoon, eli työntekijöiden kokemuksiin ja havaintoihin laitteiston toiminnasta ja luotettavuudesta. Nykyisin kvantitatiivista tietoa, kuten vikaantumisvälejä ja huoltovälejä, ei ole riittävästi saatavilla, mikä voi vaikuttaa analyysin tarkkuuteen. Jatkossa kannattaakin työssä luotu laitehierarkia siirtää kokonaisuudessaan laitoksen kunnossapitojärjestelmään. Kun kunnossapitotöitä aletaan kirjata järjestelmään, sinne kertyy ajan myötä kvantitatiivista tietoa, mikä mahdollistaa laitteiden kriittisyyden tarkemman määrittämisen ja päivityksen.

Pirkkalan nestekaasutäyttölaitoksen laitteiston kriittisyysanalyysi ja luokittelu ei ole vain kertaluonteinen toimenpide, vaan se on jatkuva prosessi, joka vaatii säännöllistä tarkastelua ja päivitystä. Kriittisyysanalyysia tulisi jatkossa päivittää ja muokata, kun vikaantumisia sattuu ja laitos alkaa saavuttaa maturiteettinsa. Koska laitos on vielä suhteellisen nuori, sen toimintakäytännöt ja laitteiston luotettavuus kehittyvät jatkuvasti. Säännölliset päivitykset mahdollistavat kriittisyysluokituksen tarkentamisen ja auttavat tunnistamaan mahdolliset heikkoudet tai kehityskohteet, mikä puolestaan parantaa laitteiston käyttöastetta ja toimintavarmuutta. Tällä tavoin kriittisyysanalyysi voi tukea ja varmistaa, että laitteiston huolto ja kunnossapito vastaavat sen todellista tilaa ja riskejä myös tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Al-Hourani, S. 2020. Rescheduling Preventive Maintenance For Utilities Equipment Using Criticality Analysis. Konferenssijulkaisu. Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC).11-12.7.2020. Mekka, Saudi-Arabia. 1-6. Vaatii käyttöoikeuden. <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/9229946>

Cameron, K., Lewis, A., Montalvão, D. & Herfatmanesh, M. R. 2023. In-service performance of emergency shutdown valves and dependent operational relationships in the offshore oil and gas industry. Petroleum 9 (4), 613–620. Viitattu 28.10.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405656123000391?via%3Dihub>

Crespo, A., Moreu, P., Sola, A. & Gómez, F. 2016. Criticality Analysis for Maintenance Purposes: A Study for Complex In-service Engineering Assets. Quality and Reliability Engineering International, 32 (4), 519–533. Vaatii käyttöoikeuden. <https://onlinelibrary-wiley-com.libproxy.tuni.fi/doi/10.1002/qre.1769>

Crosley, B., & Indgjer, M. 2018. Integrating fire and gas safety systems with process control systems: Why, what and how. Hydrocarbon Processing. 10.2018. Viitattu 19.10.2024. <https://www.det-tronics.com/Content/Documents/det-tronics-integrating-fire-and-gas-safety-systems.pdf>

Järviö, J. 2012. Kunnossapito tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åstrom, Thomas. 2007. Kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy

Kauppalehti. n.d. Woikoski Oy. Verkkosivu. Viitattu 26.9.2024. <https://www.kauppalehti.fi/yriytykset/yriyty/woikoski+oy/0165735-4>

Kosan Crisplant. 2012a. Service manual Chain conveyor. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla.

Kosan Crisplant. 2012b. Service manual Common equipment. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla.

Kosan Crisplant. 2012c. Service manual Pallet loader. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla.

Kosan Crisplant. 2012d. Service manual Pallet unloader. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla.

Kosan Crisplant. 2012e. Service manual Inlet/outlet. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla.

Kosan Crisplant. 2012f. Service manual Leak detectors. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla.

Kosan Crisplant. 2012g. Service manual Common equipment. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla

Kosan Crisplant. 2012h. Service manual Carousel. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla

Kosan Crisplant. 2012j. WIRING DIAGRAM MOTOR CONTROL PANEL PP01 AS BUILT. Projektidokumentaatio. Ei julkisesti saatavilla.

Makeen .n.d. Universal controller. Verkkosivu. Viitattu. 28.10.2024.

https://www.makeenenergy.com/products-solutions/lpg-solutions/control-equipment/gb-muc_universal-controller-muc

Michael Smith Engineers. n.d. Side Channel Pumps. Verkkosivu. Viitattu 4.10.2024. <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/side-channel-pumps>

Mishael, J., & Sheno, S. 2015. Design and structural analysis of mounded LPG bullet. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4 (1), 254-259. Saatavilla. <https://www.ijert.org/research/design-and-structural-analysis-of-mounded-lpg-bullet-IJERTV4IS010335.pdf>

Mobley, R. 2014. Maintenance Engineering Handbook. E-kirja. 8. painos. New York: McGraw-Hill Education. Viitattu 25.9.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-accessengineeringlibrary-com.libproxy.tuni.fi/content/book/9780071826617>

Neste. n.d. Nestekaasu esite. PDF-tiedosto. https://www.neste.fi/sites/neste.fi/files/NO_Nestekaasu_esite_2.pdf

Parkash, S. 2010. Petroleum Fuels Manufacturing Handbook: Including Specialty Products and Sustainable Manufacturing Techniques. 1. Painos. New York: McGraw-Hill Education. Viitattu 25.9.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-accessengineeringlibrary-com.libproxy.tuni.fi/content/book/9780071632409/chapter/chapter1>

PSK 6201. 2022. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu. 4.10.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/standardit/>

PSK 6800. 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu. 4.10.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/standardit/>

SFS-EN 13306. 2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 27.9.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/840250.html.stx>

SFS-EN ISO 13850. 2015. Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 28.10.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Skousen, P. 2011. Valve Handbook. 3. painos. New York: The McGraw-Hill Companies. Viitattu 25.10.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-accessen-gineeringlibrary-com.libproxy.tuni.fi/content/book/9780071743891/chapter/chapter3#/ch03lev1sec03>

Suominen, K. Site manager. 2024. Haastattelu 11.10.2024. Pirkkala.

Tukes .n.d. Nestekaasupullot. Verkkosivu. Viitattu. 5.10.2024. <https://tukes.fi/nestekaasupullot>

Valmet. n.d. Emergency shutdown valves. Verkkosivu. Viitattu 22.10.2024 <https://www.valmet.com/flowcontrol/valves/emergency-shutdown-valves/>

Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista 20.12.2012/858. Viitattu 11.10.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120858>

Vehviläinen, P. 2013. Nestekaasutäytölaitoksen toimintaohjeet. Woikoski Oy. Ei julkisesti saatavilla.

Woikoski .n.d.b. Nestekaasut. Verkkosivu. Viitattu. 5.10.2024. https://woikoskitore.woikoski.fi/nestekaasut.html?product_list_limit=24

Woikoski .n.d.a. Historia. Verkkosivu. Viitattu. 5.10.2024. <https://www.woikoski.fi/woikoski/tietoa-woikoskesta/historia.html>

Woikoski. 2021. Pirkkala PID punakynä. Putkisto- ja instrumentointipiirustus. Ei julkisesti saatavilla.