



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Henri Mäkinen

Turbiinien ja high cycle järjestelmien koulutusmateriaali

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

20.01.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Henri Mäkinen Turbiinien ja high cycle järjestelmien koulutusmateriaali 34 sivua + 2 liitettä 20.01.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Manager, Instrumentation Tapani Markus Lehtori Heikki Paavilainen
Insinöörityön aiheena oli suunnitella ja toteuttaa koulutusmateriaali Metso Flow Control Oy:lle liittyen höyry- ja kaasuturbiineihin sekä high cycle järjestelmiin. Tavoitteena oli tuottaa kaksi erillistä koulutusmateriaalia yrityksen sisäiseen käyttöön esimerkiksi koulutustilaisuuksia varten. Aikaisemmin tieto opinnäytetyössä käsitellyistä aihealueista on ollut todella vaikeasti saatavissa ja löydettävissä, joten materiaalin tarkoituksena on helpottaa tilaisuuksien pitämistä sekä lyhentää niiden pituutta. Raportissa käydään läpi höyry- ja kaasuturbiinien sekä high cycle järjestelmien teoriaa, toimintaperiaatetta sekä tuodaan esille yleisimmät venttiiliratkaisut. Lisäksi raportissa otetaan huomioon turvallisuusluokitukset venttiiliteollisuuden näkökulmasta. Koulutusmateriaali suunniteltiin raportissa käsiteltyjen asioiden pohjalta. Koulutusmateriaalissa tuodaan esille haasteet asiakkaiden sekä instrumentointisuunnittelun näkökulmasta. Materiaalissa esitellään yhdistelmäratkaisut instrumentointikaavioiden muodossa ja tuodaan esille tärkeimpiä huomioita yhdistelmistä. Koulutusmateriaalin tarkoituksena on auttaa yritystä järjestämään tehokkaita ja lyhyitä koulutustilaisuuksia ja lisätä yrityksen sisäistä tietotaitoa höyry- ja kaasuturbiineista sekä high cycle järjestelmistä.	
Avainsanat	Instrumentointi, turbiini, high cycle, koulutusmateriaali

Author Title Number of Pages Date	Henri Mäkinen Training Material for Turbines and High Cycle Valve Applications 34 pages + 2 appendices 20 January 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Tapani Markus, Manager, Instrumentation Heikki Paavilainen, Senior Lecturer
The purpose of this Bachelor's thesis was to design and implement training material for Metso Flow Control Oy concerning steam and gas turbines as well as high cycle applications. The objective was to produce two separate training materials for the company's internal training. However, until now topic-related information has been difficult to obtain and hard to find from different sources, and therefore the aim of the training material is to make it easier to organize and shorten the company's training events. The thesis consists of the theory and operating principles of steam and gas turbines as well as high cycle applications. The common valve and instrumentation solutions are examined in the thesis as well. Additionally, safety classifications of valve industry are considered. The training materials were designed according to the topics in this thesis. The training material also deals with the challenges faced by customers and the instrumentation design from the engineering point of view. Furthermore, instrumentation diagrams are presented with important remarks on the assembly. In conclusion, the purpose of the training material is to assist the company in arranging quick and brief training events and also to increase knowledge about steam and gas turbines as well as high cycle applications.	
Keywords	Instrumentation, turbine, high cycle, training material

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet ja rajaaminen	1
1.2	Metso Oyj	2
1.3	Metso Flow Control Oy	2
2	Turbiini järjestelmät	3
2.1	Turbiiniliiketoiminta	3
2.2	Höyryturbiini	4
2.2.1	Toimintaperiaate	4
2.2.2	Korkea-, väli- ja matalapaineturbiinit	5
2.2.3	Venttiiliratkaisut höyryturbiinisovelluksille	6
2.2.4	ND9000, VG9000 ja SG9000	9
2.3	Kaasuturbiini	10
2.3.1	Toimintaperiaate	10
2.3.2	Venttiiliratkaisut kaasuturbiinisovelluksille	12
3	High cycle järjestelmät	13
3.1	PDS	14
3.1.1	Toimintaperiaate	14
3.1.2	Venttiiliratkaisut PDS-sovelluksille	15
3.2	PSA	17
3.2.1	Toimintaperiaate	18
3.2.2	Venttiiliratkaisut PSA-sovelluksille	19
4	Turvallisuusluokitukset	20
4.1	ATEX	20
4.2	SIL	23

5	Instrumentointisuunnittelu	25
5.1	Instrumentointisuunnittelun menetelmät ja vaatimukset	26
5.2	Instrumentointikomponentit	28
6	Koulutusmateriaali	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	33
	Liitteet	
	Liite 1. Koulutusmateriaali höyry- ja kaasuturbiineista (vain työn tilaajan käytettävissä)	
	Liite 2. Koulutusmateriaali high cycle-järjestelmistä (vain työn tilaajan käytettävissä)	

Lyhenteet

ATEX	<i>Atmosphères Explosives</i> . Räjähdyksvaarallisia komponentteja ja tiloja koskeva direktiivi.
CHP	<i>Combined Heat and Power</i> . Sähkön ja lämmön yhteistuotanto.
EPL	<i>Equipment Protection Level</i> . Komponentin suojausluokka.
FC	<i>Fail-Close</i> . Venttiili sulkeutuu hätätilanteessa.
FL	<i>Fail-Last</i> . Venttiili jää viimeiseen asentoon hätätilanteessa.
FO	<i>Fail-Open</i> . Venttiili avautuu hätätilanteessa.
KP	<i>High Pressure</i> . Korkeapaine.
MP	<i>Low pressure</i> . Matalapaine.
PDS	<i>Product Discharge System</i> . Reaktiotuotteen eroittelu systeemi.
PSA	<i>Pressure Swing Adsorption</i> . Fysikaalinen adsorptio.
SIL	<i>Safety Integrity Level</i> . Turvallisuuden eheystaso.
VP	<i>Intermediate Pressure</i> . Välipaine.

1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on suunnitella ja toteuttaa yksikkökohtainen ja globaali koulutusmateriaali Metso Flow Control Oy:n käyttöön sisäisiin koulutustilaisuuksiin. Venttiiliteollisuuden kilpailu on kovaa, joten kaikkien osastojen osaaminen on elintärkeää toimivan ja kannattavan yritystoiminnan kannalta. Koulutusmateriaalin ensisijainen tehtävä on auttaa muita osastoja ymmärtämään ja kouluttamaan paremmin tietyt tapaukset tai tilanteet venttiilien ja niihin liittyvän instrumentoinnin näkökulmasta sekä lisätä yleistä tietotaitoa instrumentoinnista. Materiaalin tarkoituksena ei ole opettaa asioita alusta alkaen vaan tuoda esille yleisimmät Metson tarjoamat ratkaisut sillä oletuksella, että koulutettavilla henkilöillä on perusteet hallinnassa.

Opetusmateriaalin kaksi pääaihetta ovat: turbiiniliiketoiminnan venttiilit, jotka sisältävät höyry- ja kaasuturbiinit ja sekä nopeat high cycle venttiilijärjestelmät. Aihealueet liittyvät instrumentoinnin kannalta vahvasti toisiinsa ja näin tukevat toisiaan mikä auttaa koulutustilaisuuksien suunnittelua ja niiden järjestämistä.

1.1 Työn tavoitteet ja rajaaminen

Tämä insinööriyö on tehty Metso Flow Control Oy:n tilauksesta. Työn pääasiallinen tavoite on saada laadittua kaksi tiivistä ja mahdollisimman selkeää koulutuspakettia, joita voidaan hyödyntää koulutustilaisuuksissa yksikkökohtaisesti ja mahdollisesti globaalisti. Tämänhetkinen tilanne on se, että tietoa on saatavilla liian monessa paikassa ja liian yksityiskohtaisesti. Esimerkiksi nopeiden alle tunnin kestävien tilaisuuksien pitäminen on todella haastavaa, koska sopivaa koulutusmateriaalia, mikä rajaa pääkohdat ja yleisimmät ratkaisut instrumentoinnin näkökulmasta, ei ole saatavilla. Lisäksi tavoitteena on saada materiaali saataville myös mittakuva- ja instrumentointityöryhmälle, jotka tekevät päivittäin töitä turbiini sekä high cycle järjestelmien kanssa. Materiaalia voidaan näin ollen hyödyntää myös esimerkiksi uuden työntekijän koulutuksessa tai silloin jos osaaminen aihealueesta ei ole riittävällä tasolla.

Työssä tullaan käsittelemään kahta aihealuetta venttiilien ja instrumentoinnin näkökulmasta. Työ tulee keskittymään yksityiskohtaisesti höyry- ja kaasuturbiineihin

sekä nopeisiin high cycle venttiilijärjestelmiin. Molemmista aihealueista tullaan käymään läpi tarpeellinen teoria, haasteet ja vaatimukset sekä Metson tarjoamat ratkaisut venttiileiden kuten myös instrumentoinnin näkökulmasta. Lisäksi tarkastellaan kahta turvallisuusluokitusta, ATEX-direktiiviä ja SIL-luokitusta. Työssä esitellään myös instrumentoinnin työtehtävä, yleisimmät asiakasvaatimukset sekä yleisimmät instrumentointikomponentit. Lopuksi tuodaan esille tuotettu koulutusmateriaali ja siihen liittyvät kommentit sekä esitetään yhteenveto opinnäytetyön tekemisestä.

1.2 Metso Oyj

Metso on globaalisti toimiva suomalainen teollisuus- ja pörssiyritys, jonka toiminta keskittyy venttiili-, öljy- ja kaasuteollisuuteen sekä kivenmurskaukseen. Metson toimintaa esiintyy yli 50 maassa kuudessa maanosassa. Tuotevalikoima on hyvin laaja: se sisältää laitteita, järjestelmiä, teollisuusventtiilejä ja venttiiliohjaimia. Kaivosteollisuudelle tyypillisiä ovat laajat projektitoimitukset, kun taas öljy- ja kaasuteollisuuteen sekä kivenmurskaukseen tähtäävät toimialat toimittavat enimmäkseen yksittäisiä laitteita ja pienempiä yhdistelmäkokonaisuuksia. Metso työllistää yli 12 000 työntekijää maailmanlaajuisesti. Yrityksen liikevaihto vuonna 2017 oli noin 2 700 miljoonaa euroa. Metson pääkonttori sijaitsee Helsingissä. [1.]

1.3 Metso Flow Control Oy

Metso Flow Control on globaali öljy- ja kaasuteollisuuteen keskittyvä toimintalinja. Liiketoimitalinjan Suomen pääkonttori sijaitsee Vantaalla, missä suunnitellaan ja kehitetään esimerkiksi säätö-, sulku- ja älykkäitä turvaventtiilejä sekä venttiiliohjaimia. Lisäksi toimipisteen kautta asiakkaalle toimitetaan vara- ja kulutusosia sekä muita palveluja kuten älykkäät kenttälaittepalvelut tai prosessin kestävyyspalveluita. Toimintalinja on alun perin lähtöisin Helsingin Roihupellosta, missä sijaitsi entinen tuotantolaitos sekä pääkonttori. Vuonna 2011 Vantaan Hakkilaan rakennettiin uusi ja moderni tuotantolaitos sekä toimitilat venttiilisuunnittelulle. [2.]

2 Turbiini järjestelmät

2.1 Turbiiniliiketoiminta

Höyry- ja kaasuturbiineilla on nykyajan teollisuudessa suuri merkitys energian tuotannossa. Turbiiniliiketoiminta on vuosittain kasvava maailmanlaajuinen kilpailukenttä monille suurille alan yrityksille. Höyry- ja kaasuturbiiniliiketoiminta suuntien ennustetaan kasvavan tasaisesti aina vuoteen 2025 asti. Kaasuturbiinien kysyntää vauhdittaa kasvava sähköntarve globaalisti sekä energiateollisuuden vaatimukset kehittää ympäristöystävällisempiä energianlähteitä. Höyryturbiinien voimavarana pysyy vielä toistaiseksi sähkön ja lämmön yhteistuotanto eli CHP, jonka avulla saadaan hyötysuhde korkeammaksi. Höyryturbiiniliiketoimintaan vaikuttavat negatiivisesti nousevat ympäristöhuolet, joita lämpövoimalaitokset aiheuttavat. Energiateollisuus pyrkii jatkuvasti pääsemään eroon uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä, koska nämä edistävät ilmastonmuutosta. [3; 4.]

Säätely, uudet teknologiat ja innovaatiot ohjaavat hyvin vahvasti nykypäivän turbiiniliiketoiminnan palveluita. Kehittyneissä ja kehittyvissä maissa energian tarve on kasvanut kiihtyvällä vauhdilla, mikä on johtanut lämpövoimalaitoksien määrän kasvuun. Molemmilla liiketoiminnan alueilla Aasian markkinoiden kasvun ennustetaan olevan suuressa roolissa energian tarpeen kasvaessa. Höyryturbiiniliiketoiminnan ennustetaan kasvavan eniten Kiinassa. Teollisuuden sekä väestön määrän kasvu aiheuttaa todella suuren paineen, joten höyryturbiinipalveluilla pystytään takaamaan riittävä energian tarve. Kaasuturbiinipalveluiden odotetaan myös kasvavan Aasiassa, koska kaupunkilaistuminen, väestön kasvu ja ympäristöystävälliset energiamuodot kiristävät markkinoiden vaatimustasoa. Maailmanlaajuinen tarve molempien liiketoiminta-alojen kannalta on kasvava, vaikka höyryturbiinipalvelujen maine nykypäivänä on heikkenemään päin. [3; 4.]

Kasvava tarve turbiiniliiketoiminnan alueella vaikuttaa myös Metson yritykseen positiivisesti. Yritys tarjoaa venttiili- ja instrumentointiratkaisut molemmilla osa-alueilla vuosien kokemuksella. Metson kannalta olennaista on toimittaa asiakkaalle toimiva venttiiliratkaisu, jotta turbiinin toiminta on jatkuvaa. [5; 6.]

2.2 Höyryturbiini

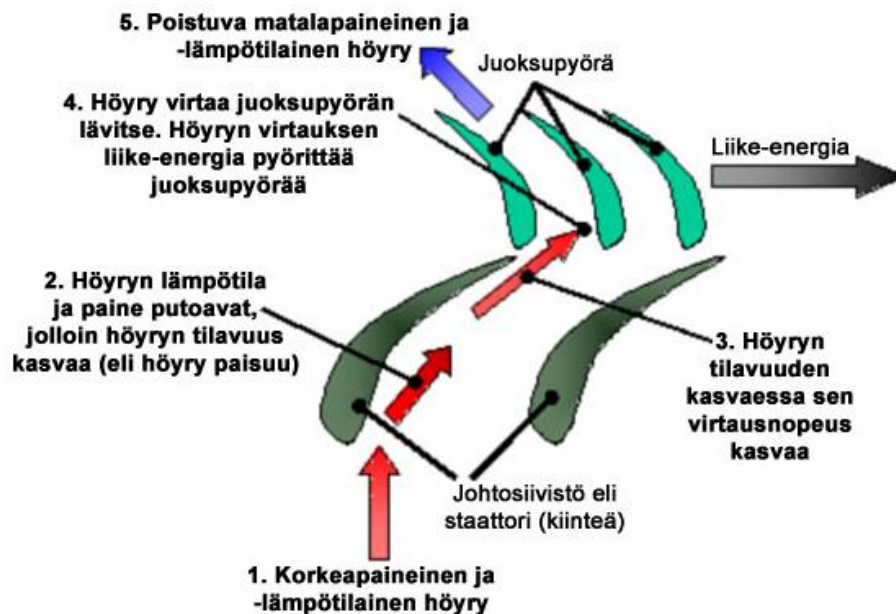
Höyryturbiini on turbiini, jossa kuumennetun ja tiivistetyn höyryn potentiaalienergia muunnetaan kineettiseksi energiaksi, minkä jälkeen energia muunnetaan turbiinin akselin pyörimisenergiaksi. Generaattoriin yhdistettynä saadaan aikaiseksi sähköenergiaa. Turbiinin käyttöön vaadittava höyry voidaan saada luonnosta peräisin olevasta lähteestä, esimerkiksi kuumasta lähteestä, höyryn tuottamiseen tehdystä laitteistosta tai höyrygeneraattorista. Höyryturbiineja käytetään lauhde-, vastapaine- ja ydinvoimalaitoksissa. Höyryturbiinit jaetaan kahteen ryhmään: impulssiturbiineihin ja reaktioturbiineihin. Höyryturbiineja valmistetaan moneen eri teholuokkaan käyttötarpeen perusteella. Turbiinien teholuokat vaihtelevat 1–1600 MW:n välillä [7; 8.]

Höyryturbiini on kehitetty 1800-luvun loppupuolella. Kehittäjä oli englantilainen insinööri Sir Charles Parsons vuonna 1884. Höyryturbiinit yleistyivät laivoissa, ja niiden tehot kasvoivat vähitellen 1940-luvulle asti, jolloin teholuokat suurimmissa turbineissa olivat 100 MW:n luokkaa. 1970-luvulle tultaessa turbiinien teholuokka oli kasvanut jyrkästi. Nykypäivänä turbiinien kehittyneisyys näkyy varsinkin siivekkeissä, jotka ovat kehittyneet jatkuvasti. [7; 8.]

2.2.1 Toimintaperiaate

Yksinkertaistettuna höyryturbiini koostuu höyrykattilasta, turbiiniosasta, lauhduttimesta, syöttövesipumpusta, generaattorista ja monesta apulaitteesta kokonaisuuden ympärillä. Höyryturbiinissa työtä tekee vesi ja höyry, kun taas kaasuturbiinissa ilma, polttoaine ja kaasu. Toimintaperiaate molemmissa tapauksissa on hyvin samanlainen. Toiminta perustuu kuumaan höyryyn, joka sisältää lämpöenergiaa. Lämpöenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi turbiinin siivekkeiden avulla. Turbiinin siivekkeiden tekemän työ mahdollistaa akselin pyörimisen, joka on yhteydessä generaattoriin, mikä muuttaa pyörimisenergian sähköenergiaksi. [9.]

Kuvan 1, mukaisesti korkean paineen ja lämpötilan omaava höyry saapuu turbiiniin, minkä jälkeen siivekkeiden tekemä työ alentaa höyryn lämpötilaa sekä painetta, jolloin höyryn tilavuus kasvaa. Virtausnopeus kasvaa sen mukaisesti mitä suuremmaksi höyryn tilavuus muuttuu. Virtauksen aiheuttama liike-energia pyörittää roottoria, jonka ansiosta liike-energia siirtyy akselille. [10.]

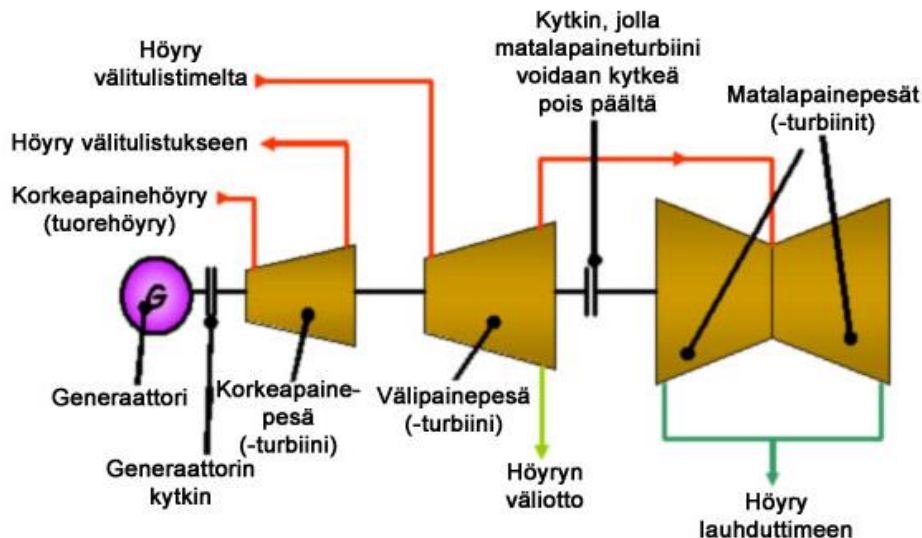


Kuva 1. Höyryturbiinin siivekkeiden toiminta [10].

2.2.2 Korkea-, väli- ja matalapaineturbiinit

Voimalaitokset koostuvat yleisesti eri paineluokan turbiinipesistä, jotka ovat yhdistettynä yhteen akseliin, jonka tehtävänä on pyörittää generaattoria. Paineluokkien pesät eroavat toisistaan rakenteeltaan ja tehtävältään, joten voidaan puhua korkea-, väli-, ja matalapaineturbiineista. Korkea- ja matalapaineturbiinien eroavaisuudet tulevat esille höyryn tilavuuden kasvaessa, minkä vuoksi MP-turbiinien siivekkeiden pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin KP-turbiinien. Lisäksi MP-turbiinien siivekkeiden koko kasvaa höyryn virtauksen edetessä. Høyryn paineen muutos on suuri myös KP- ja MP-turbiinien välillä, joka johtuu höyryn paineen laskemisesta kun tuorehöyry menee KP-turbiinin lävitse. Esimerkiksi höyryn tulopaine KP-turbiiniin tultaessa on 50-250 bar, kun

taas MP-turbiinista lauhduttimeen poistuva paine on enää 0,02-0,06 bar. Turbiinivoimalaitoksen kiertoprosessi on yksinkertaistettu kuvassa 2, jossa tuorehöyry tulee KP-turbiinille, josta se jatkaa välitulistukseen. Välitulistuksia voi voimalaitoksesta riippuen olla useampia. Tämän jälkeen höyry liikkuu VP-turbiinin kautta MP-turbiinille, minkä poistuva höyry johdetaan lauhduttimeen, missä se muuttuu takaisin vedeksi. MP-turbiineja voi voimalaitoksen koosta riippuen olla myös useampia. [8; 10.]

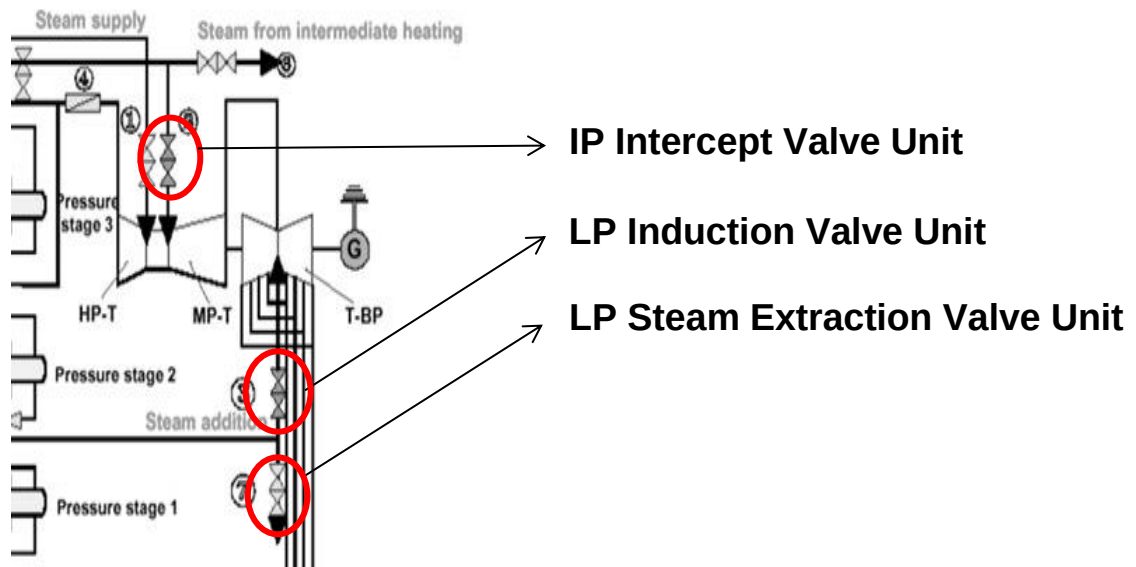


Kuva 2. Turbiinin rakenne [10].

2.2.3 Venttiiliratkaisut höyryturbiinisovelluksille

Höyrytubiineissa venttiilien yleisenä tehtävänä on säätää turbiinille menevän höyryn määrää. Turbiinikokonaisuudet sisältävät myös useita hätäsulkuventtiilejä. Toiminnallisia haasteita asettavat korkeat ja nopeasti muuttuvat lämpötilat, tiiveysvaatimukset, painevaatimukset, pitkät huoltoväli sekä erittäin nopeat operointiajat. Lisäksi haasteena ovat vaihtuvat höyryn paineluokat, jotka voidaan jakaa matala-, väli- ja korkeaan paineluokkaan. [5.]

Metson tarjoamat ratkaisut keskittyvät matala- ja välipaineluokan ratkaisuihin. Kuvassa 3 nähdään venttiiliyksiköjen sijainti turbiinin rakenteessa.

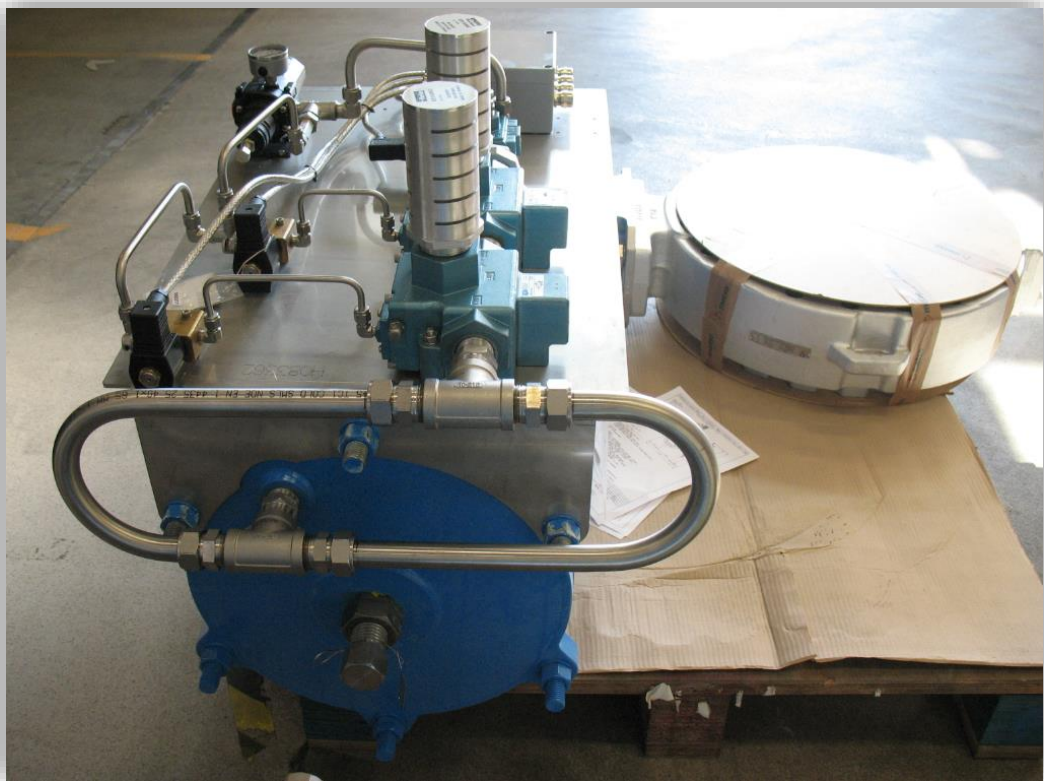


Kuva 3. Venttiiliyksiköt turbiinin rakenteessa [5].

Väli- ja matalapaineluokkaan suunniteltujen venttiiliyksiköjen ensisijainen tehtävä on säätää höyryn virtausta turbiinille, joka laskee tai nostaa turbiinin akselin pyörimisnopeutta virtauksen suuruudesta riippuen. Yksiköt sijaitsevat putkistossa, joka ohjataan höyrykattilasta turbiinille. LP-induktioventtiiliyhdistelmät asennetaan yhdistelmänä putkistoon. Virtauksen säätö tapahtuu muuttamalla venttiilissä olevan läpän asentoa, jota ohjataan säätöventtiiliyhdistelmällä. Hätäsulkuventtiili sulkee virtauksen mahdollisen vaaratilanteen syntyessä. Yksiköt sisältävät Neles-sarjan L-, BW- tai Neldisc-sarjan läppäventtiilit (kuvassa 4) höyryn paineluokan perusteella. Instrumentoinnin näkökulmasta asennoittimen lisäksi sovellukset vaativat yleensä suodatinsäätimen, magneettiventtiilin ja ilmaohjatun venttiilin. Venttiilille asetetut operointiaika ja toimintavaatimukset ohjaavat hyvin paljon suuntaa, kuinka monta erilaista komponenttia tarvitaan sovelluksen toiminnan kannalta. [5.]

Läppäventtiilin vahvuus on erinomainen tiiveys, jonka tärkeys tulee esille, kun turbiinia ajetaan täydellä teholla, jolloin painehäviöiden minimoiminen on hyvin tärkeää. BW-sarjan vahvuuteen voidaan lukea myös erittäin korkea K_V -luku, joka kertoo venttiilin läpi virtaavan aineen maksimimäärän (m^3/h). Toimilaitteen osalta käytetään yleensä B-sarjan yksitoimista jousipalautteista toimilaitetta, jossa yleensä on F- ja HL-optio tai molemmat. F-option toimilaite sisältää ylikokoiset ilmayhteet, jolloin operointiaikoja saadaan pienennettyä. HL-option toimilaite on suunniteltu pitkäikäiseksi ja kestämaan suuret lämpötilanvaihtelut -20 ja $+120$ °C:n välillä. [5.]

Matalapaineluokkaan on myös suunniteltu venttiiliyksikkö, jonka tehtävänä on tarvittaessa eristää ja ohjata höyryä esimerkiksi lämmittämiseen tai tuotannon prosesseihin. Venttiilikokonaisuus on hyvin samalainen kuin säätö- ja hätäsulkuventtiilissä, mutta venttiilin sulkuaika vaatimus on yleensä pidempi, jolloin instrumentointi on myös erilainen. [5.]



Kuva 4. Valmis säätöventtiili yhdistelmä (instrumentointi, toimilaite, läppäventtiili).

2.2.4 ND9000, VG9000 ja SG9000

Asennoittimen tehtävänä säätöventtiilisovelluksissa on säätää esimerkiksi virtauksen suuruutta putkistossa ohjaamalla venttiilin sulkuelintä. Asennoittimen tehtävään tai toimintaan ei vaikuta turbiinin malli tai toiminta, vaan asennoitin valitaan aina venttiiliyhdistelmän tehtävän mukaan. Nykyaikaisissa turbiiniratkaisuissa Metso käyttää Neles-sarjan SIL2-hyväksyttyä ND9000-sarjan asennoitinta, joka on suunniteltu säätöventtiilisovelluksiin. Hätäsulku- ja tyhjennysventtiilisovelluksissa käytetään yleisesti SIL3-hyväksyttyä älykästä ja turvallista VG9000-sarjan magneettiventtiiliä, joka on ulkomuodoltaan hyvin paljon asennoittimen näköinen ja on suunniteltu on/off-sovelluksiin. VG9000-sarjan älykäs magneettiventtiili tarjoaa paremman luotettavuuden kuin normaali magneettiventtiili sekä mahdollisuuden suorittaa PST-testin tarvittaessa. PST-testi eli osa-iskutesti tarkoittaa toimintoa, jonka avulla käyttäjä voi laskea mahdollisuudet erilaisille vikatilanteille sulkematta fyysisesti venttiiliä. Venttiilin toimilaite aukeaa hieman, minkä jälkeen se palautuu takaisin auki-asentoon. Lisäksi high cycle, höyry- ja kaasuturbiinisovelluksissa on käytössä SG9000-sarjan älykäs on/off-venttiilinohjain, joka on ensisijaisesti tarkoitettu tyhjennysventtiilisovelluksiin sekä high cycle applikaatioihin. SG9000-sarjan venttiilinohjain on tietyissä sovelluksissa huomattavasti halvempi ja yksinkertaisempi ratkaisu kuin perinteinen instrumentointi, koska se tarjoaa mahdollisuudet saavuttaa hyvin nopeat operointiajat. Kaikkien sarjojen asennoittimet ovat älykkäitä venttiiliohjaimia, joiden tiedonsiirto tapahtuu HART-, Profibus PA- tai Foundation fieldbuss -kenttäväylän avulla. Nykyaikaisten asennoittimien ja älykkäiden venttiilinohjaimien etuna on ennakoiva tiedonkeruu venttiilin käyttäytymisestä sekä diagnostiikkamahdollisuudet, joiden avulla voidaan esimerkiksi lyhentää venttiilin asennusaikaa kentällä ja ennakoida tulevat kunnossapitotehtävät. (Kuva 5.) [5.]



Kuva 5. ND9000, VG9000 ja SG9000.

2.3 Kaasuturbiini

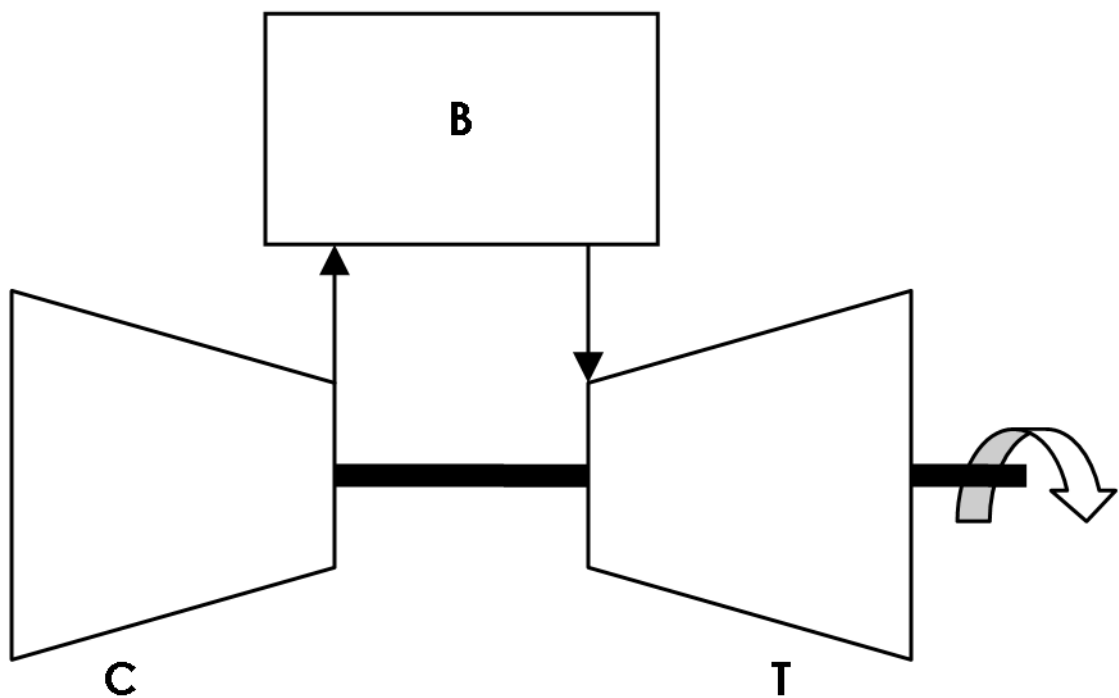
Kaasuturbiini on lämpövoimakone, jonka toimintaperiaate liittyy polttoaineen palamiseen polttokammiossa. Ahtimen tehtävänä on imeä ja puristaa ilmaa polttokammioihin, jolloin palaminen tapahtuu suurella paineella ja siitä syntyvät pakokaasut johdetaan turbiinin läpi. Turbiini pyörittää akselia, joka tuottaa voiman ahtimelle. Turbiinikokonaisuuden toiminta on hyvin samanlainen kuin höyryturbiinissa. Kaasuturbiinissa työn tekee poltettava polttoaine, kun taas höyryturbiinissa työn tekee kuumennettava höyry. Kaasuturbiineja käytetään yleisesti suurissa liikkumisvälineissä kuten lentokoneissa, junissa ja laivoissa. Teollisuudessa kaasuturbiineja käytetään sähkön tuottamiseen niille suunnatuissa voimalaitoksissa. Kaasuturbiinivoimalaitosten hyötysuhde ei ole kovin hyvä, joten nykypäivänä ne toimivat lähinnä varavoimalaitoksina tilanteessa, jolloin sähköntarve tulee äkillisesti esimerkiksi verkkohäiriön seurauksena. Kaasuturbiinivoimalaitoksen hyötysuhdetta pystytään nostamaan, jos se toimii osana kombivoimalaitosta, joka on kaasu- ja höyryvoimalaitoksen yhdistelmä. [11.]

Vuonna 1791 John Barber patentoi ensimmäisenä idean kaasuturbiinista, johon nykypäivän turbiinit vahvasti perustuvat. Barberin ajatuksena oli hyödyntää turbiinia hevostähtien liikuttamiseen. Voimakas teollistuminen 1900-luvun alussa vauhditti kaasuturbiinien kehitystä lähinnä lentokone- ja laivatekniikassa. 1950-luvun jälkeen kaasuturbiinit yleistyivät sähköntuotannossa ja teollisuudessa. [11.]

2.3.1 Toimintaperiaate

Kaasuturbiiniyhdistelmä koostuu ahtimesta (C), polttokammioista (B) ja turbiinista (T). Toiminta perustuu Braytonin kiertoprosessiin. Kuvassa 6 nähdään kiertokulku, jossa ahdin puristaa ilman polttokammioon, jossa polttoaineen palaminen tapahtuu. Ylimääräinen ilma ohjataan rakenteiden jäähdyttämiseen. Polttokammiossa tuotettu kuuma kaasu johdetaan turbiinin siivekkeiden lävitse. Turbiinin siivekkeiden tehtävä on nostaa kaasun virtausnopeutta, jolloin kaasun paine ja lämpötila laskevat. Siivekkeiden toimintaperiaate on siis hyvin samanlainen kuin höyryturbiinissa. Viimeisenä juoksusiivistöön virtaava kaasu muunnetaan akselin välityksellä pyörimisenergiaksi, jonka kaasuturbiinikokonaisuuteen liitetty akseli tuottaa. Ylimääräinen kaasu ohjautuu poistoputkeen, kun tarvittava määrä energiaa on saatu. [11.]

Kaasuturbiinit ovat yleensä yksi- tai kaksiakselisia riippuen sovelluksesta. Sähkögeneraattorisovelluksissa, joissa pyörimisnopeuden muutokset eivät ole suuria, voidaan käyttää yksiakselista laitetta. Tilanteessa, jolloin ahtimen akseli joudutaan erottamaan turbiinin akselista, puhutaan kaksiakselisesta kaasuturbiinista. Sovelluksia voivat olla esimerkiksi kompressorit ja pumput. Tämä johtuu yleensä siitä, että nopeuden muutokset ovat suuria, jolloin turbiinin vääntömomentti laskee, kun nopeus pienenee radikaalisti. [11.]



Kuva 6. Kaasuturbiinin toimintaperiaate [11].

2.3.2 Venttiiliratkaisut kaasuturbiinisovelluksille

Kaasuturbiineissa tärkeimmät venttiilien tehtävät keskittyvät yleisesti säätö-, tyhjennys- ja viilennyssovelluksiin. Lisäksi venttiileitä tarvitaan myös voitelu- ja kondensaatiosovelluksiin. Säätöventtiilit keskittyvät polttoaineen tai ilman määrän säätöön, ja tyhjennysventtiilin tehtävänä on suojata ahdinta äkillisen kuormituksen seurauksena. Lisäksi yli 150 MW:n kaasuturbiineissa turbiinin siivekkeit vaativat erillisen viilennysventtiilin, jotta toimintavarmuus pysyy vaaditulla tasolla. Toiminnallisia haasteita kaasuturbiinisovelluksissa ovat pitkä altistuminen korkeille lämpötiloille, tiiveysvaatimukset, nopeat operointiajat, luotettavuus ja tarkkuus sekä paineenalennusvaatimukset. [6.]

Metson tarjoamat tärkeimmät sovellukset ovat

- tyhjennysventtiili
- ilman- tai höyrynsäätöventtiili
- polttoaineen säätö- ja sulkuventtiili

Tyhjennysventtiilit sijaitsevat ohitusputkistossa, ja niiden pääasiallinen tehtävä on hätätilanteessa avautua nopeasti ja poistaa ylimääräinen ilma. Hätätilanne voi muodostua, jos ahdin altistuu äkilliselle kuormitukselle paineen nousun seurauksena. Normaalissa tilanteessa venttiili on kiinni ja sitä ei operoida mitenkään, joten parhaimmassa tilanteessa sen ei tarvitse koskaan avautua. Tyhjennysventtiiliyhdistelmä koostuu L- tai BWX-sarjan läppäventtiilistä ja Switchguard-mallin venttiilinohjaimesta. SwitchGuard-mallin venttiilinohjain on yksinkertainen ja edullinen ratkaisu instrumentoinnin näkökulmasta. Lisäksi se tarjoaa mahdollisuuden ennakoivaan kunnossapitoon. Perinteiseen instrumentointiin verrattunna SwitchGuard säästää kuluja, koska erillisiä kuristimia ja pikapoistoventtiileitä ei tarvita. Toimilaitteen osalta yhdistelmä sisältää yleensä kaksitoimisen toimilaitteen yksitoimisen sijaan, koska mahdollisessa hätätilanteessa ilmaa on aina saatavilla. Tarvittava ilma saadaan turbiinin ahtimesta, jolloin toimilaitte pystyy avaamaan venttiilin ja jousikäyttöistä toimilaitetta ei siis tarvita. [6.]

Suuret turbiinit vaativat erillisen ilmansäätöventtiilin, joka viilentää siivekkeitä. Venttiilin toiminta perustuu ilman tai höyryn määrän säätöön, joka menee turbiniin siivekkeiden lävitse. Kaasuturbiineissa siivekkeiden viilennys on erittäin tärkeää, koska polttokammioista hehkuva lämpötila voi nousta 1400 °C:seen. Ilmansäätöventtiileitä käytetään suurissa yli 150 MW:n kaasuturbiineissa. Pienemmät turbiinit eivät yleensä vaadi erillistä säätöventtiiliä. Venttiilin koon ja paineluokan perusteella yhdistelmälle valitaan L- tai BWX-sarjan läppäventtiili ND9000-sarjan asennoitimen kanssa, ja muu instrumentointi on yleensä riippuvainen vaadituista operointiajoista sekä muista vaatimuksista. Toimilaitteet ovat yleensä sähköisiä, mutta pneumaattinen toimilaite asennoitimen kanssa on halvempi ratkaisu. [6.]

Polttoaineen säätö- ja sulkuventtiilit sijaitsevat polttoaineen syöttölinjassa, ja niiden tehtävänä on kontrolloida polttokammioon menevän polttoaineen määrää ja hätätilanteessa myös sulkea venttiili. Instrumentoinnin ja muiden yleisten haasteiden perusteella venttiiliyhdistelmät ovat samanlaisia kun ilman kanssa toimittaessa. Polttokammioon syötettävä paineistettu polttoaine vaatii kuitenkin venttiileiltä tietyn paineluokan, joka on yleisesti ANSI 300- tai 600-luokan venttiili. ANSI 300 -luokkaan valintana voi olla esimerkiksi Jamesbury 9000 -sarjan palloventtiili. Sulkuventtiilisovelluksissa suositeltu venttiilityyppi on Jamesbury sarjan Wafer-Sphere-läppäventtiili, jonka paineluokka kattaa ANSI 600 -luokan. VG9000-sarjan älykäs ja turvallinen magneettiventtiili on yleisin vaihtoehto sulkuventtiilisovelluksille, koska se omaa suurimman turvallisuusluokituksen ja luotettavuuden. [6.]

3 High cycle järjestelmät

Venttiiliteollisuudessa high cycle järjestelmät ovat venttiileitä, joiden tehtävänä on suorittaa hyvin monta iskunkiertoa vuodessa. Yksi kierto tarkoittaa tilannetta, jossa venttiilin sulkuelin avautuu ja sen jälkeen sulkeutuu. High cycle venttiileiden iskunkiertotaajuuudet ovat 200 000-1 500 000 miljoonaa iskua vuodessa. Venttiili ja työn tekevä toimilaite joutuvat suurelle rasitukselle, mikä tarkoittaa sitä, että venttiili sekä toimilaite pitää spesifioida tarkemmin kuin normaaleihin olosuhteisiin toimitettava yhdistelmä. Suurimmat haasteet järjestelmille ovat kestävyys, mahdolliset nopeat operointiajat, tiiveysvaatimukset pitkällä aikavälillä sekä venttiilin vastustuskyky

polymeerejä vastaan, jotta venttiilin istukan ja laakereiden väliin ei pääse kasvamaan polymeerejä. Lisäksi haasteena on mahdolliset vuodot, jotka voivat aiheuttaa suuria ympäristöriskejä esimerkiksi tulipalon tai myrkkyyttömyyden seurauksena. High cycle venttiileitä hyödynnetään teollisuudessa tehdaskokonaisuuksissa, joissa polymeerejä erotetaan monomeereistä tai kaasusta erotetaan muita kaasuja kuten typpeä ja happea. [14; 15.]

3.1 PDS

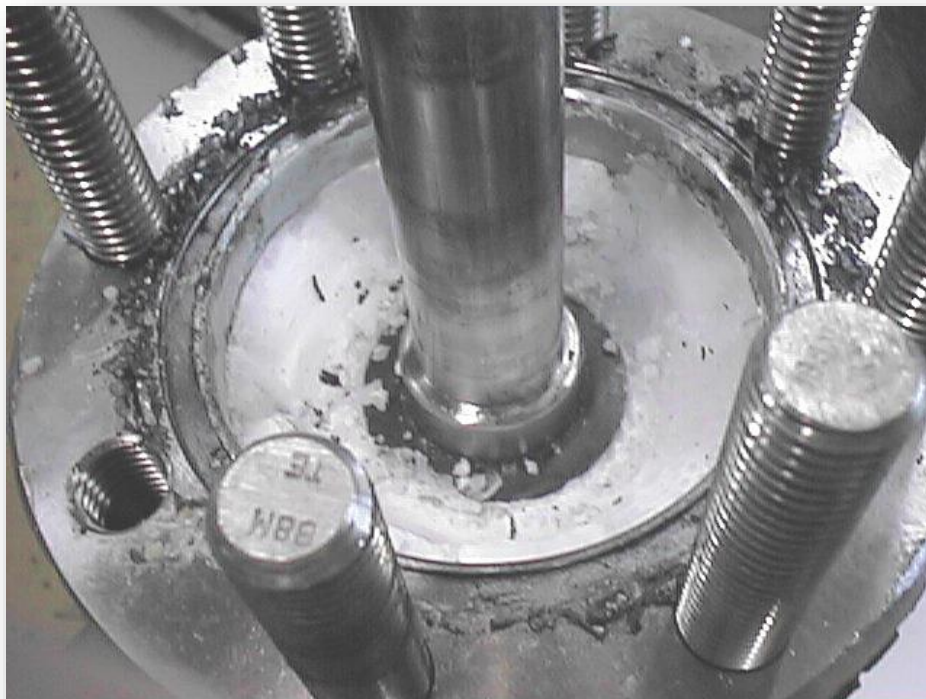
3.1.1 Toimintaperiaate

PDS tulee sanoista Product Discharge System, joka tarkoittaa reaktiotuotteen erottamista eli reagoiva polymeeri erotetaan reagoimattomasta monomeeristä. Kuvassa 7 nähdään, kuinka kaasufaasiprosessi alkaa reaktorista, jossa monomeerit, komonomeerit sekä katalyytit yhdistyvät, ja niiden seurauksena syntyy kuivaa polymeerihartsia. Polymeeriharts sisältää hiilivetyhöyryä, katalyyttejä, polymeerilevyjä ja paloja. Seosyhdistelmä siirtyy reaktorista tuotteen erottelujärjestelmään, jossa tapahtuu polymeerien eroittaminen monomeereistä, ja reagoimaton kaasu palautuu takaisin reaktoriin. Erotettu seos puhdistetaan tyellä, minkä jälkeen se lopuksi pelletoidaan lisäaineilla. Systemi voi koostua yhdestä tai useammasta erotteluyksiköstä eli tuotekammioista, joiden yhteydessä on myös ohjaukseen, eristämiseen, paineen tasaukseen ja kaasunpoistoon keskittyvät venttiilit. Sulkuventtiili eristää erottelulinjan reaktorista aina, kun tuotekammio ei saa polymeerihartsia reaktorilta. Päälinjassa oleva tuloaukon venttiili eristää tuotekammion puhdistuskaasun ja polymeerihartsin virtaukselta, ja poistoaukossa oleva venttiili eristää tuotekammion sekä puhdistukseen käytettävän säiliön. [16.]

Kuva 7. Tuotteen erottelusysteeminen kiertokulku [16]. (vain työn tilaajan käytettävissä)

3.1.2 Venttiiliratkaisut PDS-sovelluksille

Tuotteen erottelusysteemissä venttiileiden keskeinen tehtävä on ylläpitää suorituskyyky koko prosessin ajan. PDS-järjestelmissä venttiilit altistuvat sadoille tuhansille iskuille vuodessa. Jaksonaikojen nopeudet, jotka voivat olla alle kolme sekuntia, tuovat myös omat haasteensa. Venttiilien sekä työn tekevän toimilaitteen rakenteen tulee olla vahva ja kestävä, koska korkeat paine-erot sekä värähtelyvoimat putkistossa aiheuttavat suuria kuormia. Venttiiliin tulee myös vastustaa polymeerien kasvua laakereiden, istukan ja urien väliin, jotta polymeerijäännökset eivät ajan mittaan aiheuta tukoksia. Kuvassa 8 voidaan nähdä pesän pohjalle kerääntynyttä polymeeriä. Nykypäivänä käytetään katalyyttejä, jotka antavat paremman polymeerien lopputuloksen, minkä vuoksi venttiilien istukoiden tulee olla metallisia, jotta istukka kestää katalyyttien kovuuden ja hankauksen. [16.]



Kuva 8. Pesän pohjalle kerääntynyt polymeeri [14].

PDS-sovelluksille yleisin käytettävä venttiili on modulaarinen palloventtiili, jossa on vaadittava metallinen istukka, millä ehkäistään venttiilin toimintakyvyn pettäminen. Metallinen kovapinnoitettu istukka on jatkuvassa kosketuksessa venttiilin pallon kanssa, mikä ehkäisee polymeerien kerääntymisen istukan alle ja laakereihin. Erottelusysteemissä olevat puhdistuskaasun kontrolloimiseen keskittyvät venttiilit eivät vaadi metallista istukkaa, koska kosketus katalyytteihin on vähäistä. Palloventtiiliyhdistelmä koostuu XG-sarjan palloventtiilistä ja B-sarjan FL-option omaavasta toimilaitteesta. FL-option toimilaite on yleinen valinta high cycle sovelluksiin, koska toimilaitteen ilmayhteet ovat ylikokoisia normaaliin versioon verrattuna. Lisäksi toimilaite sisältää vahvemmat ja kulumista ehkäisevät laakeroinnit sekä männänvarren tiivisteet. Instrumentoinnin osalta PDS-systeemissä olevat venttiilit, jotka kontrolloivat seoksen siirtymistä erottelusysteemiin, sisältävät muun muassa rajakytkimen, magneettiventtiilin, kaksi ilmaohjattua venttiiliä sekä suodatinsäätimen. Yhdistelmä on

perinteinen on/off-yhdistelmä kaksitoimisella toimilaitteella. Venttiilit, jotka kontrolloivat puhdistukaasuja, eivät vaadi välttämättä XG-sarjan palloventtiiliä vaan ne voidaan korvata Jamesbury-sarjan palloventtiilillä, jonka istukka ei ole metallinen. [14.]

Erottelusysteemin tuotekammion jälkeen eroteltu seos siirtyy puhallukseen erilliseen säiliöön. Säiliön poistoaukossa sijaitsevan on/off-venttiiliyksikön tehtävänä on huolehtia, että seos siirtyy puhalluksen jälkeen lopulliseen puhdistukseen. Poistoaukossa oleva venttiili on XG-sarjan palloventtiili. Toimilaite on yksitoiminen B-sarjan toimilaite pitkän toiminta-ajan optioilla. Instrumentoinnin osalta yksikkö sisältää perinteisesti magneettiventtiilin, kaksi ilmaohjattua venttiiliä sekä suodantinsäätimen. Lisäksi yhdistelmässä voi olla käsihana, mikäli virtauksen kulkusuuntaa halutaan muokata erikoistilanteessa. [14.]

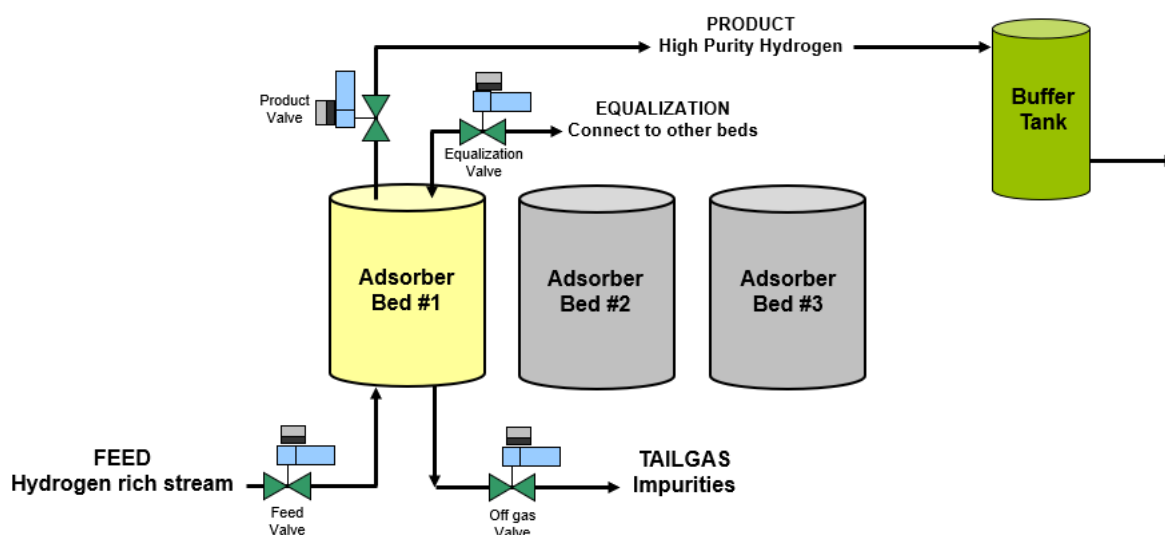
PDS-sovelluksissa myös hyvin yleinen yhdistelmä on pikapoistovenktiilillä varustettu on/off-tyhjennysventtiili. Yhdistelmissä voi olla mahdollisuuksien mukaan myös SwitchGuard-sarjan venttiilinojain, joka on suunniteltu on/off-sovelluksiin ja erityisesti high cyclu sovelluksiin. Esimerkiksi yksikössä olevat tyhjennysventtiilit on mahdollista varustaa SG9000-sarjan ohjaimella perinteisen instrumentoinnin sijaan. [14.]

3.2 PSA

PSA tulee sanoista Pressure Swing Adsorption, joka tarkoittaa fysikaalista adsorptiota eli fysisorptiota. Prosessissa adsorbaattimolekyylit sitoutuvat kiinteän aineen molekyyleihin heikoilla van der Waalsin voimilla, niin sanoituilla koheesivoimilla. Adsorptio on aineensiirtoprosessi, joka perustuu kiinteän aineen pinnan ja kaasu- tai nestekomponentin väliseen reaktioon, jolloin komponenttien erottelu tapahtuu. Kiinteää ainetta eli kiintofaasia kutsutaan yleisesti katalyytiksi, joka voi olla hienoksi jauhattua metallia, metallioksidia tai hiiltä, esimerkiksi rautaa, palladiumia, piitä, nikkeliä, rautaoksidia tai nikkelioksidia. Adsorboituvaa ainetta eli nestettä tai kaasua kutsutaan adsorbaatiksi. Yksinkertaistettuna adsorptio käsitetään siten, että kiinteän aineen pinnassa olevat atomit tai molekyylit sisältävät käyttämättömiä valenssi – tai vetovoimia, minkä ansiosta ne voivat kiinnittää vieraita molekyylejä. Adsorboivalla aineella tulee olla mahdollisimman suuri ominaispinta-ala, jotta reaktio voi tapahtua. Paineen ja lämpötilan kasvaessa adsorptio kiinteän aineen pintaan suurenee. [17; 18.]

3.2.1 Toimintaperiaate

Teollisuudessa yleisimmät PSA-yksiköt keskittyvät jalokaasujen erottamiseen ja puhdistamiseen epäpuhtaasta kaasusta tai ilmasta. PSA-yksikön tehtävänä voi olla esimerkiksi vedyn talteenotto ja puhdistaminen, typen tuottaminen tai hapen tuottaminen. Yksiköitä löytyy myös muilta teollisuuden aloilta, esimerkiksi raudan ja teräksen tuotannosta. PSA-yksikkö koostuu useasta adsorptio-säiliöstä, jotka sisältävät yhtä tai useampaa adsorboivaa ainetta. Zeoliitti on hyvin suosittu aine, koska sen ominaispinta-ala on hyvin suuri, jolloin reaktio on voimakkaampi. PSA-prosessi koostuu neljästä päävaiheesta: adsorptiosta, paineenalennuksesta, uusiutumisesta ja paineen nostamisesta. Kuvassa 9 näkyvä prosessi alkaa, kun adsorptio-säiliö paineistetaan puhtaalla kaasulla. Paineistettu epäpuhtas syöttökaasu tai ilma syötetään adsorptio-säiliöön, jossa reaktio tapahtuu adsorboivan aineen kanssa. Reaktio on käynnissä niin kauan, kunnes säiliössä olevan adsorboivan aineen maksimi kapasiteetti on saavutettu. Tämän jälkeen puhdas kaasu poistuu säiliön yläosasta, minkä jälkeen säiliö otetaan käytöstä pois ja syöttökaasu siirtyy toiseen adsorptio-säiliöön. Yksikössä, joka on otettu pois käytöstä, suoritetaan paineenalennus pienissä sykleissä. Paineenalennus suoritetaan, jotta säiliöstä saadaan palautettua jäljelle jäänyt puhdas kaasu. Kun puhdas kaasu on saatu palautettua säiliöstä, jäljelle jääneet epäpuhtaudet siirtyvät linjalle, jonka kautta ne poistuvat. Tyhjään säiliöön lisätään adsorboivaa ainetta ja säiliö paineistetaan uudelleen, jolloin prosessin kiertokulku on jatkuva. [19.]



Kuva 9. PSA-prosessin kiertokulku [15].

3.2.2 Venttiiliratkaisut PSA-sovelluksille

PSA-yksiköissä olevien venttiileiden haasteet ovat hyvin samanlaisia kuin PDS-yksiköissä olevien. Suurimpia haasteita ovat iskunkierrot vuositasolla, jotka ovat noin 750 000 kiertoa vuodessa tai vähemmän, nopeat operointiajat, tiiveysvaatimukset, lämpötilan vaihtelut sekä katkeamaton tuotantosessi. Lisäksi kunnossapidon kustannusten tulee olla mahdollisimman pienet, joten venttiilien luotettavuus ja kestävyys tulee ottaa huomioon. PSA-yksiköissä käytetään säätö- ja sulkuventtiileitä. Haasteellisin ratkaisu PSA-yksikössä on venttiilit, jotka reagoivat adsorptio-säiliön vaihtoon, koska syöttökaasun siirtyminen uuteen säiliöön on prosessin jatkuvuuden kannalta erityisen tärkeää. Metson tarjoamat ratkaisut venttiilien osalta keskittyvät high cycle sovelluksiin suunniteltuihin Jamesbury-sarjan läppäventtiileihin niiden luotettavuuden ja kestävyysansioista. Jamesbury-sarjan venttiileitä on saatavana aina 3":sta 16":aan asti. Toinen yleinen venttiilityyppi on Mapag BO-sarjan läppäventtiili, joka soveltuu säätö- ja on/off-sovelluksiin. Venttiili on suunniteltu myös high cycle sovelluksiin, ja se sisältää alumiinisen läpän, jonka avulla voidaan esimerkiksi vähentää syntyvää hitausmomenttia. Säätöventtiilivaihtoehtona on myös Finetrol-sarjan kiertoistukkaventtiili, joka on suunniteltu kestäämään vaativia olosuhteita. Finetrol-sarjan venttiilille on suunniteltu myös kestävämpi istukka, joka on suunniteltu kestäämään yli miljoona kiertoa vuodessa. Istukka on suunniteltu venttiilille, jonka tehtävänä PSA-yksikössä on kontrolloida puhdistusilman syöttöä. (Kuva 10.) [15.]



Kuva 10. Toimilaite ja Jamesbury-sarjan läppäventtiili [15].

Instrumentoinnin näkökulmasta säätöventtiilit on yleisesti varustettu NE- tai ND-sarjan asennoittimella, jonka tehtävänä on ohjata venttiilin sulkuelintä. High cycle järjestelmille ominaisien tiukkojen operointivaatimusten seurauksena on/off-yhdistelmät sisältävät yleensä vähintään pikapoistovenktiilin, jonka avulla voidaan kiihdyttää venttiilin kiinni- tai aukimenoaika. Pikapoistovenktiilin tarve on riippuvainen operointiajoista sekä operoivan venttiilin koosta. Venttiilin koon kasvaessa säätöventtiiliyhdistelmät vaativat lisäksi tilavuusvirranvahvistimen, jotta halutut operointiaikavaatimukset täyttyvät. Toimilaitteen osalta käytetään yksitoimista jousipalautteista BJ-sarjan toimilaitetta, joka on yleensä varustettu pitkän toiminta-ajan optiolla. [15.]

4 Turvallisuusluokitukset

Turvallisuusluokitukset on hyvin ollennainen osa nykypäivää venttiiliteollisuudessa samoin kuin muussakin teollisuudessa, jossa ollaan tekemisissä sähköisten laitteiden, vaarallisten aineiden ja pölyn sekä lian kanssa. Turvallisuusdirektiivien ja vaatimusten noudattaminen on ensisijaisen tärkeää niin yrityksen kuin asiakkaankin näkökulmasta, jonka vuoksi nähtiin tarpeelliseksi tuoda esille venttiiliteollisuudessa vallitsevat vaatimukset. Turbiini- ja high cycle sovellukset ovat yksilöllisiä kokonaisuuksia ja venttiilikokonaisuuden toimintaympäristö voi olla haastava, jonka vuoksi yhdistelmään tulevien komponenttien tulee olla ATEX- ja mahdollisesti SIL-hyväksyttyjä. ATEX-direktiivi on räjähdysvaarallisuuden direktiivi ja SIL-luokitus on yhdistelmän turvallisuuteen liittyvä luokitus.

4.1 ATEX

ATEX on räjähdysvaarallisia komponentteja ja tiloja koskeva direktiivi, joka tulee sanoista Atmosphères Explosives. ATEX-laitedirektiivi 94/9/EY on otettu käyttöön vuonna 1996 kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksellä, ja se koskee sähkökäyttöisiä laitteita kuten sähkömoottoreita, ohjaus- ja säätöjärjestelmiä, sähkökäyttöisiä ja mekaanisia laitteita kuten pneumaattisia ja hydraulisia laitteita, joita venttiiliteollisuudessa hyödynnetään. Räjähdysvaarallisia tiloja koskeva ATEX-olosuhdedirektiivi 9/92/EY on otettu käyttöön vuonna 2003, ja se koskee tiloja, joissa esimerkiksi ilmaseokset voivat aiheuttaa räjähdysten. Nykypäivänä kaikki markkinoille

saatettavat uudet laitteet suositellaan valmistettavaksi standardien mukaisesti, jotta varmasti saavutetaan ATEX-direktiivin mukainen turvallisuustaso. [20.]

Venttiiliteollisuudessa ATEX-vaatimus vaaditaan elektronisilta ja myös kaikilta ei-sähköisiltä mekaanisilta laitteilta, jotka asennetaan tilaan, jossa on helposti syttyviä materiaaleja kuten kaasuja, höyryjä tai pölyä. Asennettavien laitteiden tulee olla suunniteltu ja testattu, jotta ne eivät aiheuta räjähdysvaaraa esimerkiksi kipinän seurauksena. Venttiilyhdistelmissä yleisimpiä elektronisia laitteita ovat rajakytkimet, asennoittimet ja magneettiventtiilit. PDS- ja PSA-sovelluksissa ATEX-vaatimus on hyvin yleinen, koska venttiilit toimitetaan kaasuihin ja kemianteollisuuden pariin. Vaatimus vaaditaan aina tilanteissa, joissa yhdistelmä toimitetaan kuumaan ja kylmään toimintaympäristöön. Räjähdysvaarallisia tiloja koskeva olosuhdedirektiivi määrittelee vaarallisen tilan kolmella pääperiaatteella: vaaran perusteella, vaaran todennäköisyyden perusteella helposti syttyvissä tiloissa ja materiaalin syttymislämpötilan perusteella. Vaaran todennäköisyys helposti syttyvissä tiloissa jaetaan kaasun ja pölyn kesken kolmeen alueeseen, minkä perusteella komponenttien valinta tulee suorittaa. Kaasualueen tilaluokat ovat seuraavat.

Alue	Määritys
0	Helposti syttyvä tilanne on hyvin todennäköinen (polttoaineen säilytykseen käytettävät säiliöt)
1	Helposti syttyvä tilanne mahdollinen, mutta epätodennäköinen (Polttoaineen tankkauspaikat)
2	Helposti syttyvä tilanne on epätodennäköinen, mutta mahdollinen hyvin lyhyen aikaa (varasto- ja säilytystilat)

Pölyalueen tilaluokat ovat seuraavat.

Alue	Määritys
20	Pölypilvi on todennäköisesti läsnä jatkuvasti tai hyvin pitkiä aikoja
21	Pölypilvi on todennäköisesti läsnä toisinaan
22	Pölypilvi on epätodennäköisesti läsnä, mutta mahdollinen lyhyen aikaa

Kaasu- ja pölyalueen tilaluokkiin yhteydessä oleva EPL eli komponentin suojausluokka (Equipment Protection Level) on hyvin tärkeä osa komponenttien valintaprosessia. Kaasu- ja tilaluokkien määrittäminen tekee asiakas, ei komponenttien toimittaja.

Ryhmä	Ex-riski	Alue	EPL
II (kaasu)	Räjähdyksivaarallinen tilanne >1000 h/vuosi	0	Ga
II (kaasu)	Räjähdyksivaarallinen tilanne 10-1000 h/vuosi	1	Gb
II (kaasu)	Räjähdyksivaarallinen tilanne 1-10 h/vuosi	2	Gc
III (pöly)	Räjähdyksivaarallinen pinta >1000 h/vuosi	20	Da
III (pöly)	Räjähdyksivaarallinen pinta 10-1000 h/vuosi	21	Db
III (pöly)	Räjähdyksivaarallinen pinta 1-10 h/vuosi	22	Dc

Elektroniset laitteet jaetaan myös kategorioihin, joiden perusteella niitä voidaan käyttää yllämainituissa tilaluokissa. Esimerkiksi laitekategorian 1G rajakytkintä voidaan käyttää kaikissa kaasualueen tilaluokissa, kun taas pölyalueen tilaluokkaan valinnan tulee olla 1D. Lisäksi vaarallisen aineen syttymislämpötila luokitellaan erikseen, minkä jälkeen kohdetila saa vastaavan T-luokan.

Kategoria	Kelvollinen alue	T -Luokka	Lämpötilat, joiden alapuolella syttyminen ei tapahdu:
1G	0, 1, 2	T1	450°C
2G	1, 2	T2	300°C
3G	2	T3	200°C
1D	20, 21, 22	T4	135°C
2D	21, 22	T5	100°C
3D	22	T6	85°C

Edellämainittujen tietojen lisäksi komponenttiin tulevasta identifiointilaatasta tulee selvittää komponentin Ex-koodi sekä kaasuryhmä. [20; 21.]

4.2 SIL

SIL tulee sanoista Safety Integrity Level, joka tarkoittaa turvallisuuden eheystasojen määrittämistä. SIL-vaatimus muodostuu arvioimalla ja määrittämällä käytettävän laitteiston riskien ja vahingon suuruus. SIL-laskemissa tulee huomoida turvatoimintojen kokonaismäärä, koska jokaiselle toiminnolle on määritettävä oma SIL-taso. SIL-laskelmissa vastuu on toimittajalla sekä valmistajalla. Asiakas määrittää vaadittavan tason ja toimittaja suorittaa vaadittavat laskelmat. Standardit SFS-EN 62061 ja IEC 61508/61511 määrittävät turvallisuuden eheystason, jonka perusteella muodostetaan kuvaava taulukko.

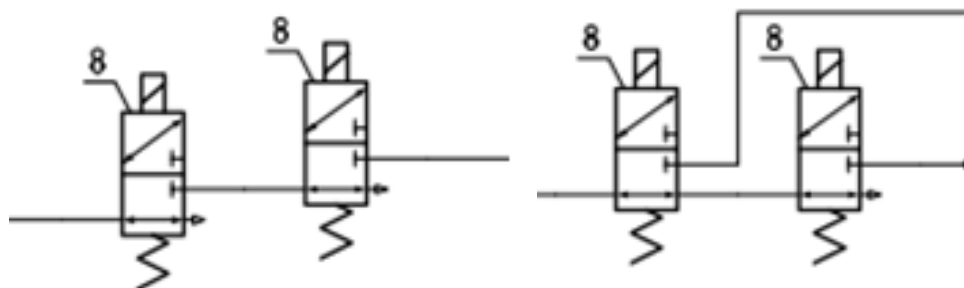
Taulukko 1. Vaarallisten virheiden todennäköisyys.

Turvallisuuden eheystaso, SIL	Riskin todennäköisyys, PFD	Riskin vähennyskerroin, RRF
4	$10^{-5} \dots < 10^{-4}$	10 000...<100 000
3	$10^{-4} \dots < 10^{-3}$	1000...<10 000
2	$10^{-3} \dots < 10^{-2}$	100...<1000
1	$10^{-2} \dots < 10^{-1}$	10...<100

Taulukon perusteella voidaan todeta, että SIL-luokan suuruus riippuu siitä, kuinka suuren riskin mahdollisuuden prosessi sisältää. Mitä suurempi SIL-luokitus laitteella on, sen todennäköisemmin se toimii hätätilanteen sattuessa. Venttiiliteollisuudessa SIL-laskelmissa tulee huomioida kaikki komponentit, jotka vaikuttavat lopputuotteen turvatoimintoon. Metso suorittaa laskemat omalla laskentajärjestelmällään. Laskelmissa tulee olla mukana:

- venttiili
- toimilaite
- turvallinen magneettiventtiili (VG9000) ja magneettiventtiili
- muut instrumentointikomponentit, jotka vaikuttavat suoraan venttiilin turvatoimintoon kuten pikapoistiventtiili, tilavuusvirranvahvistin ja ilmaohjattu venttiili. [22; 23.]

Instrumentoinnin osalta SIL-laskemat vaikuttavat hyvin paljon magneettiventtiilien asennukseen ja putkitukseen yhdistelmässä. Kaksi yleisintä tapaa ovat 1oo2- ja 2oo2-konfiguraatio (kuva 11). 1oo2-konfiguraatiossa (SIL 3) kaksi magneettiventtiiliä on kytketty sarjaan ja yhdistelmän toiminnan kannalta molempien magneettiventtiilien pitää toimia, jotta yhdistelmä toimii oikein. Yhden magneettiventtiilin mennessä vikatilaan prosessiventtiilin fail-toiminto tapahtuu. 2oo2-konfiguraatiossa (SIL 2) kaksi magneettiventtiiliä on kytketty rinnan, jolloin molemmille venttiileille menee oma putkituslinja, jolloin yhdistelmä toimii vaikka toinen venttiili ei toimi. Kaksi samanaikaista vikatilaa laukaisee prosessiventtiilin fail-toiminnon. 1oo2-konfiguraatio on suunniteltu yhdistelmille, jotka vaativat suuremman turvallisuusluokituksen, kun taas 2oo2-konfiguraatio tarjoaa huomattavasti suuremman luotettavuusvarmuuden. [22; 23.]



Kuva 11. 1oo2- ja 2oo2-konfiguraatiot.

Turbiini- ja high cycle yksiköissä on lukuisia hätäsulkuventtiilejä eli turvaventtiilejä, joiden tehtävänä on suojella prosessia, ympäristöä ja työskentelevää henkilöstöä sulkemalla tai avaamalla virtauksen vaaratilanteen uhatessa. Yhdistelmän tulee toteuttaa turvatoiminto järjestelmän pyytäessä, vaaditussa ajassa ja mahdollisesti tuottaa vaadittava tiiveys sululle. Hätäsulkuventtiilin turvatoiminto on riippuvainen mekaanisten osien toiminnasta ja liikkuvuudesta vaikeissa ympäristöolosuhteissa. Kuvassa 12 on suoritettu Nelprof-ohjelmalla hätäsulkuventtiilille PFD-laskenta, jonka tuloksena saadaan yhdistelmälle SIL-luokitus. Yhdistelmä on perinteinen läppäventtiiliyhdistelmä, jossa on VG9000-sarjan turvallinen magneettiventtiili ja B-sarjan toimilaite. [22; 23.]

Final element setup				
Safety position	Close			
Architecture	1oo1D			
Diagnostic coverage	Valve+Actuator (close)+VG			0.77

Test intervals			
Full stroke test	TIFST [months]		36
Partial stroke test	TIPST [months]		3
Pneumatic test	TIPNEUMATIC [days]		7

Valve and Actuator		$\lambda D[1/h]$	MTTR[Hours]	PFD
Valve	X/M-SERIES (METAL SEAT)	1.427E-7	24	5.55E-4
Actuator	B-SERIES	1.522E-7	24	5.92E-4

Accessories		$\lambda D[1/h]$	MTTR[Hours]	PFD
Intelligent PST	VG9000H	2.493E-8	4	1.134E-4
Instru 1 (1oo1)	RCI9H FOR VG9000H	1E-9	4	1.314E-5
Instru 2 (None)				
Instru 3 (None)				
Instru 4 (None)				
Instru 5 (None)				

Calculate

Result:

PFD total

1.273E-3

Final element is suitable for use in safety systems up to and including

SIL 2

Kuva 12. PFD-laskenta hätäsulkuventtiilille [23].

5 Instrumentointisuunnittelu

Instrumentointisuunnittelu on hyvin tärkeä osa venttiilin toimituskulkua asiakkaalle. Instrumentoinnilla tarkoitetaan venttiilikokoonpanon osa-aluetta, joka sijaitsee syöttöilman ja venttiilin välillä. Instrumentointi loppuu toimilaitteeseen, minkä jälkeen yhdistelmään liitetään haluttu ja vaatimukset täyttävä venttiili. Venttiilin ohjaus ja toiminta perustuu yhdistelmään tehtävään instrumentointiin. Suunnittelun tehtävänä on mahdollistaa erilaiset asiakkaiden vaatimat toimintavaatimukset venttiilille.

5.1 Instrumentointisuunnittelun menetelmät ja vaatimukset

Instrumentointisuunnittelu aloitetaan, kun asiakasvaatimukset ovat tiedossa mikä tarkoittaa sitä, että venttiilyhdistelmän pääkomponentti eli venttiili on valittu. Toimilaitetta valittaessa sen tuottama momentti on erittäin tärkeässä osassa, koska toimilaite tulee mitoittaa ja valita oikein yhdistelmälle valitun venttiilin mukaisesti. Toimilaitteen tulee tuottaa riittävän suuri voima, koska sen pitää pystyä kontrolloimaan venttiilin sulkuelintä. Yhdistelmän pääkomponenttien valinnan jälkeen suunnittelussa siirrytään tarkastelemaan asiakkaan asettamia toimintavaatimuksia yksityiskohtaisesti. [7.]

Instrumentointisuunnittelussa tärkeitä asioita ovat oikeiden komponenttien valinta, asiakasvaatimusten täyttäminen sekä instrumentointikaavion piirto asiakkaalle ja tuotantoon, jonka avulla yhdistelmä kootaan. Tärkeää on myös yhdistelmän mittakuvan piirtäminen, koska mittakuva on ohje tuotannolle pysyä venttiilyhdistelmälle vaadituissa mitoissa. Seuraavassa on lueteltu yleisimpiä vaatimuksia asiakkaiden näkökulmasta. Asiakasvaatimukset, jotka suunnittelu käy läpi ovat.

- asiakkaan vaatima toiminto
- yhdistelmän vaatimat operointiajat
- ohjaussignaali
- mahdolliset turvallisuusluokitukset (ATEX, SIL)
- yhdistelmässä käytettävät komponentit
- putkitus ja liittimet
- venttiilin toiminta ilman tai sähköjen katkeamisen seurauksena
- mahdollinen varoilma (paineilmatankki)
- mahdolliset lisäsuojaukset instrumentoinnin ympärille (tulisuojaus, instrumentointikabinetti). [7.]

Yleisin lähtökohta komponenttien valinnalle on selvittää venttiilin haluttu toiminto. Toimintoja on yleensä kaksi, jotka ovat on/off-venttiili tai säätöventtiili. Yhdistelmille on myös voitu asettaa tiettyjä operointiaikavaatimuksia. Käytännössä tämä tarkoittaa haluttua aikaa, johon mennessä venttiilin pitää mennä kiinni tai auki. Operointiajat ilmoitetaan yleensä minimi ja maksimi auki- tai kiinni-aikoina. Venttiilin halutun toiminnan ollessa tiedossa käydään läpi asiakkaan ehdottamat tai toivomat komponentit ja

tarkistetaan, onko komponentit valittu oikein. Lisäksi asiakas määrittää putkitukset ja liittimet sekä turvallisuusluokitukset. Instrumentoinnin osalta turvallisuusluokitukset koskevat ATEX- ja SIL-vaatimuksia. [7.]

Instrumentoitu suunnittelun tulee myös ottaa huomioon venttiilin toiminta ilman tai sähköjen katkeamisen seurauksena. Jousikäyttöinen yksitoiminen toimilaite yleensä sulkee tai avaa itsensä ilman tai sähkösignaalin katkeamisen seurauksena. Tällöin puhutaan FC- tai FO-tilanteesta. Kaksitoiminen toimilaite jää yleensä viimeiseen asentoon ilman katkeamisen seurauksena, koska toimilaitteessa ei ole joustaa, joka sulkisi toimilaitteen automaattisesti häiriötilanteessa. Tällöin puhutaan FL-tilanteesta. Pneumaattisten toimilaitteiden lisäksi on sähkötoimisia ja manuaalisesti operoitavia toimilaitteita, joissa laitetta pystyy käyttämään käsivivun tai pyörän avulla. [7.]

Yleinen asiakasvaatimus on myös varoilman lisääminen yhdistelmään, mikä onnistuu paineilmatankilla. Varoilman avulla mahdollistetaan yhdistelmän toiminta tuloilman katkeamisen seurauksena. Paineilmatankkia käytetään yleensä kaksitoimisen toimilaitteen kanssa. Paineilmatankki mitoitetaan seuraavasti:

$$V_T = \frac{1}{\sqrt[1.3]{\frac{P_S}{P_X}} - 1} * V_C * K$$

Kaavan avulla pystytään laskemaan yhdistelmälle riittävän kokoinen paineilmatankki, jonka avulla kaksitoimista toimilaitetta pystytään ohjaamaan ennalta määritetyn ajan. Kaava kirjoitetaan auki seuraavasti:

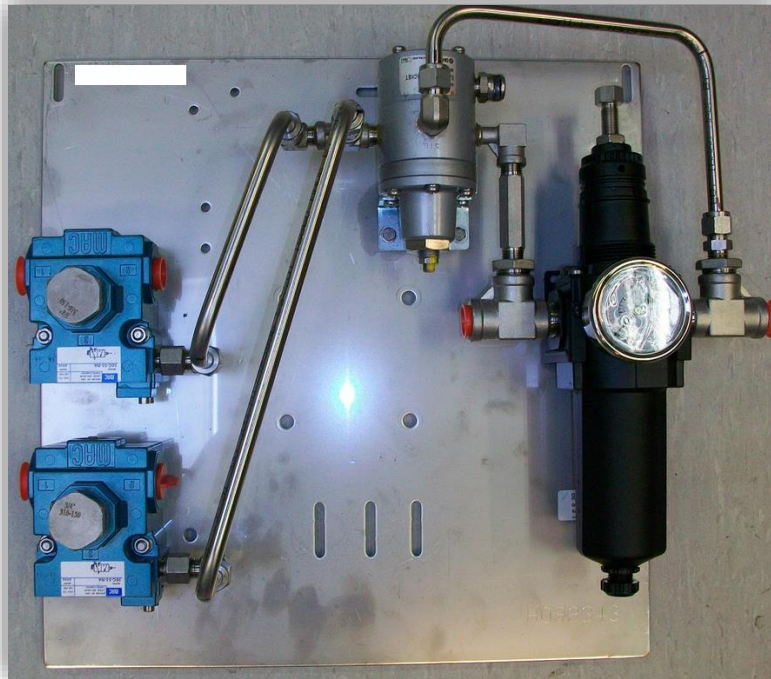
- V_T on paineilmatankin koko
- V_C on sylinterin tilavuus
- K on iskujen määrä
- P_S on tuloilman absoluuttinen paine bar(a)
- P_X on vaadittu minimi paine, jolla pystytään suorittamaan isku

Paineilmatankkien koot ovat standartoituja aina 8 l:sta 2000 l:aan asti. Paineilmatankki mitoitetaan aina seuraavaan kokoon asti, koska tankkien koot ovat standardeja. [8.]

5.2 Instrumentointikomponentit

Instrumentointikomponenteilla tarkoitetaan lisälaitteita, joilla yhdistelmän venttiilin käyttäytymistä ohjataan ja valvotaan. Instrumentointi sijoitetaan yleensä toimilaitteen kylkeen tai kuvassa 13 näkyvälle omalle instrumentointipaneelille. Yksittäisien osien kiinnitykseen voidaan käyttää asennuslevyjä tai kannatinrautoja. Yhdistelmissä, missä komponentteja ei ole paljon tai yhdistelmän layoutilla ei ole suurta merkitystä, ei tarvita instrumentointipaneelia. Instrumentointipaneeli tarvitaan yleensä aina yhdistelmissä, joissa komponentteja on paljon, koska paneeli mahdollistaa komponenttien kiinnityksen parhaalla mahdollisella tavalla yhdistelmän toimivuuden kannalta. Lisäksi toimilaitteen malli voi myös vaikuttaa siihen tarvitaanko paneeli vai ei. Instrumentointikomponentit valitaan yleensä yhdistelmän toimintavaatimusten ja mahdollisten operointiaikojen mukaan.

Instrumentointipaneelilla olevien komponenttien sijoittelu on yleensä hyvin samanlainen. Ilmaohjatut venttiilit sijoitetaan vasemmalle, magneettiventtiili ja pneumaattinen painekeytkin paneelin yläosaan ja suodatinsäädin paneelin oikealle puolelle. Paneelien koko valitaan siihen sijoitettavien komponenttien perusteella, koska suuremmat komponentit tarvitsevat luonnollisesti suuremman paneelin.

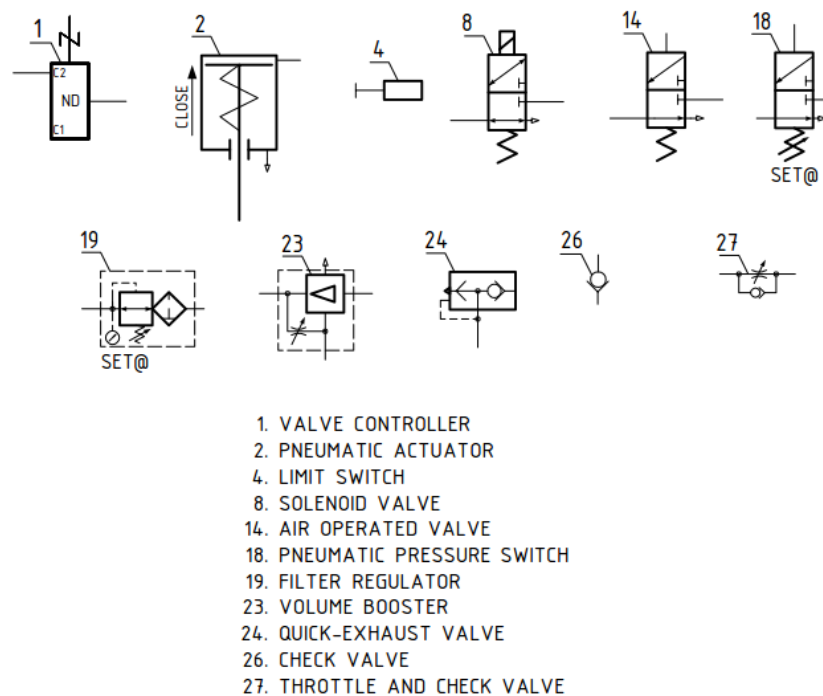


Kuva 13. Valmis instrumentointipaneeli.

Komponentit voidaan jakaa pääkomponentteihin (kuva 14), joilla kaikilla on oma tehtävänsä yhdistelmän toiminnan kannalta. Instrumentointiyhdistelmän yleisimpiä komponentteja ovat

- asennoitin
- toimilaite
- rajakytkin
- magneettiventtiili
- ilmaohjattu venttiili
- pneumaattinen painekytkin
- suodatinsäädin
- tilavuusvirranvahvistin
- pikapoistiventtiili
- takaiskuventtiili
- kuristin

Komponenttien määrä yhdistelmissä vaihtelee hyvin paljon. Yksinkertaisimmat yhdistelmät sisältävät kaksi komponenttia, esimerkiksi toimilaitteen ja asennoittimen. Vaativat yhdistelmät sisältävät yleensä lukuisia eri komponentteja. Komponenttien määrään vaikuttavat yhdistelmän vaatimukset, esimerkiksi tiukat operointiajat ja yhdistelmän ohjaukseen tai sulkuihin liittyvät vaatimukset. Lisäksi asiakasvaatimukset ohjaavat hyvin paljon instrumentoinnin suuntaa. Tilanteessa, jolloin asiakkaalle on toimitettu aikaisemmin tietynlainen yhdistelmä, on instrumentointi todennäköisesti hyvin samanlainen.



Kuva 14. Instrumentointikomponenttien piirrossymbolit.

6 Koulutusmateriaali

Työn tarkoituksena oli tuottaa koulutusmateriaali koskien instrumentointia höyry- ja kaasuturbiinisovelluksissa sekä high cycle järjestelmissä keskittyen PDS- ja PSA-sovelluksiin. Koulutusmateriaali on tehty englanniksi, jolloin materiaalia voidaan käyttää myös globaalisti tarpeen vaatiessa. Materiaalin on tarkoitus tulla myös mittakuva- sekä instrumentointityöryhmien käyttöön, ja sen avulla tietoa opinnäytetyössä käsitellyistä aihealueista voi kerrata. Tavoitteena oli tuottaa kaksi mahdollisimman selkeää ja yksinkertaista pakettia, joissa on lyhyt teoriaosuus, jonka jälkeen esitellään yleisimmät yhdistelmät ja niiden instrumentointikaaviot. Lisäksi tavoitteena oli mahdollistaa koulutustilaisuus, joka on tehokas sekä ytimekäs. Koulutusmateriaali on luotu sillä oletuksella, että koulutettavalla henkilöllä on pohjatietoa Metson tarjoamista venttiileistä ja yleisimmistä instrumentointikomponenteista. Koulutuksen lopuksi koulutettavilla henkilöillä tulisi olla käsitys yleisimmistä venttiiliyhdistelmistä instrumentoinnin näkökulmasta liittyen opinnäytetyössä käsiteltyihin aihealueisiin.

Koulutusmateriaalit koostuvat kahdesta erillisestä PowerPoint-esityksestä, jotka molemmat aloitetaan lyhyellä teoriaosuudella. Ensimmäiseksi käydään läpi yleiset haasteet asiakkaan ja instrumentoinnin näkökulmasta liittyen höyry- ja kaasuturbiineihin sekä high cycle järjestelmiin. Tämän jälkeen tuodaan esille erilaisten venttiiliyhdistelmien sijainti turbiini- ja high cycle järjestelmässä. Koulutuksen pääosuuksena esitellään erilaisia ratkaisuja instrumentointikaavioiden muodossa, jotka sisältävät säätö-, sulk- ja on/off-yhdistelmien ratkaisut. Instrumentointikaavioiden esitys on jaettu siten, että yksi yhdistelmä esitellään yhdellä sivulla ja kaavioiden sivuun on koottu lyhyesti ranskalaisilla viivoilla tärkeimpiä huomioita yhdistelmästä, esimerkiksi venttiilin tyyppi ja käytettävän toimilaitteen tiedot.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tärkeimpänä tavoitteena yrityksen puolesta oli tuottaa kaksi lyhyttä ja ytimekästä koulutusmateriaalia höyry- ja kaasuturbiineista sekä high cycle järjestelmistä. Tähän tavoitteeseen päästiin ja materiaali saatiin tuotettua Metson käyttöön. Koulutusmateriaalin tavoitteena oli lisätä tietotaitoa yrityksen sisällä opinnäytetyössä käsitellyistä aihealueista. Tavoitteena oli myös mahdollistaa tiedon saaminen nopeammin ja helpommin yhdestä lähteestä. Ennen laadittua materiaalia tieto oli hajaantunut moneen paikkaan. Lisäksi instrumentoinnin näkökulmasta ei ollut selkeää yrityksen sisäistä lähdettä, josta tietoa etsimässä ollut henkilö olisi voinut löytää esimerkiksi instrumentointikaaviot.

Koulutusmateriaalin laadinta alkoi vasta insinööriyön kirjoittamisen jälkeen, koska tietotaito työssä käsitellyistä aihealueista ei ollut vielä riittävän korkealla ja lisäksi olisi ollut mahdotonta tuottaa materiaali ennen kuin lopullinen työ on saatu valmiiksi. Haasteena työn edetessä oli teoriatiedon hakeminen ja etsiminen, koska tietoa löytyi monesta eri lähteestä pieniä määriä. Lisäksi aihealueen tiivistäminen loi oman haasteensa sen laajuuden vuoksi. Haasteita aiheutti myös koulutusmateriaalin sisällön tiivistäminen instrumentointikaavioiden näkökulmasta.

Insinööriyön laadinta onnistui kuitenkin pienistä vaikeuksista huolimatta ja uskon materiaalista olevan apua ja hyötyä tulevaisuudessa yritykselle. Insinööriyö antoi minulle todella paljon uutta tietoa turbiineista sekä high cycle järjestelmistä ja niiden instrumentoinnista. Uusia asioita oli runsaasti, mutta kesän ajalta kesätoissa saamani kokemus instrumentointisuunnittelussa auttoi todella paljon, koska venttiilit ja komponentit sekä niiden toimintaperiaate olivat tuttuja, joten työn aloittaminen ja tekeminen oli huomattavasti helpompaa.

Lähteet

- 1 Metso Oyj, Metso lyhyesti. Verkkoaineisto. <https://www.metso.com/fi/metso-yritys/metso-yrityksena/metso-lyhyesti/#section5>. Luettu 20.10.2018.
- 2 Metso Oyj, Mitä teemme. Verkkoaineisto. <https://www.metso.com/fi/metso-yritys/metso-yrityksena/mita-teemme/>. Luettu 20.10.2018.
- 3 Gas Turbine Services Market Size. 2018. Verkkoaineisto. Grand View Research. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/gas-turbine-services-market>. Luettu 24.10.2018.
- 4 Steam Turbine Market Analysis by Capacity. 2016. Verkkoaineisto. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/steam-turbine-market>. Luettu 24.10.2018.
- 5 Valve solutions for steam turbine manufacturers. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Oyj.
- 6 Valve solutions for gas turbine manufacturers. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Oyj.
- 7 Steam turbine. 2011. Verkkoaineisto. Thermopedia. <http://www.thermopedia.com/content/1151/>. Päivitetty 09.02.2011. Luettu 27.10.2018.
- 8 Heinonen, Mikko. 2010. 2000-luvun höyryturbiinit. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- 9 What is Steam Turbine. Verkkoaineisto. Nuclear Power. <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power-plant/turbine-generator-power-conversion-system/what-is-steam-turbine-description-and-characteristics/>. Luettu 28.10.2018.
- 10 Höyryturbiinin perusteet. Verkkoaineisto. Know Energy. http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt_kattilat/10_turbiini/fr_text.htm#alku. Luettu 28.10.2018.
- 11 Kaasuturbiini. Verkkoaineisto. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kaasuturbiini>. Päivitetty 25.12.2017. Luettu 12.11.2018.
- 12 Jussila, Juha. 2011. 3D-instrumentointisuunnittelun implementointi venttiiliyhdistelmätuotantoprosessiin. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 13 Volume tank sizing. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Oyj.
- 14 Polymerization – High cycle valves. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Oyj.
- 15 PSA. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Oyj.
- 16 Valves enhance fluidized-bed polymerization: Part 2 – Product discharge system. Verkkoaineisto. Metso Oyj. <https://www.metso.com/blog-hub/go-with-the-flow/valves-enhance-fluidized-bed-polymerization-part-2--product-discharge-system/>. Luettu 26.11.2018.
- 17 Kalliorinne, Kaarlo; Kankaanperä, Alpo; Kivinen, Antti & Liukkonen, Simo. 1990. Fysikaalinen kemia 3: Dynamiikka. Rauma: Oy Länsi-Suomi.
- 18 Pihkala, Juhani. 2007. Prosessitekniiikan yksikköprosessit. 3. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 19 PSA (Pressure Swing Adsorption). Verkkoaineisto. Samson Controls. <http://www.samsoncontrols.com/psa-pressure-swing-adsorption>. Luettu 07.12.2018.
- 20 Räjähdyksvaarallisten tilojen standardit. Verkkoaineisto. Suomen Standardoimisliitto SFS RY. <http://www.metsta.fi/julkaisut/esitteet/atex.pdf>. Luettu 09.12.2018.
- 21 Electrical equipment in hazardous areas. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Oyj.
- 22 Turvallisuuden ja eheystasojen määrittäminen TET, SIL. Verkkoaineisto. Metropolia. <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=114131171>. Päivitetty 22.08.2015. Luettu 09.12.2018.
- 23 Toiminnallinen turvallisuus venttiileissä. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Oyj.

