

Miikka Törmänen

Jalostamon soihtujärjestelmän häiriötilanneohjeiden päivitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

4.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Miikka Törmänen Jalostamon soihtujärjestelmän häiriötilanneohjeiden päivitys
Sivumäärä Aika	49 sivua + 1 liite 4.5.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kemiantekniikka
Ohjaaja(t)	Prosessiturvallisuusasiantuntija Kirsi Kavonius-Hietanen Lehtori Ismo Halonen
<p>Tämän insinööri työn tarkoituksena oli kehittää Nesteen Porvoon jalostamon soihtujärjestelmän häiriötilanneohjeita. Työ koostuu kahdesta osasta, häiriötilanneohjeista ja teoriaosuudesta.</p> <p>Ohjeiden päivitys aloitettiin perehtymällä HAZOP-palavereissa havaittuihin riskeihin ja käymällä läpi aiempia soihtujärjestelmän poikkeamia. Tulosten avulla voitiin määrittää todennäköisimmät ja vakavimmat häiriötilanteet. Tämän jälkeen laadittiin ohjeet häiriötilanteessa toimimista varten. Toimintaohjeiden laatimisessa käytettiin apuna HAZOP-palavereiden tuloksia, API:n standardeja, toimintamalleja aiemmissä häiriötilanteissa ja yhtiön eri alojen asiantuntijoiden lausuntoja.</p> <p>Työn teoriaosuudessa käsitellään soihtujärjestelmää ja siihen kuuluvia laitteita, sekä prosesseissa käytettäviä paineenalennuslaitteita.</p> <p>Laaditut ohjeet tehtiin Nesteen uuden taskuohjemallin mukaisesti. Taskuohjeen tarkoituksena on tarjota operoivalle henkilöstölle lyhyt ja selkeä toimintamalli häiriötilanteessa toimimista varten. Ohjeita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa operointiosaston toiminnassa.</p>	
Avainsanat	soihtujärjestelmä, soihtu, varoventtiili, ohjeistus

Author(s) Title	Miikka Törmänen Improvements of the Flare System Operating Manual for Abnormal Conditions.
Number of Pages Date	49 pages + 1 appendix 4 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Chemical Engineering
Instructor(s)	Kirsi Kavonius-Hietanen, Senior Specialist, Process Safety Ismo Halonen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was made for the Neste refinery, located in Porvoo. The purpose of the thesis was to improve the flare system operating manual for abnormal conditions. This thesis consists of two parts, an operating manual and a theory part.</p> <p>The operating manual was developed on the basis of the information from recent HAZOP-meetings and by examining the previous abnormal conditions of the flare system. With the results, we can define the most likely and most serious abnormal conditions. After this, instructions on how to react in abnormal conditions were made. The results from the HAZOP-meetings as well as API standards, earlier practice of previous abnormal conditions and statements from experts within different fields of the company, were used in order to create the operating manual.</p> <p>In the theory part the flare system and belonging devices, as well as pressure relieving devices are discussed.</p> <p>The manual was made according to the new short pocket manual format of Neste. The pocket manual is intended to serve as a short and clear guide that gives instructions on how to operate in abnormal conditions. The manual can be utilized in future activities within the operating unit.</p>	
Keywords	flare system, flare, safety valve, instructions

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Painelaitteiden suojaukseen käytetyt laitteet	1
2.1	Varoventtiilit	2
2.1.1	Jousikuormitteiset varoventtiilit	2
2.1.2	Pilot-toiminen varoventtiili	6
2.2	Varoventtiilin sijoitus ja putkistosuunnittelu	8
2.2.1	Vastapaine	8
2.2.2	Mitoitus ja valinta	9
2.2.3	Kriittinen virtaus	14
2.2.4	Nestemäiset aineet	14
2.3	Murtolevyt	15
3	Soihtujärjestelmä	17
3.1	Soihtuputkisto	18
3.2	Nesteenerotussäiliöt	18
3.3	Vesilukkosäiliö	19
3.4	Mittaukset	21
3.5	Soihdut	23
3.6	Soihtutornit	25
3.6.1	Soihtutornirakenteet	25
3.6.2	Itsekantava soihtu	25
3.6.3	Vaijereilla tuettu soihtu	26
3.6.4	Kehikolla tuettu soihtutorni	26
3.6.5	Kehikolla tuettu soihtutorni kaadettavalla nousuputkella	26
3.7	Maasoihdut	26
3.8	Soihdun kärkikappale	27
3.9	Pilot-polttimeet	28
3.10	Pilotin sytytysjärjestelmä	31
3.10.1	Automaattisen sytytystulpan toiminta	32
3.10.2	Liekkirintamasytytys	32
3.11	Palamista tehostavat järjestelmät	32
3.11.1	Höyry	33
3.11.2	Höyryn määrä	34
3.11.3	Höyryrengas	35
3.11.4	Sisähöyrysuutin	35

3.11.5	Soihtu ilman palamista avustavia järjestelmiä	35
3.11.6	Endoterminen soihtu	36
3.11.7	Ilma-avusteiset soihdut	36
3.11.8	Korkeapaineiset savuttomat soihdut	36
3.11.9	Low-noise –soihdut	37
4	Porvoon jalostamon soihtujärjestelmä	37
4.1	Soihtukaasut	38
4.2	Soihtuputkisto	39
4.3	Soihdut	39
4.4	Soihtukaasun talteenotto SKTO	40
4.5	BAT–tarkastelu	40
5	Työmenetelmä	43
	Lähteet	47

Lyhenteet

HAZOP	Hazard and operability study
API	American Petroleum Institute
DIERS	Design Institute for Emergency Relief Systems
PI-kuva	Putkitus- ja instrumentointikaavio
VOC	Volatile organic compound
SKTO	Soihtukaasun talteenottoyksikkö

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Neste Oyj:n Porvoon jalostamon soihtujärjestelmän ohjeistusta. Ohjeiden tarkoituksena on antaa operoivalle henkilökunnalle tarvittavat tiedot turvalliseen ja tehokkaaseen toimintaan häiriötilanteissa. Päivitetyistä ohjeista tehtiin uuden taskuohjemallin mukainen vihko operaattoreille.

Porvoon jalostamo koostuu neljästä tuotantolinjasta ja yli 40 prosessiyksiköstä. Useassa prosessiyksikössä käsitellään paineenalaisia erittäin helposti syttyviä, palavia ja myrkyllisiä aineita. Soihtujärjestelmän tarkoituksena on taata, että jalostamon toiminta on turvallista henkilöstölle ja ympäristölle kaikissa tilanteissa. Sen tärkein tehtävä on toimia varoventtiilien turvallisena purkupaikkana ja mahdollistaa prosessiyksiköiden paineenalennus ja paineensäätö ympäristöä vaarantamatta. Normaalitylanteessa kaikki järjestelmään johdetut kaasut hyödynnetään joko jalostamon energiantuotannossa tai poltetaan vaarattomiksi yhdisteiksi soihdussa. Tässä työssä käsitellään soihtujärjestelmään kuuluvia laitteita ja niiden suunnitteluperusteita. Tietolähteinä on käytetty API:n standardeja, Neste Oilin sisäisiä dokumentteja ja asiantuntijalausuntoja. Ohjeet päivitettiin koottujen tietojen perusteella.

2 Painelaitteiden suojaukseen käytetyt laitteet

Painelaitteet on suojattava niiden suurimman sallitun käyttöpaineen ylittymiseltä. Painelaitteiden suojaukseen käytetään varoventtiilejä ja murtolevyjä. Laitteet voivat ylipaineistua mekaanisen vian, operointivirheen, vääräsuuntaisen virtauksen tai tulipalon seurauksena [1, s. 17–18]. Varolaitteen tulee olla mitoitettu siten, että se estää liiallisen paineen nousun. Jos varolaitte ei toimi tai se on väärin mitoitettu, paine purkautuu ääritapauksessa räjähdysmäisesti laitteiston repeytyessä [2, s. 9]. Kaikkien varolaitteiden tulee olla omatoimisia eli niiden pitää toimia ilman ulkopuolista energialähdettä esimerkiksi sähkökatkoksissa. Varolaitteiden on oltava toimintavarmoja ja kestävä pitkiä aikoja ilman huoltoa.

2.1 Varoventtiilit

Varoventtiilit sopivat lähes kaikkien painelaitteiden suojaukseen ja niitä käytetään laajasti eri sovelluksissa teollisuudessa ja kuluttajatuotteissa. Varoventtiili on rakenteeltaan yksinkertainen, ja sen huoltotarve on vähäinen. Varoventtiileitä on saatavilla kaikissa koko- ja paineluokissa.

2.1.1 Jousikuormitteiset varoventtiilit

Rakenne

Varoventtiilin toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat käyttövoiman tarjoava jousi, venttiilin sulkuelimenä toimiva lautanen ja suutin, jonka tiivistepintaa vasten lautanen tiivistää venttiilin. Venttiilin avautumispaine säädetään venttiilin päällä olevasta ruuvista, joka muuttaa venttiilin sisällä olevan jousen jännitystä. Varoventtiileissä voi olla kevennysskahva venttiilin toiminnan testaamista varten. Kevennysskahvan kääntäminen puristaa jousia kasaan ja laskee venttiilin avautumispainetta.

Jousikuormitteiset varoventtiilit voidaan jakaa perinteisiin ja palkeellisiin varoventtiileihin. Palkeellisissa varoventtiileissä venttiilin jousi ja osa lautasesta on suojattu palkeella, joka eristää palkeen sisäpuoliset alueet venttiilin purkupuolen olosuhteilta (kuva 1). Palkeen tehtävä on estää purkupuolen paineen vaikutus venttiilin avautumispaineeseen. Palje suojaa myös venttiilin jousia soihtujärjestelmässä esiintyviltä korrodoivilta ja liikaavilta aineilta. Kaikkien soihtujärjestelmään tai suljettuun säiliöön liitettyjen varoventtiilien tulee olla palkeellisia, koska järjestelmässä voi olla vaihtelevaa vastapainetta. Perinteisiä varoventtiileitä käytetään vesi- ja käyttöhyödykelaitteiden suojaukseen ja ne purkavat aina suoraan ilmaan. Niitä voidaan käyttää myös säiliöiden siirtoputkiston ylipainesuojaukseen, jolloin säiliö toimii varoventtiilin purkupaikkana. Purkupuolella ei silloin esiinny vaihtelevaa vastapainetta, vaan vastapaineen määrittää säiliön nestepinnan aiheuttama hydrostaattinen paine [3].

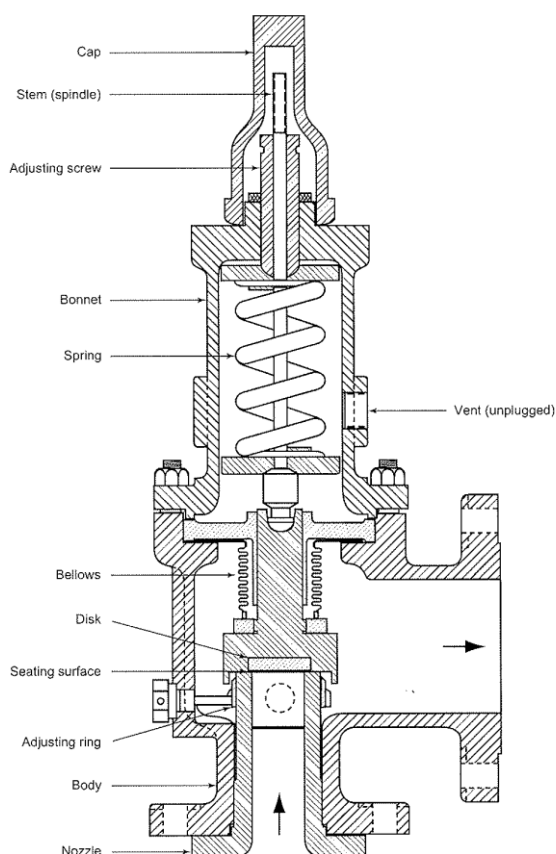


Figure 2—Balanced-bellows PRV

Cap = säätöruuvin suojakansi
 Stem = venttiilin kara
 Adjusting screw = säätöruuvi
 Bonnet = jousipesän suojakupu
 Spring = jousi
 Vent = jousipesän tuuletusaukko
 Bellows = palkeet
 Disk = venttiilin lautanen
 Seating surface = tiivistepinta
 Adjusting ring = säätörengas
 Body = venttiilin runko
 Nozzle = suutin

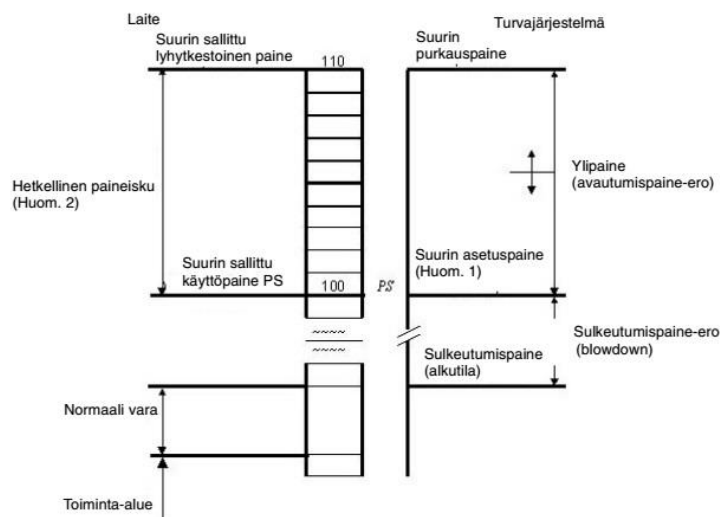
Kuva 1. Palkeellisen varoventtiilin pääosat [4, s. 9].

Toiminta

Jousikuormitteinen varoventtiili on omatoiminen laite, jonka tarkoituksena on aueta ennalta asetetussa paineessa ja suojata laitteistoa ylipaineistumiselta. Paineen ollessa alle varoventtiilin avautumispaineen jousi painaa lautasen tiiviisti suutinta vasten estäen virtauksen venttiilin läpi.

Kun laitteiston paine saavuttaa asetetun avautumispaineen (kuva 2), jousivoima ylittyy ja lautanen alkaa nousta päästäen nesteen tai kaasun virtaamaan venttiilin läpi. Jos laitteen paine edelleen nousee, jousi painuu kasaan nostoen lautasen lopulta yläasentoonsa, jolloin varoventtiili toimii täydellä kapasiteetillaan (kuva 3). Laitteiston suunnittelussa on huomioitava, että paine voi nousta varoventtiilin avautumispainetta korkeam-

malle. Varoventtiili mitoitetaan siten, että avautumispaine voi ylittyä maksimissaan 10 % [5, s. 22].

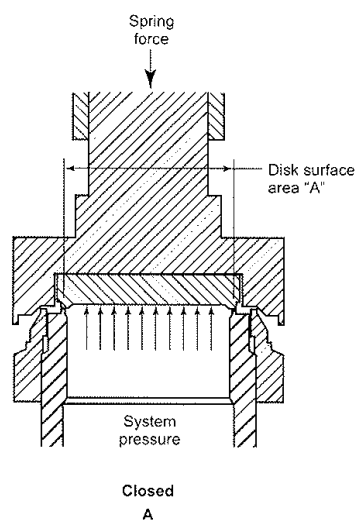


Suurin sallittu lyhykestoinen paine = varoventtiili purkaa maksimikapasiteetilla
 Suurin sallittu käyttöpaine = varoventtiilin avautumispaine
 Toiminta-alue = normaali ope-
 rointipaine

Kuva 2. Operointi-, asetus- ja suunnittelupaineen suhteet [5, s. 44]

Paineen laskettua venttiili alkaa sulkeutua jousivoiman ylittäessä lautaseen kohdistuvan painevaikutuksen. Jousikuormitteinen varoventtiili sulkeutuu aina avautumispainetta alemmassa paineessa. Venttiilin ollessa kiinni paine vaikuttaa suuttimen rajaamalle alueelle, kun taas venttiilin auetessa paine pääsee vaikuttamaan koko lautasen pinta-alueelle, jolloin säädetty jousivoima ei riitä sulkemaan venttiiliä asetuspaineesa [6, s. 7].

Spring force = jousivoima
 Disk surface area = lautasen pinta-ala
 System pressure = järjestelmän paine
 Secondary annular pressure area = paineen vaikutusalue venttiilin avauduttua
 Disk holder = lautasen pidike
 Adjusting ring = säätörengas
 Secondary annular discharge area = virtauksen purkausalue venttiilin avauduttua
 Nozzle bore = suutinputki
 Inlet flowing pressure = imupuolen virtauksen aiheuttama painevaikutus



A = venttiili kiinni
 B = venttiili avautuu
 C = venttiili avautunut ja virtaus venttiilin läpi

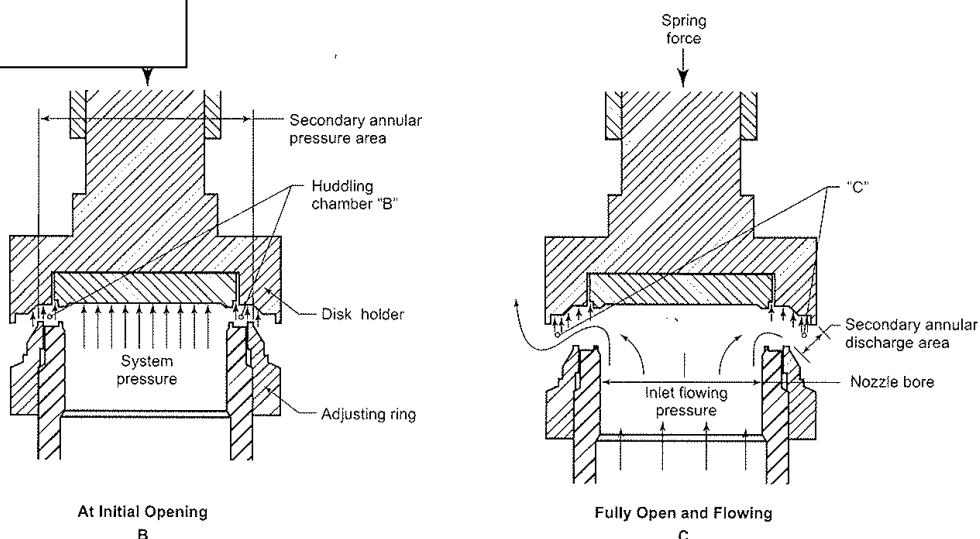


Figure 5—PRV Operation—Vapor/Gas Service

Kuva 3. Jousikuormitteisen varoventtiilin toiminta kaasuilla [4, s. 13].

Käyttökohteet

Jousikuormitteisia varoventtiileitä käytetään teollisuudessa laajasti. Sen etuja ovat pitkä käyttöaika ilman huoltoa, luotettavuus ja toiminta ilman ulkopuolista energianlähdettä. Venttiilityppi ja valmistusmateriaali valitaan käyttökohteen ja olosuhteiden perusteella. Jousikuormitteista varoventtiiliä ei voida käyttää kohteissa, joissa voi tapahtua

räjähdyksenomainen paineenousu esimerkiksi veden tai kevyen hiilivedyn höyrystyessä nopeasti. Mekaanisen rakenteensa takia venttiilin toiminta ei ole tarpeeksi nopeaa tällaiseen tilanteeseen ja laitteiston korkein sallittu käyttöpaine voi ylittyä. Varoventtiili voi nopeimmillaan reagoida noin kymmenesosasekunnissa tapahtuvaan paineenousuun. [5, s. 54.]

Likaavat ja korkean viskositeetin omaavat aineet häiritsevät venttiilin toimintaa. Tällaisissa kohteissa varoventtiili on suojattava likaantumiselta murtolevyllä. Venttiilin jousi voi kuoleentua pitkän huoltovälin aikana, jolloin venttiilin avautumispaine laskee. Varoventtiilin avautumispaine on testattava säännöllisesti viranomaisten määräysten mukaisesti. Venttiili tarkastetaan prosessiyksikön huoltopysäytyksen yhteydessä. Avautumispaineen sallittu vaihteluväli on 3 %. [7, s. 6.]

Varoventtiilin tiivistepinnat voivat vaurioitua, jos lautanen pääsee aukeamaan ja sulkeutumaan nopeassa tahdissa. Tämä on riskinä erityisesti, jos kohteeseen on valittu väärän tyyppinen varoventtiili tai mitoitus on virheellinen. Varoventtiilin vaurioituminen voi aiheuttaa suuria tuotantotappioita, koska prosessi on usein pysäytettävä huollon ajaksi. Vikaantumiseen voi varautua asentamalla kohteeseen kaksi samanlaista venttiiliä. Venttiilit ovat erotettavissa prosessista siten, että vain toinen on käytössä ja toisen toimiessa varalaitteena. Käytössä olevan laitteen vikaantuessa varalaitte otetaan käyttöön ja viallinen voidaan huoltaa pysäyttämättä prosessia. Hyväksyttäviä menetelmiä kahdennetun varolaitteen erottamiseen huoltoa tai tarkastusta varten ovat 3-tie venttiilit, vaihtoventtiilit ja mekaaniset kytkentälaitteet. [5, s. 40.]

2.1.2 Pilot-toiminen varoventtiili

Rakenne

Pilot-toimisen varoventtiilin rakenne on jousikuormitteista varoventtiiliä monimutkaisempi. Venttiili pääosin koostuu käyttöpaineputkistosta, paineensäätölaitteistosta, ja sulkuelimenä toimivasta männästä sylintereineen (kuva 4). Venttiilin avautumispaine säädetään paineensäätöruuvista, joka toimii samalla periaatteella kuin jousikuormitteisessä varoventtiilissä. Venttiilin muusta rakenteesta on olemassa lukuisia erilaisia toteutuksia. Venttiiliin on saatavilla erilaisia lisävarusteita, joilla voidaan esimerkiksi estää takaisinvirtaus venttiilin läpi.

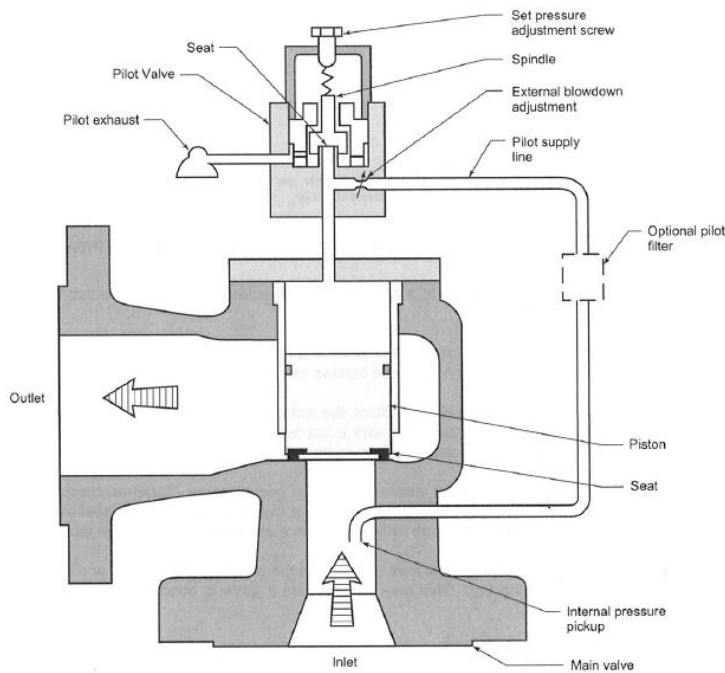


Figure 10—Pop-action Pilot-operated Valve (Flowing-type)

Set pressure adjustment screw = säätöruuvi
 Spindle = kara
 Seat = tiiviste
 Pilot valve = pilot venttiili
 Pilot exhaust = pilot venttiin purkuputki
 External blowdown adjustment = ulospuhalluksen säädin
 Pilot supply line = käyttöpaineputki
 Optional pilot filter = käyttöpaineputken sihti
 Piston = mäntä
 Internal pressure pickup = käyttöpaineen sisäänmeno
 Outlet = purkupuoli
 Inlet = sisäänmeno
 Main valve = venttiilin runko

Kuva 4. Pilot-toimisen varoventtiilin rakenne [4, s. 18].

Toiminta

Käyttöpaine johdetaan venttiin sisäänmenosta putkistoa pitkin sylinteriin männän taakse ja paineensäätimelle. Sylinterissä ja painelaitteessa on sama paine, mutta koska männän pinta-ala on suurempi sylinterin puolella, venttiili pysyy suljettuna paineen ollessa alle asetuspaineen. Asetuspaineessa paineensäädin avautuu, jolloin paine sylinterissä laskee ja mäntä painuu sylinteriin. Paineensäädin toimii kuten jousikuormitteen varoventtiili ja sen avautumispainetta voidaan säätää säätöruuvista. Paineen laskettua paineensäädin sulkeutuu ja mäntä painuu suutinta vasten estäen virtauksen venttiin läpi.

Käyttökohteet

Pilot-toimisia varoventtiileitä voidaan käyttää kohteissa, joissa purkuputkistossa esiintyy vastapainetta ja suojattavan laitteiston paine on niin pieni, ettei jousikuormitteen va-

roventtiin käyttäminen ei ole mahdollista. Koska osa pilot-toimisista varoventtiileistä aukeaa täysin jo asetuspaineessa, suojattavan painelaitteen paine ei nouse häiriötilanteessa yhtä korkealle, kuin käytettäessä jousikuormitteista varoventtiiliä. Pilot-toiminen varoventtiili sopii myös kohteisiin, joissa esiintyy kaksifaasivirtausta [4, s. 21]. Huolimatta pilot-toimisen venttiin hyvistä ominaisuuksista sen käyttöä tulee kuitenkin harkita huolella, sillä toimintavarmuus ei yllä jousikuormitteisen varoventtiin tasolle. Yleisimmät toimintahäiriöt aiheutuvat käyttöpaineputkiston, suodattimen tai paineensäätimen likaantumisesta. Myös takaisinvirtaus on mahdollista, jos purkupuolen paine on korkeampi kuin venttiin sisäänmenossa.

2.2 Varoventtiin sijoitus ja putkistosuunnittelu

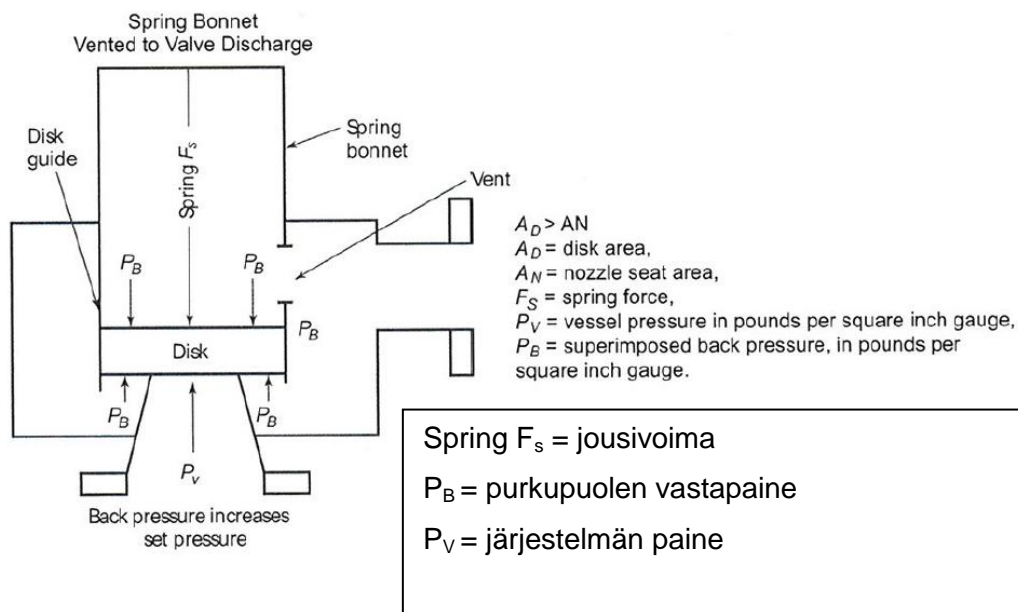
Varoventtiili sijoitetaan mahdollisimman lähelle suojattavaa laitetta, jotta painehäviö tuloputkessa jää pieneksi. Putkiston kaadot on suunniteltava niin, että nesteitä ei pääse kondensoitumaan venttiin tulo- tai purkupuolelle. Putkiston muodon on oltava suoraviivainen, eikä siinä saa olla runsaasti mutkia. Venttiin jälkeisen purkupuotken suunnittelupaineen on oltava soihpututkea suurempi, jos virtaus venttiin läpi on kriittistä ja prosessin paine on korkea. Purkupuotkiston halkaisijaa voidaan kasvattaa laajenevilla kartioilla, jos virtausnopeus ja painehäviö kasvavat liian suuriksi. Venttiili on sijoitettava pystyasentoon, koska asennolla on vaikutusta sen toimintaan.

Putkistoon ennen tai jälkeen varoventtiiliä ei suositella asennettavaksi sulkuventtiileitä. Jos varoventtiilille asennetaan sulkuventtiili, sen on oltava käytön aikana auki-lukittuna. Putkiston suunnittelussa ja tuennassa tulee huomioida purkauksen aiheuttamat voimat.

2.2.1 Vastapaine

Vastapaineella tarkoitetaan varoventtiin purkupuolella soihpututkistossa tai säiliössä vallitsevaa painetta, joka vaikuttaa sen toimintaan ja kapasiteettiin. Paine venttiin purkupuolella painaa lautasta kiinni, ja venttiin sisäänmenossa vaaditaan siten vastapaineen suuruinen paineenlisäys, jotta venttiili aukeaa (kuva 5). Vastapaineen suuruus ja vaikutukset on siksi otettava tarkasti huomioon putkiston suunnittelussa ja venttiin valinnassa. Suurin suunnittelussa käytettävä vastapaineen arvo vastaa tilannetta, kun kaikki samassa skenaariossa tarkasteltavat paineenalennuslaitteet

purkautuvat samaan järjestelmään yhtäaikaaisesti. Palkeellisen varoventtiin suurin sallittu vastapaine on yleensä 50 % avautumispaineesta ja tavallisen jousikuormitteisen 10 %.



Kuva 5. Vastapaineen vaikutus perinteiseen varoventtiin [4, s. 16].

2.2.2 Mitoitus ja valinta

Varoventtiin läpivirtauskapasiteetin on oltava riittävä kaikkiin häiriötilanteisiin. Usein mitoitus laaditaan suurimman mahdollisen purkausmäärän perusteella. Suurin purkausmäärä lasketaan usein tilanteesta, kun prosessissa on täydellinen jäähdytysvesi tai sähkökatko. Tällöin menetetään jäähdyttävä virtaus, jolloin osa prosessivirrasta höyrystyy lämmön nousun seurauksena. Venttiileitä mitoitetaan myös suojaamaan yksittäisiä putkia, säiliöitä tai laitteita. Ylipaineistumisen kaksi yleisintä aiheuttajaa on lämmön aiheuttama höyrystyminen ja lämpölaajeneminen tai virtaus korkeamman paineen lähteestä [1, s. 14].

Muita ylipaineistumisen syitä ovat [1, s. 15–16]

- estynyt virtaus
- ylitäyttö

- alhaisessa lämpötilassa kiehuvan nesteen johtaminen kuumaan prosessivirtaan
- automaation vikaantuminen
- ulkoinen tulipalo.

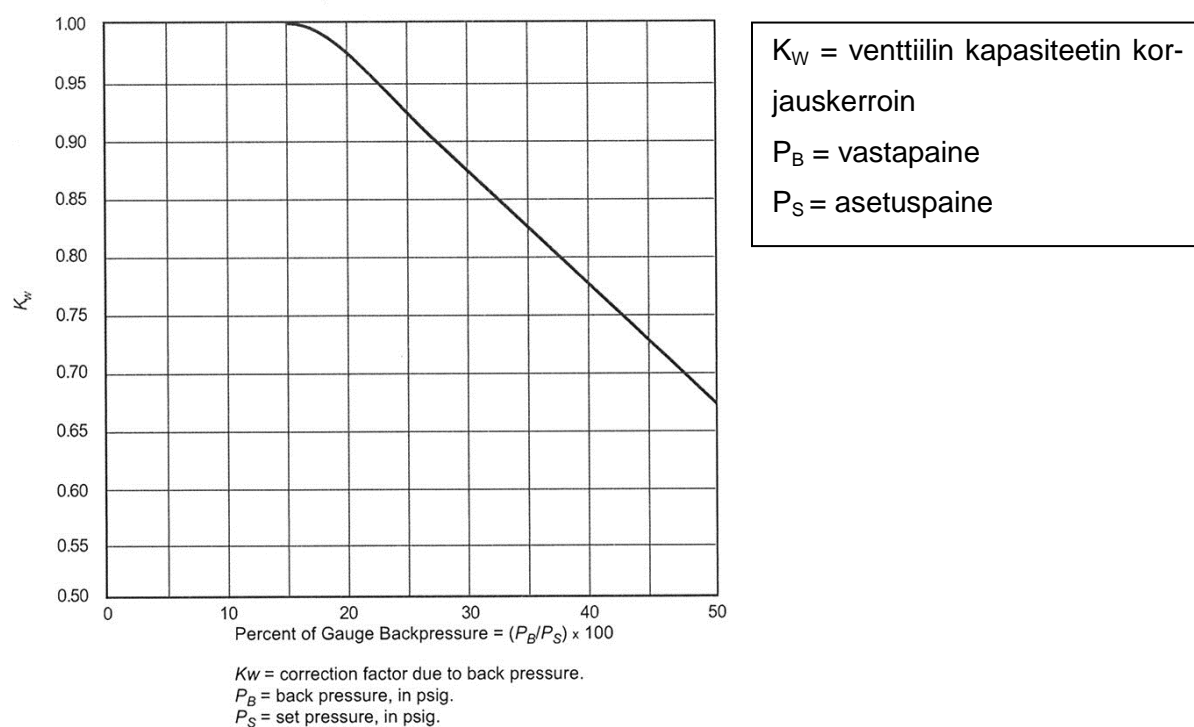
Varoventtiili voidaan mitoittaa suojaamaan reaktoria tilanteessa, jossa kemiallinen reaktio on karannut hallinnasta. Tällöin mitoituksessa käytetään DIERS:n kehittämää menetelmää [1, s. 30]:

- Määritetään olosuhteet, jotka aiheuttavat reaktion karkaamisen hallinnasta.
- Simuloidaan reaktioiden karkaamista pienimuotoisessa koelaitoksessa.
- Venttiilin koon mitoituksessa käytetään kaavaa, joka huomio kaksifaasivirtauksen.

Varoventtiilin oikea mitoitus on tärkeää, sillä kapasiteetiltaan liian pieni varoventtiili voi aiheuttaa järjestelmän suurimman sallitun käyttöpaineen ylittymisen ja laitteiston vaurioitumisen. Toisaalta liian suureksi mitoitettu varoventtiili ei toimi oikein ja voi vikaantua toimiessaan.

Purkausmäärän laskemisen apuna käytetään simulointeja, virtauskaavioita, ainetaseita, PI-kuvia ja muita laitetietoja. Laitteistossa esiintyvien aineiden kiehumispiste, tilavuus ja olomuoto vaikuttavat suuresti purkausmäärään ja venttiililtä vaadittuun kapasiteettiin [4, s. 44]. Kun suurin mahdollinen purkausmäärä on määritetty, lasketaan varoventtiilin tarvittava koko. Varoventtiilin mitoituksessa käytetyt purkausmäärät ja niiden laskuperusteet on dokumentoitava huolellisesti.

Varoventtiilin mitoituksessa on purkausmäärän lisäksi huomioitava soihtujärjestelmässä vallitseva vastapaine, sekä putkiston painehäviöt. Soihtujärjestelmän vastapaineen vaikutus venttiilin käytännön kapasiteettiin lasketaan venttiilivalmistajalta saatavien korjauskertoimien avulla (kuva 6). Varoventtiilin sisäänmeno ja purkauspuolen putkisto mitoitetaan venttiilin kapasiteetin ja koon mukaan. Putkiston painehäviö ei saa kasvaa liian suureksi ja sen vaikutus otetaan huomioon mitoituslaskennassa.



Kuva 6. Vastapaineen vaikutus venttiilin kapasiteettiin [4, s. 48]

Esimerkki varoventtiilin mitoituksesta [4, s. 60–61]

Lasketaan purkausmäärä V tarkasteltavassa tilanteessa.

a) kaasumainen hiilivetyvirtaus V 24,270 kg/h, jonka syy on operointivirhe.

Arvioidaan kaasun koostumus ja lasketaan moolimassa

b) kaasu on mooliosuudeltaan 50/50 sekoitus n-butaania C_4 ja propaania C_3 . Moolimassa (M) on 51 g/mol.

Selvitetään kaasun purkautumislämpötila

c) purkautumislämpötila on 348 K

Määritetään laitteiston suunnittelupaine

d) varoventtiilin avautumispaine on 517 kPa, joka on laitteiston suunnittelupaine.

Määritetään vastapaine, joka on vakiovastapaineen ja vaihtelevan vastapaineen summa.

e) vastapaine on 101,325 kPa.

Määritetään suurin sallittu lyhytkestoinen ylipaine

f) sallittu lyhytkestoinen ylipaine on 10 %.

Näistä lähtötiedoista on johdetaan seuraavat tulokset

Määritetään suurin purkautumispaine. P_1 Lasketaan kertomalla varoventtiilin avautumispaine suurimmalla sallitulla lyhytkestoisella paineenylityksellä ja lisäämällä tulokseen ilmakehän paine.

g) suurin purkautumispaine P_1 .

$$517 \text{ kPa} \times 1,1 + 101,325 \text{ kPa} = 670 \text{ kPa}$$

Lasketaan kaasun kompressibiliteetti Z varoventtiilin imupuolen olosuhteissa. Jos tietoa ei ole saatavilla, käytetään Z arvoa 1,0.

h) Z on tässä tapauksessa 0,9.

Selvitetään onko virtaus kriittistä. Kriittisen virtauksen paine lasketaan kertomalla suurin purkautumispaine kriittisen virtauksen painesuhteella. Virtaus on kriittistä, jos kriittisen virtauksen paine on suurempi kuin vastapaine. Esimerkissä kriittinen paine on 392 kPa ja vastapaine 101,325 kPa, joten virtaus on kriittistä.

i) kriittisen virtauksen paine (kriittisen virtauksen painesuhde taulukosta 7)

$$670 \text{ kPa} \times 0,585 = 392 \text{ kPa}$$

Määritetään C, joka on funktio ideaalikaasun lämpökapasiteettien suhteesta purkautumislämpötilassa. Arvot taulukoista 7 ja 8 [4, s. 55–57]

j) $C_p/C_v=k$ $C=0,0249$

Määritetään kapasiteetin korjauskerroin vastapaineelle. Korjauskertoimet saadaan varoventtiilin valmistajalta.

e) korjauskerroin K_b on 1,0

Määritetään kapasiteetin korjauskerroin K_c murtolevylle. Jos varoventtiiliä ei varusteta murtolevyllä $K_c=1$.

f) K_c on 1,0

Lasketaan tarvittava varoventtiilin purkuaukon pinta-ala. Laskussa käytetään kriittisen virtauksen yhtälöä.

$$A = \frac{W}{C K_d P_1 K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}}$$

, missä

A = tarvittava varoventtiilin purkuaukon pinta-ala

W = suurin virtaus varoventtiilin läpi

C = funktio ideaalikaasun lämpökapasiteettien suhteesta purkautumislämpötilassa

K_d = purkauksen tehokkuuskerroin. Varoventtiilillä K_d on 0,975 ja murtolevyllä 0,62.

P_1 = suurin purkautumispaine

K_b = kapasiteetin korjauskerroin vastapaineen vaikutukselle

K_c = kapasiteetin korjauskerroin murtolevyn vaikutukselle

T = purkautuvan kaasun lämpötila (K)

Z = kaasun kompressibiliteetti vallitsevissa olosuhteissa

M = purkautuvan kaasun moolimassa

,josta purkuaukon pinta-alaksi saadaan

$$A = \frac{24270 \text{ kg/h}}{0,0249 \frac{\sqrt{\text{kg} \times \text{kg-mol} \times \text{K}}}{\text{mm}^2 \times \text{h} \times \text{kPa}} \times 0,975 \times 670 \text{ kPa} \times 1 \times 1 \sqrt{\frac{348 \text{ K} \times 0,9}{51 \text{ g/mol}}} = 3698 \text{ mm}^2$$

2.2.3 Kriittinen virtaus

Kriittisellä virtauksella tarkoitetaan purkautuvan aineen suurinta virtausnopeutta varoventtiilin läpi. Kriittinen virtausnopeus on sama kuin virtaavan aineen äänennopeus vallitsevissa olosuhteissa ja tällöin venttiilin sisäänmenossa ja ulostulossa vallitsee sama paine [4, s. 53-54]. Kriittisessä virtausnopeudessa massavirta varoventtiilin yli ei voi kasvaa suuremmaksi, ellei tulopuolen painetta nosteta. Tämä taas aiheuttaa laitteiston suurimman sallitun käyttöpaineen ylittymisen, mikä ei ole sallittua. Mitoitettaessa varoventtiiliä on selvitettävä onko virtaus kriittistä ja sen vaikutukset varoventtiilin purkauskapasiteettiin. Kriittinen virtaus määritetään varoventtiilin imu- ja purkupuolen painesuhteen perusteella. Jalostamolla käytettävien varoventtiilien virtaus on pääosin kriittistä.

2.2.4 Nestemäiset aineet

Yksi tärkein venttiilin valintaan ja kapasiteettiin vaikuttava tekijä on purkautuvan aineen olomuoto. Varoventtiili käyttäytyy nesteillä eri tavoin kuin kaasulla. Koska nesteet eivät puristu kokoon, häiriötilanteessa laitteiston paine saavuttaa nopeasti varoventtiilin avautumispaineen ja heti lautasen noustessa paine romahtaa takaisin alas. Tämä voi aiheuttaa lautasen nopeaa hakkaamista tiivistepintaa vasten ja vaurioittaa varoventtiiliä, varsinkin jos varoventtiili on väärin mitoitettu. Koko prosessi pyritäänkin suunnitte-

lemaan pelkästään kaasuille. Jos varoventtiili on suunniteltu kaasuille ja purkautuva aine on nestettä, tarvitaan jopa 25 % asetuspaineen ylitys ennen venttiilin vakaata avautumista. Nesteillä lautasen avautuminen tapahtuu ainoastaan virtauksen aiheuttamasta painevaikutuksesta. Jos käytetään varoventtiilejä, jotka toimivat molemmille faaseille on hyväksyttävä venttiilin avautumispaineen vaihtelu tai käytettävä olosuhteisiin sopivaa venttiilityyppiä. Nesteen viskositeetillä on lisäksi suuri vaikutus purkauskapasiteettiin. [4, s. 12–14.]

Suunnittelussa on huomioitava pumppujen nostokorkeus, jotta pumput eivät laukaise varoventtiilejä käydessään suljettua venttiiliä vasten. Muuten on vaarana, että purkulinjoihin ja soihutjärjestelmään pääsee suuria määriä nesteitä.

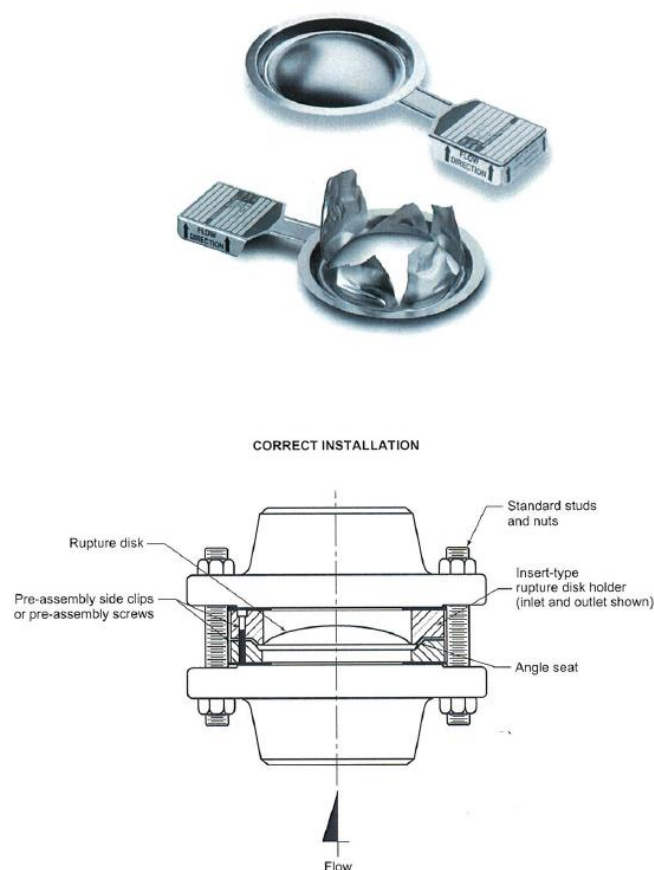
Nesteillä purkauspaikan valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Nesteet on johdettava purkupuolelta joko takaisin prosessiyksikköön tai erilliseen nesteidenerotussäiliöön ennen soihutjärjestelmään menoa. Nesteiden kokoonpuristumattomuuden takia nestemäisten aineiden varoventtiilit ovat kooltaan pieniä. Kaasupurkauksessa nesteille suunnitellun varoventtiilin kapasiteetti ei riitä ja laitteiston suunnittelupaine voi ylittyä.

2.3 Murtolevyt

Toiminta ja rakenne

Murtolevyt ovat kertatoimisia laitteita, joita käytetään yli- tai alipainesuojaukseen ja suojaamaan herkempiä varoventtiileitä prosessin olosuhteilta. Murtolevy on yksinkertaisesti putkistoon asennettava laippa, jonka sisällä on kupera metallilevy (kuva 7). Murtolevyn toiminta perustuu metallilevyn hajoamiseen asetuspaineessa.

Kun paine saavuttaa murtolevyn asetuspaineen, levy rikkoutuu päästäen aineen virtaamaan turvalliseen paikkaan. Koska murtolevyssä ei ole liikkuvia osia, ne ovat luotettavampia ja nopeammin toimivia kuin varoventtiilit. Murtolevyt toimivat yhtä hyvin nesteiden ja kaasujen kanssa.



Kuva 7. Murtolevyn rakenne ja oikea asennussuunta [4, s. 31].

Murtolevyjä käytetään yleisesti varoventtiilien suojaamiseen. Tällöin murtolevy sijoitetaan putkistossa mahdollisimman lähelle varoventtiiliä, jolloin vähennetään purkauksessa syntyvää virtausshokkia varoventtiiliä vasten. Murtolevyn avautumispaineen on oltava sama kuin sen suojaaman varoventtiilin. Murtolevyn avulla varoventtiili voidaan eristää prosessin olosuhteista ja näin estää sen likaantumisen tai korrosio. Varoventtiilin suojauksessa on valittava murtolevy, josta ei irtoa palasia levyn rikkoutuessa. Murtolevyn ja varoventtiilin välinen putki varustetaan painemittarilla, jotta vuoto tai levyn rikkoutuminen voidaan havaita. Varoventtiilin suojaamisella saavutetaan suurempi toimintavarmuus ja vähennetään huollon tarvetta.

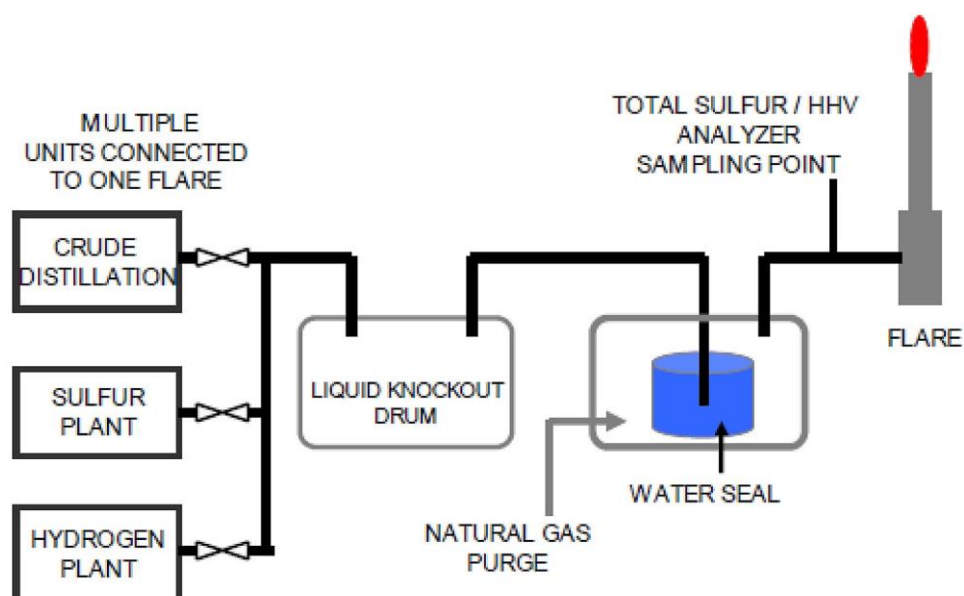
Murtolevyä käytetään varoventtiilin sijasta kohteissa, joissa on vaarana räjähdyksenomainen paineen nousu. Jousikuormitteinen varoventtiili on mekaanisen rakenteensa vuoksi liian hidas ja laitteiston paine saattaa nousta hetkellisesti huomattavasti suunnittelupainetta korkeammalle. Näissä kohteissa laitteisto voidaan suojata ainoastaan murtolevyllä sen nopean toiminnan ansiosta. [4, s. 26.]

Murtolevyn valinnassa on otettava huomioon prosessin lämpötila, koska korkeampi lämpötila alentaa sen avautumispainetta [4, s. 26]. Sykkivä paine voi rikkoa murtolevyn alle sen asetuspaineen.

Murtolevyn huonoja puolia ovat kertakäyttöisyys, lämpötilan vaikutus avautumispaineeseen ja vastapaineen suora vaikutus avautumispaineeseen. Nämä seikat rajoittavat murtolevyn käyttömahdollisuuksia prosesseissa.

3 Soihujärjestelmä

Soihujärjestelmällä tarkoitetaan prosessiyksiköiden liityntäputkistoa, nesteenerotus- ja vesilukkosäiliöitä, soihuja ja soihutokaasun talteenottoyksikköä (kuva 8).



Kuva 8. Kaaviokuva soihujärjestelmästä [8].

3.1 Soihputkisto

Soihputkiston tarkoituksena on johtaa prosessiyksiköistä tulevat kaasut soihtuun tai soihtukaasun talteenottoon. Useamman soihdun järjestelmissä soihdut liittyvät toisiinsa suurien runkoputkien välityksellä ja kaasun virtausta voidaan tarpeen mukaan jakaa kaikille soihtuille. Soihputkiston runkoputket on mitoitettava siten, että järjestelmän vastapaine ja virtausnopeus eivät kasva liian suureksi. Virtausnopeus runkoputkistossa ei saa ylittää 0,5 Machin ja varoventtiilin purkupuolella 0,7 Machin nopeutta. Liian suuri virtausnopeus rajoittaa putkiston virtausta ja alentaa varoventtiilien kapasiteettia. Jos virtausnopeus saavuttaa äänennopeuden, osa energiasta muuttuu värähtelyksi, joka voi rikkoa putkiston [3]. Soihputkisto on järkevää ylimitoittaa, jos siihen tulevaisuudessa mahdollisesti liitetään uusia prosessiyksiköitä.

Soihputjärjestelmä suunnitellaan yleensä pelkästään kaasuille ja veden pääsy sinne pyritään estämään. Putkisto voidaan jakaa märkä- ja kuivasoihputkistoon. Kuivassa soihtuputkistossa nesteiden päätyminen järjestelmään on estetty nesteenerotussäiliöllä. Suuri määrä nestettä soihtuputkistossa aiheuttaa paineiskuja ja pienentää putken virtauskapasiteettia. Käytännössä soihtujärjestelmässä kuitenkin aina esiintyy nestemäisiä aineita, esimerkiksi kuumen kaasun lauhtuessa soihtuputkistossa. Siksi putkistossa on oltava riittävät kaadot, jotta neste ei kerääntynyt notkokohtiin. Putket on eristettävä ja varustettava saattolämmityksellä, jotta estetään veden jäätyminen ja raskaiden hiilivetyjen jähmettyminen putkistoon.

Soihputkistossa voi esiintyä kaikkia laitoksella käsiteltäviä aineita, joten putken materiaaliin ja korroosiovaraansa on kiinnitettävä huomiota. Putkistossa syntyy suuria paine- ja lämpötilanvaihteluita, ja siksi laippojen määrä on pyrittävä minimoimaan vuotoriskin vähentämiseksi [9, s.17]. Pitkät putkilinjat varustetaan paisuntalenkeillä tai palkeilla lämpölaajenemisen aiheuttamien jännityksien takia.

3.2 Nesteenerotussäiliöt

Yleisimmät nesteenerotussäiliöiden tyypit ovat vaaka- ja pystytasoon sijoitettu erotussäiliö sekä keskipakoiserotin. Erotussäiliö suunnitellaan lasketun purkausmäärän, nesteiden ominaisuuksien ja vaaditun pisaranerotustehokkuuden

perusteella [9, s. 75]. Höyry- ja ilma-avusteisilla soihtuilla suurin sallittu pisarakoko on 600 µm.

Nesteenerotussäiliön tehtävänä on vastaanottaa soihtuputkistosta tulevat nestepurkaukset ja toimia soihtukaasun pisaranerottimeksi. Nesteenerotussäiliö sijaitsee usein soihtuputkiston loppupäässä ennen vesilukkosäiliötä ja soihtua. Nesteenerotussäiliötä käytetään myös prosessiyksiköiden jälkeisissä soihtulinjoissa ennen runkolinjaa, jos prosessiyksiköstä voi purkautua suuria määriä nesteitä tai nesteellä on korkea viskositeetti jäähtyessään.

Nesteenerotussäiliön on kyettävä ottamaan vastaan suuri hetkellinen nestepurkaus ja tarjottava riittävä pisaranerotuskyky, koska soihtuun kulkeutuessaan nestemäiset hiilivedyt voivat sataa palavana maahan. Vaikka nesteenerotussäiliö on oikein mitoitettu, on kuitenkin mahdollista, että suuressa soihtupurkauksessa nesteitä tai pisaroita voi kulkeutua säiliöstä eteenpäin. Jos nestekaasuja ei ole mahdollista pumpata säiliöstä pois, säiliö on varustettava lämmityksellä, jotta ne voidaan höyrystää.

Nesteet poistetaan säiliöstä automatisoidulla tyhjennyspumppulla. Tyhjennyspumppun valinta on tehtävä huolella, koska säiliöön tulevan nesteen ominaisuudet vaihtelevat. Säiliöön kertyvät nesteet pumpataan erotussäiliöön, jossa vesi ja hiilivedyt erotaan toisistaan. Soihtujärjestelmän pumput on varustettava varalaitteella ja sähkönsaanti on turvattava sähkökatkoksissa ja muissa häiriöissä, jotta säiliöiden pinnat pysyvät aina hallinnassa. Säiliön pinnan hallinta on kriittisen tärkeää, jotta kaasut pääsevät esteettä virtaamaan soihtuun. Näin varmistetaan, että laitteisto ei ylipaineistu soihtupurkauksen aikana [3].

3.3 Vesilukkosäiliö

Vesilukkosäiliötä käytetään soihtujärjestelmissä, joissa on käytössä soihtukaasun talteenotto. Vesilukkosäiliöt ovat pystyyn asennettuja säiliöitä, jotka on sijoitettu soihtutorinin viereen. Säiliön sisäänmenoputki on asennettu säiliön nestepinnan alapuolelle ja siinä käytetään aaltoillun vaimenninta, jotta soihtukaasun virtaus soihtuun pysyy tasaisena. Nestepinnan tasoa muuttamalla voidaan säätää soihtujärjestelmän painetta ja

kaasun virtausta soihtuun. Tasainen virtaus helpottaa soihdun operointia pienellä soihtukaasun määrällä ja vähentää liekin savunmuodostusta.

Säiliön nestepinta mahdollistaa soihtujärjestelmän pitämisen ylipaineisena ja soihtukaasun talteenottokompressorien käytön. Soihtuputkistolla ilman vesilukkosäiliötä on ominaisuutena kehittää voimakas piippuefekti, joka tarkoittaa käytännössä lievää alipainetta [3]. Tämä ei kuitenkaan ole haitallista, ellei järjestelmään pääse vuotamaan ilmaa. Ilmavuoto soihtujärjestelmään voi muodostaa räjähdyskelpoisen seoksen ja aiheuttaa putkiston sisäisen räjähdyksen.

Kylmissä olosuhteissa on varmistettava, että säiliö ei pääse jäätymään. Jään muodostuminen on mahdollista myös säiliön jälkeiseen nousuputkeen, joka voi jopa jäätyä umpeen. Kylmissä olosuhteissa vesilukkosäiliössä voidaan käyttää nesteinä myös öljyä tai glykoliseosta, mutta tällöin on huomioitava, että neste voi suuressa soihtupurkauksessa purkautua soihdun kärjestä ulos [9, s. 75].

Vesilukkosäiliön tehtävät [9, s. 75]:

- estää ”flashback” ilmiö eli liekin eteneminen nousuputkesta soihtujärjestelmään
- pitää soihtujärjestelmä ylipaineisena, jotta estetään ilman pääsy järjestelmään
- helpottaa soihdun operointia pienellä soihtukaasun määrällä (savuton palaminen)
- estää ilman pääsyn soihtujärjestelmään kuumen soihtupurkauksen tai soihtuun höyrytyksen jälkeen, kun soihtujärjestelmän paine laskee lämpötilan pudotessa
- mahdollistaa soihtukaasujen talteenotto.

Vesilukkosäiliön pinnan hallinta on tärkeää, koska soihtujärjestelmän paine säätyy säiliön pinnankorkeuden mukaan. Tätä varten säiliössä on kiinteä veden syöttö- ja poistoputkisto. Vesilukkosäiliön jälkeen soihdun nousuputkeen syötetään maakaasua

tai tyypeä hapen poistamiseksi. Jos nousuputkeen pääsee ilmaa, liekki voi edetä soihdun kärjestä putken sisälle vaurioittaen rakenteita.

3.4 Mittaukset

Soihtujärjestelmän tilaa seurataan mittausten avulla. Vaikka soihdunjärjestelmä ei sisällä paljon automaatiota prosessiyksikköihin verrattuna, mittaukset ovat tärkeitä operointityökaluja. Mittauksia hyödynnetään purkauslähteiden selvittämisessä, soihdukaasun määrän arvioinnissa ja nesteenerotussäiliöiden pintojen hallinnassa.

Virtausmittaukset

Virtausmittauksia käytetään soihdutettavan kaasumäärän seurantaan ja palamista tehostavien järjestelmien säätämiseen. Virtausmäärän perusteella soihtuun voidaan syöttää sopiva höyry- tai ilmavirtaus savuttoman palamisen varmistamiseksi. Soihdutuputkiston virtausmittaukset eivät saa aiheuttaa paine-eroa ja siksi perinteisiä mittauksia ei voida käyttää. Soihdutuputkistossa käytetään yleisesti ultraäänimittauksia (kuva 9). Ultraäänimittauksen tarkkuus kärsii jatkuvasta kaasun moolimassan vaihtelusta ja mittauksen kalibrointi oikealle alueelle on vaikeaa virtausmäärän suuren vaihtelun vuoksi. Luotettavien virtausmittausten toteutus soihtutuputkistoon onkin hankalaa ja mittausten epätarkkuus on hyväksyttävä. Mittaustulosten epätarkkuus aiheuttaa ongelmia varsinkin arvioitaessa laitoksen CO₂-päästöjä.



Kuva 9. Soihputkiston ultraäänivirtausmittaus [10]

Painemittaukset

Painemittauksilla saadaan tietoa soihdunjärjestelmän paineesta, soihduun purkautuvasta kaasumäärästä ja vesilukkosäiliön pinnankorkeudesta. Painemittauksia voidaan hyödyntää soihdukaasun talteenottoyksikön kompressorin kuormituksen tai monivaiheisen soihdun purkauksen säätämiseen. Painemittauksia käytetään myös soihputkistossa mahdollisesti olevien tukosten paikantamiseen. Soihdunjärjestelmän painemittauksilla ei ole erityisiä vaatimuksia, mutta ne on hyvä varustaa eristysventtiilein käynnin aikana suoritettavaa huoltoa varten.

Lämpötilamittaukset

Putkiston lämpötilamittaukset ovat erittäin tärkeitä selvittäessä soihdunpurkauksen lähdettä. Lämpötilan muutosten avulla voidaan määrittää, mistä purkaus on lähtenyt, mikä on sen olomuoto ja mahdollisesti jopa purkautunut aine. Erityisesti nestemäisen nestekaasuvuodon paikallistaminen lämpötilamittauksen avulla on helppoa, koska sen höyrystyminen sitoo runsaasti lämpöä. Mittausten avulla voidaan paikantaa soihdunjärjestelmään vuotava viallinen venttiili ja löytää epäkuntoiset putkiston saattolämmitykset. Soihdusäiliöiden lämpötilamittaukset kertovat, jos säiliöön on päätyneet nestemäistä nestekaasua, jolloin lämmitystä tehostamalla voidaan nopeuttaa säiliön sulamista.

Pinnanmittaukset

Soihtujärjestelmän nesteenerotus- ja vesilukkosäiliöt on varustettava kunnollisilla pinnanmittauksilla. Pinnanmittauksien tulee olla kahdennettuja, jotta todellisista nestepinnoista saadaan aina luotettava tieto. Pinnanmittauksia käytetään nesteenerotussäiliöiden pumppujen ohjaukseen ja soihdunjärjestelmän paineen säätöön, jonka takia ne ovat erittäin tärkeitä soihdunjärjestelmän toiminnan kannalta.

3.5 Soihdut

Soihdun on kriittinen tärkeä osa soihdunjärjestelmää. Ilman toimivaa soihdun prosessiyksiköiden hätäpaineen alennukselle ei ole turvallista purkupaikkaa. Sen on toimittava luotettavasti kaikissa häiriötilanteissa ja olosuhteissa. Soihdun toiminta on varmistettava myös täydellisen sähkökatkon aikana. Suunnittelun lähtökohtana pidetään, että soihdunjärjestelmä täyttää seuraavat vaatimukset ilman huoltoa viiden vuoden ajan.

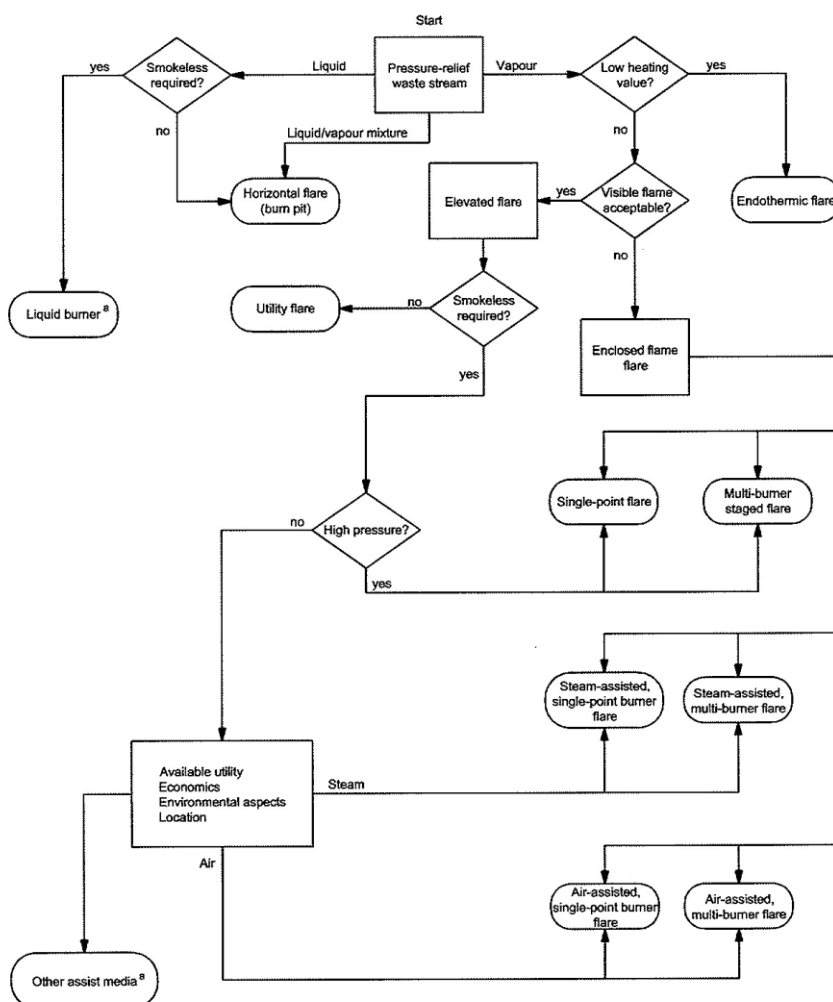
Soihdun turvallisuus- ja operointitavoitteet [9, s. 8–9]

- tarjota soihdukaasujen turvallinen, luotettava ja tehokas poltto soihdunpurkauksissa
- varmistaa hiilivetyjen vakaa palaminen kaikilla purkausmäärillä
- taata soihdun liekin palaminen poikkeuksellisissa sääolosuhteissa
- kemikaalien raja-arvot eivät ylitä soihdun ympäristössä
- järjestelmän vastapaine ei ylitä suurinta sallittua suunnittelu-arvoa
- virtausnopeus putkistossa tai soihdun kärkikappaleessa ei ylitä suurinta sallittua suunnittelu-arvoa
- soihdun liekki palaa savuttomasti

- liekin säteilyenergia maantasolla ei ylitä raja-arvoja
- soihdun äänitaso ei ylitä raja-arvoja.

Soihdun valinta

Soihtutyypin valitaan tapauskohtaisesti olosuhteiden, ympäristön ja taloudellisten vaatimusten mukaan. Kuvassa 10 on esitetty soihdun valinta yksinkertaistettuna. Soihdussa poltettavien aineiden olomuoto, paine ja lämpöarvo määräävät pääosin, minkä tyyppistä soihdun käytetään. Paikalliset olosuhteet, lait ja ympäristömääräykset asettavat myös omat vaatimuksensa soihdulle ja sen varusteille.



Kuva 10. Sopivan soihdun valinta [9, s. 12].

3.6 Soihutornit

Soihutornin nousuputken materiaali valitaan siellä virtaavien aineiden, lämpötilan ja paineen perusteella. Laippojen määrä pyritään minimoimaan, koska ne ovat potentiaalisia vuotokohteita. Rakenteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämpölaajenemisen aiheuttamat liikkeet, purkauksen aiheuttamat voimat, tornin tuulikuorma, mahdollisuus nousuputkiston täyttymiseen nesteellä, lumi, jää, maanjäristykset ja muut rakenteeseen vaikuttavat kuormat. [9, s. 17.]

Nousuputkessa on oltava jatkuva kaasupursutus, jotta putken sisälle ei pääse happea. Jos putkeen pääsee happea, soihutukaasu voi syttyä tai räjähtää putken sisällä vaurioittaen rakenteita. Pursutuskaasu voi olla mitä tahansa kaasua, joka ei sisällä happea, eikä kondensoidu putken sisälle [11, s. 20]. Yleisesti pursutuskaasuna käytetään tyypeä, maakaasua tai jalostamon polttokaasua. Palavan pursutuskaasun käyttäminen tukee pilot-polttimien palamista, mutta lisää CO₂ päästöjä ja kustannuksia. Käyttämällä nousuputkessa ilmalukkoa, pursutuskaasun määrä voidaan minimoida [11, s. 20].

3.6.1 Soihutornirakenteet

Soihutornin rakenne valitaan sille asetettujen vaatimusten mukaan. Valintaan vaikuttaa vaadittava korkeus, kapasiteetti ja huoltotoimenpiteiden helppous.

3.6.2 Itsekantava soihtu

Soihdun rakenne kantaa itsensä ilman teräskehikkoa tai vaijereita. Nousuputki on alapäästään leveämpi ja kapenee ylöspäin mentäessä. Sopii kohteisiin, joissa ei tarvita suurta soihtuskapasiteettia. Rakenteen maksimikorkeus on noin 30 metriä [12]. Hyviä puolia ovat perustuksen pieni tilantarve, edulliset rakennuskustannukset ja huollon helppous.

3.6.3 Vaijereilla tuettu soihtu

Rakenteeltaan samanlainen kuin itsekantava soihtu, mutta on tuettu ympäriltään vaijereilla. Tämä mahdollistaa pienemmän materiaalivahvuuden käyttämisen ja parantaa tuulikuorman kestäkykyä. Edullinen ja nopea rakentaa, mutta vaijerit vaativat kunnossapitoa ja seuranta.

3.6.4 Kehikolla tuettu soihtutorni

Soihtutorni on tuettu teräsrakenteisen kehikon avulla. Tukevan kehikon ansiosta soihtuista voidaan tehdä yli 100 metriä korkeita ja rakenne kestää hyvin tuulikuormaa. Sopii kohteisiin, joissa tarvitaan suurta soihtutuskapasiteettia. Kallis rakentaa ja soihtun kärjen huolto vaatii suurta nosturia, mutta muuten rakenne on käytännössä huoltovapaa.

3.6.5 Kehikolla tuettu soihtutorni kaadettavalla nousuputkella

Soihtutorni on tuettu teräsrakenteisella kehikolla. Nousuputki koostuu useasta erillisestä osasta, jotka voidaan kaataa tai laskea maantasolle huollon ajaksi. Soihtun huolto on helpompaa, kun laitteet saadaan maantasolle, eikä tarvita suuria nostureita. Jos yksittäinen soihtu on erotettavissa soihtujärjestelmästä, se voidaan huoltaa käynnin aikana ja jalostamon huoltopysäytyksen pituutta voidaan merkittävästi lyhentää.

3.7 Maasoihdut

Maasoihduilla polttimet tai vaakatasoon asennettu soihtuputki sijaitsevat maantasolla. Maasoihtu on sijoitettava kauemmas prosessialueesta kuin soihtutorni, koska lämpösäteily on voimakasta soihtun lähellä. Soihtualueelle voidaan sijoittaa suojarakenteita, jotka estävät lämpösäteilyn vaikutuksen lähiympäristössä. Palokaasut sekoittuvat ilmaan huonommin kuin soihtutorneissa. Tästä voi seurata korkeampia haitallisten aineiden pitoisuuksia ympäristössä. Se on edullinen rakentaa, koska massiivisia soihturakenteita ei tarvita. Huolto voidaan suorittaa helposti maantasolla.

Monipolttimiset maasoihdut

Järjestelmä koostuu useista erillisistä polttimista, jotka on sijoitettu soihtukentälle. Kaasumäärän jakautuminen usealle polttimelle pitää kaasun virtauksen poltinta kohti pienenä ja mahdollistaa pienempien polttimien käytön. Etuna muihin järjestelmiin verrattuna on suuri kaasukapasiteetti ja savuton palaminen ilman höyryn tai ilman syöttöä. Monivaiheisilla maasoihduilla kaasun jakaminen eri vaiheille hoidetaan automaattiventtiileillä. Kun soihtujärjestelmän paine saavuttaa asetusarvon, soihdun seuraava vaihe otetaan käyttöön, jolloin vapautuu lisäkapasiteettia. Näin kaasun virtaus ja paine saadaan pidettyä kaikilla purkausmäärillä tasolla, jolla saavutetaan vakaa palaminen ja savuttomuus. Automaatiikan vikaantumismahdollisuuden takia automaattiventtiileillä on oltava ohituslinjat, jotka on varustettu murtolevyillä.

3.8 Soihdun kärkikappale

Kärkikappaleella tarkoitetaan soihdun nousuputken ylintä osaa (kuva 11), josta soihtukaasu purkautuu ulkoilmaan. Kärkikappale sekoittaa ilmaa soihtukaasuun auttaen liekkiä palamaan vakaasti ja savuttomasti. Kaikki soihdun toimintaan liittyvät varusteet on liitetty kärkikappaleen yhteyteen. Soihdun huollon ajaksi kärkikappale varusteineen on laskettava maantasolle [9, s. 42].



Kuva 11. Soihdun kärkikappale [13]

Kärkikappaleen toiminta

Suurilla virtausnopeuksilla purkautuva soihtukaasu ja sen sekaan syötettävä höyry tai ilma sekoittavat tarvittavan polttoilman tehokkaasti itseensä turbulenssin avulla. Tällöin muodostuu lyhyt ja suora liekki, joka kestää hyvin tuulta. Pienellä purkausnopeudella liekki saa tarvitsemansa polttoilman ainoastaan kuuman ilman aiheuttaman nosteen avulla. Tällöin liekki on pidempi ja täysin tuulen ohjailtavissa.

Pienillä virtausnopeuksilla voi esiintyä tuulen ohjaamana soihdun sisäistä palamista ja soihdun liekki voi olla pitkään kosketuksissa kärkikappaleeseen. Kärkikappaleessa voidaan käyttää tuulisuojia estämään liekin kosketusta teräsrakenteeseen. Soihdun kärkikappale ja sen varusteet suunnitellaan kestäväksi korkeita lämpötiloja. Suurissa kärkikappaleissa voidaan käyttää kuumuudenkestävää sisäpuolista vuorausta. Kuumuuden aiheuttama nurjahdus tai teräksen värimuutos nousuputkessa on merkki soihdun lämpövaurioitumisesta. Soihdun vaurioituminen voidaan välttää pitämällä palamisnopeus riittävän matalana ja jäähdyttämällä soihdun kärkeä ulkopuolisella höyryn- tai ilmansyötöllä.

Soihdutuksesta syntyvä ääni kasvaa kaasun virtausnopeuden kasvaessa. Tämä johtuu nopeamman virtauksen aiheuttamasta turbulenssista. Suurin melu syntyy kun virtausnopeus on niin suuri, että liekistä tulee epästabiili. Tällöin liekki vuorotellen sammuu ja syttyy taas uudestaan. Soihdutuksesta aiheutuvaa melua voidaan vähentää jakamalla soihdutusta usealle soihdulle, käyttämällä low-noise-soihtua ja minimoimalla höyryn tai ilman syöttöä kärkikappaleeseen. Kun soihtukaasun määrä on pieni ja höyrynsyöttö on järkevällä tasolla, soihdutuksesta ei aiheudu melua.

3.9 Pilot-polttimet

Pilot-polttimilla tarkoitetaan soihdun kärjessä olevia polttimia, joilla ulos purkautuva soihtukaasu sytytetään (kuva 12). On erittäin tärkeää, että soihtukaasu saadaan sytytettyä kaikissa tilanteissa. Jos pilot-poltin ja soihdun liekki sammuu, palamattomia hiilivetyjä ja myrkyllisiä kaasuja vapautuu ilmakehään. Tämä voi aiheuttaa suuren kaasupilven syttymisen, sekä haju- ja terveyshaittoja ympäristössä.



Kuva 12. Pilot-poltin ja höyrysuuttimia [14]

Pilot-poltin koostuu kärjestä, tuulisuojasta, polttoilman sekoittimesta ja polttokaasun suuttimesta. Pilotin kärkiosa sijaitsee kaasun purkaukokohtaan vieressä, koska polttimen liekki on oltava kosketuksissa purkautuvan kaasun kanssa. Kärki altistuu käytön aikana suurelle kuumuudelle ja sen on oltava kuumuuden kestävä materiaali. Tuulisuojan tehtävänä on suojata liekkiä tuulen suorilta vaikutukselta. Tuulisuojalla on suuri vaikutus liekin vakaaseen palamiseen, koska soihtutornit ovat usein korkeita ja tuulennopeudet ovat siellä selvästi maantasoa suuremmat. Pilot-polttimen herkin osuus tuulelle on venturin imuaukko. Polttokaasun suutin ja polttoilman sekoitin on sijoitettu pari metriä soihdun kärjen alapuolelle suojaan liekin vaikutukselta. Poltin imee tarvittavan polttoilman venturi-ilmiön avulla sekoittimella ja syttymiskelpoinen seos johdetaan putkea pitkin polttimen kärkeen.

Polttokaasuna käytetään maakaasua, nestekaasua tai jalostamokaasua. Muitakin polttokaasuja voidaan käyttää jos ne ovat tasalaatuisia. Vetytöiset kaasut eivät sovellu polttokaasuksi, koska niiden palamisnopeus on liian suuri ja liekki voi edetä putkistoon. Pilotkaasun syöttölinjan tulee olla korroosiota kestävä materiaali, jotta estetään ruosteen kerääntyminen putkistoon ja suuttimeen. Putkessa on suodatin maantasolla, jotta sen puhdistaminen käynnin aikana on mahdollista. Usein käytössä on myös toinen suodatin soihdun huipulla estämässä suuttimen tukkeutumisen.

Pilot-poltinta ei voida huoltaa soihdun käytön aikana. Siksi ne on suunniteltava kestämään pitkiä aikoja ilman huoltoa. Soihdulla tulee olla useita pilotteja liekin palamisen varmistamiseksi.

Pilot-polttimien tulee täyttää seuraavat vaatimukset [9, s. 15]

- Pilot-polttimen liekki palaa jatkuvasti.
- Pilot-polttimen tulee luotettavasti sytyttää soihtukaasu.
- Pilot-polttimen minimi tehon on oltava 13,2 kW.
- Pilot-polttimen pitää palaa, vaikka soihtukaasu ei ole pala.
- Pilot-polttimen tulee pysyä päällä kuivissa olosuhteissa, kun tuulennopeus on 160 km/h (44 m/s).
- Pilot-polttimen tulee pysyä päällä, kun sataa 50 mm/h ja tuulen nopeus on 140 km/h (38 m/s).
- Pilot-polttimien lukumäärän tulee olla riittävä, riippuen kärkikappaleen halkaisijasta. (Porvooon jalostamolla soihduilla on 4 pilot-poltinta, koko 1050mm -> 1500 DN.)
- Pilot-polttimen materiaalin tulee olla kuumuuden kestävä (AISI 309, 310, 310H tai vastaava).
- Pilotin ilmansaanti on varmistettava ja ilmanoton on oltava vähintään 1,8 metrin päässä soihdun kärjestä.
- Polttokaasuputkessa on oltava sihti tai putken on oltava ruostumatonta terästä.
- Jokaisella pilotilla on oltava erillinen polttokaasuputki.

- Putket ja komponentit pilotin kärjen ja ilmansekoittimen välillä tulee olla austeniittistä ruostumatonta terästä.
- Pilotit tulee suunnitella tietyille polttokaasulle.
- Polttokaasua tulee olla jatkuvasti saatavilla ja sen tulee olla tasalaatuista, mieluiten maakaasua.
- Jokaisella pilotilla tulee olla vähintään yksi sytytysmenetelmä ja yksi kehittynyt ei aistinvarainen liekinvartija.

Liekinvartija

Liekinvartijan tehtävänä on valvoa pilot-polttimen palamista. Automaattisella sytytysjärjestelmällä varustetuilla soihduilla sytytys voidaan automatisoida liekinvartijan avulla. Yleisin käytetty menetelmä liekin seuraamiseen on termopari. Lämpötilan laskiessa asetusarvon alle, liekinvartija antaa hälytyksen sammuneesta pilotista. Muita käytettyjä menetelmiä ovat liekki-ionisaatiodekektorit, sekä optiset ja akustiset sensorit [9, s. 68]. Liekinvartijoiden lisäksi pilotin palamista voidaan tarkkailla aistinvaraisesti kameroiden avulla.

Liekinvartija on suunniteltava niin, että sillä voidaan erottaa soihdun ja pilot-polttimen liekki toisistaan. Jokaisella pilotilla tulee olla vähintään yksi oma liekinvartija. Sääolosuhteiden vaikutus liekinvartijan toimintaan on pyrittävä minimoimaan [9, s.16].

3.10 Pilotin sytytysjärjestelmä

Koska pilotit voivat sammua käynnin aikana teknisen vian tai sääolosuhteiden takia, niillä on oltava uudelleensytytysjärjestelmä. Pilot-polttimen sytyttämiseen voidaan käyttää automatisoituja tai manuaalisia sytytysjärjestelmiä. Sytytyksen luotettavuuden varmistamiseksi soihdulla tulee olla vähintään kaksi erillistä sytytysjärjestelmää. Automaattinen sytytystulppasytytys on suositeltavin pääasiallinen menetelmä [9, s. 59].

3.10.1 Automaattisen sytytystulpan toiminta

Pilot-polttimen paikallisen sytytystulpan toiminta on helppo automatisoida ja sitä käytetäänkin usein ensisijaisena sytytysjärjestelmänä. Sytytystulppa sijaitsee pilot-polttimen kärjen lähellä, jossa se sytyttää ulos virtaavan kaasun. Sytytystulppa voidaan sijoittaa myös polttoilmasekoittimen jälkeisen putken sisälle, jolloin tulppa ei altistu suoraan soihdun liekin lämpösäteilylle. Järjestelmän ongelmana on sytytystulppien altistuminen kuumuudelle, joka lyhentää niiden käyttöikää. Koska korjaaminen käytön aikana ei ole mahdollista, viallinen tulppa estää automaattisen sytytyksen toiminnan.

3.10.2 Liekkirintamasytytys

Liekkirintamasytytys on yleisin käytetty manuaalinen pilottien sytytystapa. Sen toiminta perustuu syttymiskelpoisen kaasuseoksen johtamiseen sytytysnousuputkeen, joka päättyy pilot-polttimen viereen. Kun kaasuseos sytytetään, liekkirintama etenee putken sisällä soihdun huipulle sytyttäen pilot-polttimen. Järjestelmä koostuu maantasolla sijaitsevista polttokaasun ja paineilman säätimistä, sekoituskammiosta ja sytytystulpasta. Jos soihdulla on useita pilot-polttimia, jokaisen käytössä tulee olla oma sytytysputki.

Liekkirintamasytytyksen etuna on sen luotettavuus ja koska kaikki laitteet sijaitsevat maantasolla, järjestelmän huoltaminen on mahdollista käynnin aikana. Kosteuden kertyminen sytytysputkeen voi aiheuttaa korroosiota ja toimintahäiriöitä, joten putken huuhtelu kuivalla kaasulla ennen ja jälkeen käytön on suositeltavaa.

3.11 Palamista tehostavat järjestelmät

Soihduilla käytetään palamista tehostavia järjestelmiä, jotta liekki palaisi tasaisesti ja savuttomasti. Epätäydellisen palamisen seurauksena ympäristöön leviää nokea ja terveydelle haitallisia yhdisteitä. Hyvä palaminen lisää myös liekin aiheuttamaa nostetta ja laimentaa palokaasuja tehokkaasti ilmakehään.

3.11.1 Höyry

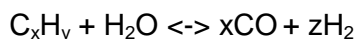
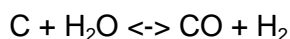
Höyryn käyttö soihdussa parantaa liekin palamista jo pienillä höyrymäärillä. Höyryn käyttö vaatii kuitenkin soihtukaasua, jolla on riittävä lämpöarvo. Liian laimea soihtukaasu ei pala täydellisesti ja aiheuttaa VOC-päästöjä. Jos soihtukaasu sisältää inerttejä kaasuja, liika höyryn määrä voi laimentaa ja jäähdyttää seosta entisestään ja olla näin haitallista. Soihtukaasun pienin sallittu lämpöarvo on $11\,175\text{ kJ/Nm}^3$ [9, s. 43].

Höyryn pursutus sekoittaa ilman ja soihtukaasun tehokkaasti, sekä antaa ulosvirtaavalle kaasulle lisää nopeutta ja turbulenssia (kuva 13). Höyry vähentää savutusta laimentamalla liian rikasta kaasuseosta. Sen ansiosta liekki on vakaampi, pienempi, vähemmän tuulialtis ja muodostaa vähemmän kuumia pisteitä kärkikappaleeseen.

Sopiva höyryn määrä on riippuvainen kaasun koostumuksesta ja määrästä, kärkikappaleen koosta ja rakenteesta, höyrysuuttimen rakenteesta ja ulkoisista olosuhteista [9, s. 44]. Höyry pursutetaan yleensä soihdun päässä sijaitsevasta höyryrenkaasta tai sisäpuolisesta höyrysuuttimesta.

Höyry osallistuu myös itse palotapahtumaan avustamalla hiilen palamista hiilimonoksidiksi [15, s. 12/71].

Hiilen ja vesihöyryn reaktiot





Kuva 13. Höryavusteinen soihtu toiminnassa [16]

3.11.2 Höyryn määrä

Sopiva höyryn määrä säädetään soihutokaasun virtausmäärän ja koostumuksen mukaan. Parafiiniset hiilivedyt palavat yleensä savuttomasti, kun taas olefiineillä, diolefiineillä ja aromaattisilla hiilivedyillä savunmuodostus voi olla runsasta [9, s. 39]. Höyrysyöttö on liian pieni, jos liekki savuttaa ja on epästabiili. Sopiva höyrymäärä tekee liekistä vakaan, kirkkaamman ja paremmin tuulta kestävän. Taloudellisesti edullisinta on syöttää höyryä juuri sellainen määrä, jossa liekki ei merkittävästi savuta. Tämä on käytännössä vaikeaa, koska kaasun koostumus ja virtausmäärä vaihtelee.

Liika höyryn syöttäminen aiheuttaa merkittävää meluhaittaa lähiympäristöön. Liekki muuttuu tällöin epävakaaksi, ääritapauksessa sammuen ja syttyen jälleen uudestaan. Pahimmassa tapauksessa höyry voi työntää liekin liian kauas kärjestä ja sammuttaa soihtun. Liian höyrymäärän tunnistaa myös liekin ulkonäöstä, kun liekki muuttuu lähes näkymättömäksi, höyryä syötetään liikaa.

3.11.3 Höyryrengas

Höyryrengas on kärkikappaleen ympärille asennettu putki, jonka suuttimista höyry syötetään purkautuvan soihtukaasun sekaan.

Hyvin suunniteltu ulkoinen höyryrengas toimii myös tuulisuojana. Sillä voidaan lisäksi estää liekin palaminen nousuputken sisällä. Höyryn käytössä on huomioitava, että se voi kondensoitua syöttöputkistoon tai höyryrenkaaseen ja muodostaa siihen jäätä. Jää on vaarallista soihtualueella liikkuville ja se kuormittaa soihdun rakenteita. Jäätymisongelmia voidaan välttää pitämällä riittävää höyryn syöttöä jatkuvasti päällä ja käyttämällä tulistettua höyryä.

3.11.4 Sisähöyrysuutin

Sisähöyrysuutin on nousuputken sisälle asennettu suutin, jolla höyryä syötetään suoraan soihtukaasun sekaan, ennen sen johtamista ilmakehään.

Sisähöyrysuutinta käytetään estämään kärkikappaleen sisäistä palamista ja jäädyttämään soihdun kärkeä alentamalla palamislämpötilaa. Sisähöyry laimentaa tehokkaasti rikkaita soihtukaasuseoksia ennen niiden purkautumista ulos. Käyttämällä sopivassa määrin sisähöyryä vähennetään myös soihdusta tulevaa melua. [9, s. 45.]

Liian suuri määrä sisähöyryä epävakauttaa liekkiä ja aiheuttaa erittäin kovaa melua. Sisähöyry kondensoituu erittäin helposti nousuputken sisälle. Kondensoituva vesi voi jäättyä ja alentaa soihdun virtauskapasiteettia. Pahimmassa tapauksessa nousuputki saattaa jäättyä umpeen. Kovilla pakkasilla on arvioitava, onko sisähöyryä järkevää käyttää.

3.11.5 Soihtu ilman palamista avustavia järjestelmiä

Jos vaatimuksena ei ole täydellinen palaminen ja savuttomuus, voidaan käyttää soihtua, jossa ei ole palamista avustavia järjestelmiä. Sitä käytetään esimerkiksi öljynpora-autoilla ja alueilla jotka sijaitsevat kaukana asutuksesta. Soihdun sytytysjärjestelmä ja rakenne ei poikkea muilta osin höyryavusteisista soihtuista.

Kärkikappale suunnitellaan siten, että se sekoittaa ilman soihtukaasuun mahdollisimman tehokkaasti. [9, s. 42.]

3.11.6 Endoterminen soihtu

Endotermistä soihtua käytetään kun soihdussa poltetaan matalan lämpöarvon kaasuja, joita ei sellaisenaan voida johtaa ilmakehään. Soihtukaasun sekaan syötetään polttokaasua, jotta kaikki yhdisteet palavat täydellisesti. Tukipolttokaasun lämpöarvon on oltava korkea. Ylimääräisen polttokaasun käyttäminen lisää merkittävästi soihtutuksen kustannuksia.

3.11.7 Ilma-avusteiset soihdut

Ilma-avusteisia soihtuja käytetään kohteissa, joissa höyryä ei ole saatavilla tai sen tuottaminen ei ole taloudellisesti järkevää. Kärkikappale muistuttaa enemmän perinteistä kaasupoltinta, johon syötetään paineellista ilmaa. Soihtuun puhallettava kaasu on vain pieni osa stoikiometriseen palamiseen vaadittamasta määrästä. Ilman tärkein tehtävä on luoda turbulenssia ja sekoittaa soihtukaasua, jotta liekkiin ei muodostu liian rikkaita seoksia. Ilman määrää säädetään kompressorin säätöpellin tai kierroslukuohjauksen avulla. Ilman syöttö säädetään soihtukaasun määrän perusteella. Ilmamäärä on sopiva kun savunmuodostusta ei ole havaittavissa. Liian suuri ilmamäärä aiheuttaa melua ja voi sammuttaa liekin. [9, s. 46.]

3.11.8 Korkeapaineiset savuttomat soihdut

Korkeapaineisella soihdulla voidaan polttaa soihtukaasuja savuttomasti, kun kaasun virtausnopeus on riittävän suuri. Savuton palaminen vaatii korkeaa painetta, jolloin purkautuva kaasu aiheuttaa voimakkaan turbulenssin sekoituessaan ilmaan. Tarvittava paine riippuu soihtukaasun koostumuksesta ja polttimen rakenteesta. Poltettavan kaasun tulee sisältää tarpeeksi energiaa, jotta palaminen on riittävän nopeaa. Tällä soihtutyypillä päästään hyvin korkeaan palamistehokkuuteen - jopa 98 prosenttiin ja sen VOC-päästöt ovat pienet [9, s. 46]. Korkeapainesoihdut aiheuttavat kovaa melua soihtutuksen aikana. Soihtu ei aiheuta merkittävästi säteilylämpöä, eikä

se ole tuuliherkkä. Soihdun purkaukset aiheuttavat värinää ja saattavat aiheuttaa metallirakenteiden väsymistä.

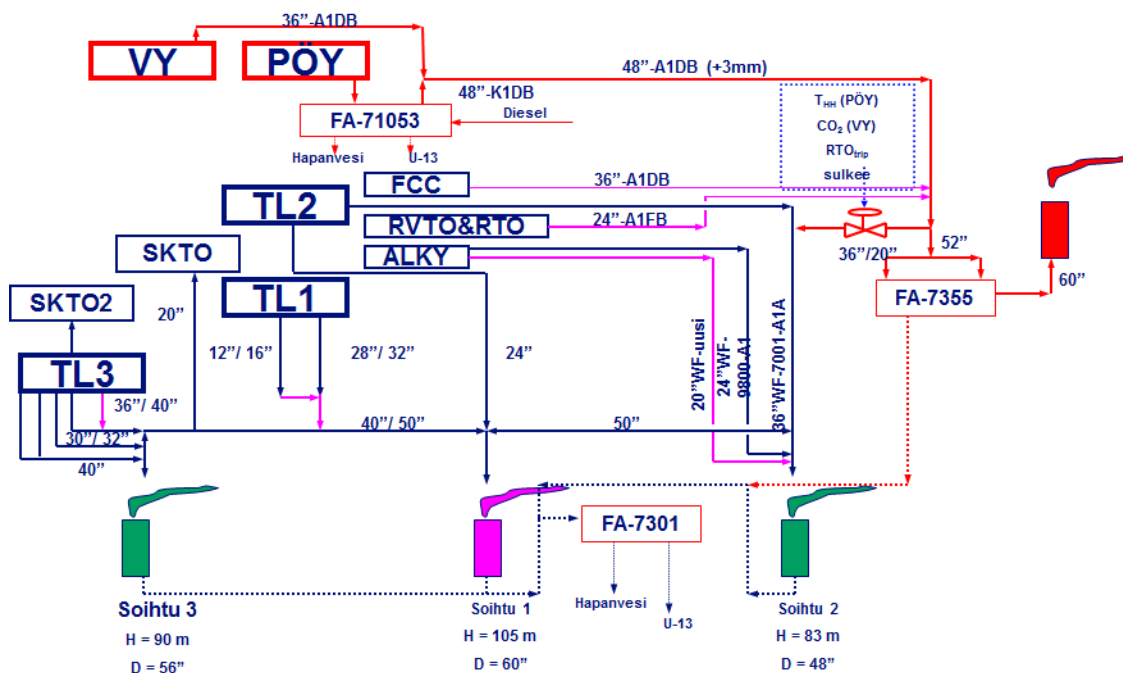
3.11.9 Low-noise-soihdut

Low-noise-soihtuja käytetään kohteissa, joissa halutaan minimoida soihtutuksen aiheuttama melu ja vaatimuksena on savuton palaminen, esimerkiksi asutuksen lähellä. Höyryavusteisissa low-noise-soihduissa höyryn syöttösuuttimet on sijoitettu kärjen sisälle tai ne on varustettu ääntä vaimentavalla rakenteella höyryn ulostulokohdassa. Näillä ratkaisulla ääni saadaan vaimenemaan ja suuntautumaan ylöspäin, jolloin äänenpaine maantasolla vähenee [17, s. 1]. Tätä ratkaisua ei voida kuitenkaan käyttää kylmissä olosuhteissa, koska höyry muodostaa soihdun kärkeen suuria jäämuodostelmia.

Ilman höyrösyöttöä toimivat low-noise-soihdut hyödyntävät ilman ja polttokaasun sekoittamisessa coanda-ilmiötä. Niissä soihtukaasu virtaa ulos tulppaanin muotoisen kärjen alapuolelta, jolloin coanda-ilmiön seurauksena kaasuvirtaus kääntyy kärjen ulkopinnan suuntaiseksi. Ilmiö sekoittaa soihtukaasun sekaan jopa 20 kertaisesti sen tilavuuden verran ilmaa. Soihtu palaa näin savuttomasti ja äänettömämmin kuin höyryavusteinen soihtu [18].

4 Porvoon jalostamon soihtujärjestelmä

Porvoon jalostamon soihtujärjestelmä koostuu soihtuputkistosta, erotussäiliöistä, soihtuista ja soihtukaasujen talteenottojärjestelmästä. Alueen kaikki prosessiyksiköt on kytketty samaan soihtujärjestelmään (kuva 14). Sen tärkein tarkoitus on toimia häiriötilanteissa paikkana, johon yksiköiden paine ja ympäristölle vaaralliset aineet voidaan turvallisesti johtaa. Järjestelmä on mitoitettu vastaanottamaan kaikkien jalostamon prosessiyksiköiden yhtäaikainen purkaus.



Kuva 14. Porvoon jalostamon soihtujärjestelmä [14]

4.1 Soihtukaasut

Soihtukaasujen lähteitä ovat tavallisesti prosessiyksiköiden ulospuhallukset, paineen-säätimet ja vuotokaasut. Normaalikäynnin aikana kaikki kaasut saadaan talteen soihtu-kaasun talteenottoyksikössä. Soihtukaasut koostuvat vedystä, typestä, rikkivedystä ja keveistä hiilivedyistä.

Soihtupurkauksia aiheuttavat yleensä prosessihäiriöistä johtuvat suojaukset, jolloin turva-automaatiikka saattaa yksikön turvalliseen tilaan. Paine purkautuu tällöin hätä-paineenalennusventtiilin tai paineen-säätimen kautta soihtujärjestelmään. Myös jalos-tamon alas- ja ylösajot lisäävät soihtutuksen määrää. Varoventtiileiden kautta tapahtu-vat purkaukset ovat harvinaisia ja niiden syynä on yleensä prosessihäiriö, operointivir-he tai varoventtiilin vikaantuminen.

4.2 Soihputkisto

Prosessiyksiköt liittyvät järjestelmään soihputkiston kautta. Soihutulinojen runkoputkisto yhdistää eri tuotantolinjat toisiinsa ja sen ansiosta voidaan käyttää mitä tahansa jalostamon neljästä soihdusta. Järjestelmän runkolinjat on mitoitettu kapasiteetiltaan suu- riksi estämään tilannetta, jossa matalapaineisen yksikön paineenalennus estyy soih- putkessa olevan vastapaineen vaikutuksesta.

Järjestelmään kuuluvat myös nesteiden erotus- ja keräilyssäiliöt. Kaikilla soihduilla on yhteinen keräilyssäiliö, johon soihdun erotussäiliöihin kerääntyvät nesteet pumpataan. Keräilyssäiliössä on patolevy, joka erottaa veden ja hiilivedyt toisistaan. Vedet ohjataan jatkokäsiteltäväksi ja hiilivedyt pumpataan uudelleen prosessoitavaksi.

4.3 Soihdut

Jalostamolla on neljä soihtua oheislaitteineen. Yksittäinen soihtu koostuu nesteen ero- tussäiliöstä, vesilukkosäiliöstä ja soihtutornista. Normaalikäynnin aikana yksi neljästä soihdusta on valittu ensimmäisenä purkavaksi. Valinta tehdään operoimalla vesiluk- kosäiliön pintaa. Vesilukkosäiliöissä on jatkuva vedensyöttö pinnan säätämistä varten. Ylimäärävesi valuu ylivuotoputkesta hanhenkaulan kautta joko erotussäiliöön (soihdut 1 ja 4) tai kuorintasäiliöön (soihdut 2 ja 3). Soihtujen 2, 3, ja 4 erotussäiliöt on varustettu höyrykierukkalämmityksellä, jotta säiliöihin päätynyt nestekaasu voidaan tarvittaessa höyrystää.

Kaikkien soihtujen piloteilla on pääasiallisena sytytysmenetelmänä automatisoitu syty- tystulppasytytys. Varajärjestelmänä on käytössä manuaalinen liekkirintamasytytys. Pilot-polttimien liekinvartijoina käytetään termopareja. Jokainen soihtu on varustettu kärkikappaleen sisä- ja ulkopuolisen höyryn syöttömahdollisuudella savuttoman pala- misen varmistamiseksi. Syötettävän höyryn määrää säädetään soihtukaasun virtaus- määrän tai jatkuvatoimisen videovalvonnan havaintojen perusteella.

4.4 Soihutukaasun talteenotto SKTO

Soihutukaasun talteenottoyksiköllä tarkoitetaan kompressoriyksikköä, jolla soihtujärjestelmään johdetut palavat kaasut otetaan talteen ja käytetään jalostamon energiantuotantoon. Soihutukaasujen talteenotolla voidaan pienentää merkittävästi päästöjä ja jalostamon ulkopuolisen energian tarvetta. Normaalitylanteessa soihtuissa ei polteta ollenkaan soihtukaasuja, vaan ne hyödynnetään uuneilla, jossa se korvaa maakaasun käyttöä.

TL1 – SKTO koostuu kahdesta ruuvikompressorista oheislaitteineen. Tavallisesti toinen kompressoreista on käytössä ja toinen on rinnalla varalla. Yhden kompressorin suunnittelukapasiteetti on 6370 kg/h. Kompressorien tuottoa voidaan säätää portaattomasti ruuvin liukumekanismin avulla. Automaattikka hoitaa kompressorin tuoton säätämisen soihtujärjestelmän paineen mukaan kompressoria kuormittamalla tai keventämällä.

TL3 – GB-10161 kompressorilla otetaan talteen raakaöljyn tislauksyksikön ylimenosäiliön lauhtumattomat kaasut. Kompressori mahdollistaa kolonnin paineen ja tisleiden saantojen optimoinnin. GB-10161:n kapasiteetti on 3,5–4,5 t/h kaasuntiheydellä 1,5–2,0 kg/m³. Kompressori on suunniteltu toimimaan sekä erittäin kevyillä, että raskailla kaasuilla. Kompressoria ei uusimman muutosprojektin jälkeen käytetä soihtukaasujen komprimointiin, vaan koneen seistessä kaasut ohjataan soihtujärjestelmään ja otetaan talteen TL1:n soihtukaasukompressoreilla.

4.5 BAT-tarkastelu

Uusimmassa BAT-verailuasiakirjassa [19, s. 626] soihtuille on tehty seuraavat päätelmät, joita Porvoon jalostamon on noudatettava.

BAT55: Soihtujen käytöstä aiheutuvien päästöjen ehkäisemiseksi, on BAT:n mukaista käyttää soihtutusta vain turvallisuuden takaamiseen ja poikkeavissa operointitilanteissa (esim. pysäytykset ja käynnistykset).

BAT 56: Jos soihtutus on välttämätöntä, on BAT:n mukaista käyttää seuraavia menetelmiä päästöjen pienentämiseen.

Taulukko 1. BAT-taulukko [19, s. 636]

Menetelmä	Kuvaus	Soveltuvuus
i. Oikea tehdassuunnittelu	Oikea tehdassuunnittelu: varmistetaan riittävä soihdukaasujen talteenottokapasiteetti. Käytetään kehittyntä turva-automatiikkaa ja muita keinoja, jotta soihdutusta aiheutuu vain turvallisuuspoikkeamista tai prosessien ylös- ja alasajoista.	Soveltuu uusiin yksiköihin. Soihdukaasun talteenotto on mahdollista toteuttaa olemassa olevaan yksikköön.
ii. Tehtaan hallinta	Tehtaan hallinta: käytetään kehittyneitä prosessinohjausjärjestelmiä, kaikki toiminta tähtää soihdutuksen minimointiin, soihdunjärjestelmän painetta voidaan säätää tarpeen mukaan jne.	Soveltuu yleisesti
iii. Soihdulaitteiston oikea suunnittelu	Soihdulaitteiston oikea suunnittelu: soihdun riittävä korkeus, järjestelmän paine, palamista avustaa höyry tai ilma, sopiva karkikappale jne. Tarkoituksena varmistaa savuton ja tehokas palaminen ja luotettava toiminta soihdunpurkauksissa.	Soveltuu uusiin yksiköihin
iv. Seuranta ja raportointi	Seuranta ja raportointi: soihdukaasun virtausmäärää seurataan mittauksien avulla, sekä palamista valvotaan eri menetelmillä. Soihdutuksista on raportoitava viranomaisille, vaatimukset on määritelty ympäristöluvassa. Soihdutuksen syyt on selvitettävä ja pyrittävä välttämään niiden toistuminen. Soihdun seurantaan voidaan käyttää myös videovalvontaa.	Soveltuu yleisesti

i. Oikea tehdassuunnittelu (Correct plant design)

Soihdunjärjestelmään johdetaan jatkuvasti kaasumaisia hiilivetyjä paineensäätöjen ja pursutusten kautta, mutta ne hyödynnetään polttokaasuna soihdukaasujen talteenottoyksikön avulla. Normaaliikäynnin aikana soihduissa ei polteta kaasuja.

ii. Tehtaan hallinta (Plant management)

Prosessiyksiköiden soihduun tyypetyksissä pyritään aina minimoimaan soihdutuksen määrä. Soihdukaasujen talteenottoyksikön avulla otetaan maksimimäärä tyypipitoista polttokaasua talteen. Typen suurin mahdollinen mooliosuus polttokaasussa on selvitetty käytännön kokeilla prosessiyksiköiden uuneilla. Soihdunjärjestelmän painetta voidaan säätää soihdukoneiden kuormittamisella ja vesilukkosäiliöiden pinnalla.

iii. Soihdulaitteiston oikea suunnittelu (Correct flaring devices design)

Kaikilla soihtuilla on mahdollista syöttää höyryä purkautuvan kaasun sekaan estämään savutusta ja tehostamaan palamista. Nousuputkiin pursutetaan typpeä tai maakaasua sisäisen räjähdysen estämiseksi. Soihtut ovat riittävän korkeita, jotta päästöt sekoittuvat ilmakehään ja lämpösäteily maanpinnalla ei ylitä raja-arvoja. Soihtut ovat kapasiteetiltaan riittävät kaikille häiriötilanteille.

iv. Seuranta ja raportointi (Monitoring and reporting)

Soihtuputkistossa on neljä ultraäänellä toimivaa virtausmittaus, joilla voidaan seurata soihtukaasun määrää. Maakaasun pursutuslinjassa nousuputkeen on virtausmittaus. Soihtukaasun talteenottoyksikössä on kaasuanalysointilaite, jolla voidaan seurata kaasun koostumusta, molekyylipainoa ja lämpöarvoa. Höyryn syöttö soihtuun voidaan hoitaa suhdesäädöllä automatiikan avulla. Suurista soihtutuksista pidetään kirjaa ja niistä ilmoitetaan lähialueen asukkaille sekä viranomaisille. Soihtujen palamista ja liekkiä voidaan tarkkailla ohjaamosta videovalvonnan avulla.

BAT-yhteenveto

Porvoon jalostamo täyttää uusimman BAT:n mukaiset vaatimukset. Paras käytettävissä oleva tekniikka on ollut käytössä jo ennen uusia määritelmiä, joten ne eivät aiheuta investointitarpeita soihtujärjestelmään.

Suurien soihtuvirtausten tarkka määrittäminen on hankalaa virtausmäärän vaihtelun vuoksi. Normaalikäynnillä soihtuun ei juuri johdeta kaasuja ja häiriötilanteessa virtausmäärä on suuri. Tämä aiheuttaa ongelmia mittauksen kalibroinnin ja teknisen toteutuksen suhteen, koska soihtuputkissa ei saa käyttää paine-eroa aiheuttavia mittauksia. Käytössä olevat mittaukset ja seuranta on kuitenkin arvioitu BAT:n mukaiseksi jalostamon olosuhteisiin [20].

5 Työmenetelmä

Tämän työn tarkoituksena oli tehdä uudet operointiohjeet jalostamon soihtujärjestelmän häiriötilanteita varten. Aiempi häiriötilanteita käsittelevä ohjeistus oli laadittu vuonna 2001.

Ohjeen tekeminen aloitettiin tutustumalla soihtujärjestelmän HAZOP-palavereissa tunnistettuihin riskeihin. Tunnistettujen riskien syiden ja seurausten avulla voitiin päätellä miten ne vaikuttavat soihtujärjestelmän toimintaan. Riskien tunnistamisessa käytettiin tietolähteenä lisäksi API:n standardeja, joita hyödynnettiin myös työn teoriaosuuden kirjoittamisessa.

Kun yleisimmistä häiriötilanteista oli tehty lista, josta ilmeni niiden syyt ja seuraukset, aloitettiin toimintaohjeiden laatiminen niitä varten. Häiriötilanteissa toimimiseen oli olemassa kokemusperäistä tietoa, jota ei aiemmin löytynyt kuin suullisena tietona. Haastatteleamalla prosessiturvallisuuden asiantuntijoita ja operaattoreita saatiin hyvä kokonais käsitys siitä, miten tilanteissa on aiemmin toimittu. Ohjeet kirjoitettiin yhdistelemällä näitä tietoja ja vertaamalla niitä muihin mahdollisiin toimintamalleihin.

Ohjeet laadittiin Nesteen uuden taskuohjemallin mukaan. Taskuohjeen tarkoituksena on toimia helposti luettavana ja mukana pidettävänä operoivan henkilökunnan ohjekirjana. Ohjeiden perusteella operointihenkilöstö voi nopeasti tunnistaa häiriötilanteiden syyt ja seuraukset ja toimia tilanteen vaatimalla tavalla. Valmiiden toimintamallien ansiosta tilanteisiin reagoiminen on nopeampaa ja operointivirheiden riski on pienempi.

Työn tavoite toteutui ja uusi häiriötilanneohje saatiin laadittua. Teoriaosuuden kirjoittaminen oli haasteellista laajasta aihealueesta johtuen. Teoriaosuuden kuvaukset jäivät tämän takia lyhyiksi.

Alle on otettu esimerkkejä poikkeamista, joiden perusteella ohjeita lähdettiin laatimaan. Esimerkeistä käy ilmi, että soihtujärjestelmässä voi esiintyä monenlaisia häiriöitä, vaikka kyseessä ei ole varsinainen prosessiyksikkö. Toisaalta kaikkia mahdollisia häiriöitä ei voida ohjeistaa, eikä se ole aina välttämätöntä tilanteen ratkaisemiseksi. On kuitenkin tärkeää, että henkilökunta tiedostaa mitä erilaiset poikkeavat tapahtumat voivat aiheuttaa.

Esimerkkejä soihtujärjestelmän poikkeamista [21]

Päivä	29.5.2007 14:30
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	Soihdun ympäristö
Otsikko	Ruohikkopalo
Tapauksen kuvaus	Soihtu 1:stä purkautui nestemäistä hiilivetyä joka sytytti ruohikon

Taphtuman syy: Soihtuun joutunut raskas hiilivety ei palanut täydellisesti.

Päivä	10.11.2007 16:41
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	Soihtu 2:n pisanerotussäiliön betoniallas
Otsikko	GA-7352 ei ole käynnistynyt ja soihtuallas alkoi täytyä
Tapauksen kuvaus	Soihtualtaan allaskaivopumppu GA7352 ei ole toiminut ja soihtualtaan pinta nousi maastosta tulleiden vuotovesien johdosta arviolta n 1,5 m:iin. Palokunta tuli tilanteeseen mukaan klo 17.15 ja aloitti kiireellisesti veden poispumpauksen.

Vesi oli noussut jo niin korkealle, että pumppujen sähkömoottorit jäivät veden alle. Tilanne huomattiin siitä, että ohjaamossa tuli klo 16.41 ilmoitus, josta huomattiin, että FA-7354:n kuorintapumppu GA-7354 lakkasi painamasta. Pumpun sähkömoottori oli silloin todennäköisesti jo vedenpinnan alla.

GA-7352:n olisi pitänyt pitää pinta betonialtaassa alhaalla, mutta tämän pumpun toimintahäiriöstä ei ole tietoa, miksi ei ollut käynnissä tai miksi ei ollut käynnistynyt korkeasta allaskaivon pinnasta.

Pinnan noustessa oli olemassa vaara, että iso piraserotussäilö nousee betonijalustaltaan kiinnikkeistään kellumaan ja mahdollisesti sen seurauksena aiheutuu samalla laip-pa/murtumavuotoja soihtulinjaan säiliön putkistossa.

Taphtuman syy: Pumpun toimintahäiriö.

Päivä	16.4.2009 14:00
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	Soihtu 3. luona.

Otsikko	Soihtu 3. luona tärkeitä höyrysaattoja kylminä.
Tapauksen kuvaus	Soihtu 3. luona on tärkeitä höyrysaattoja kylmänä mm. kuorintasäiliön hönkälinjassa. Siinä on vaara, että tavara kondensoituu linjaan ja linja ajanmyötä hajoaa ja tyhjenisi hallitsemattomasti alueelle.

Tapahntuman syy: Viallinen höyrysaatto.

Päivä	6.4.2010 16:00
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	50"WF7264 ja 40"WF7266
Otsikko	Soihtulinjan lämpeni voimakkaasti
Tapauksen kuvaus	Klo 16 aikaan havaittiin, että 50"WF7264 soihtulinja 1-soihdun lähellä sekä 1- ja 2 soihtujen välinen 40"WF7266 linja olivat kuumentuneet voimakkaasti. 50" linjalta mitattiin pintalämpömittarilla noin 400 C lämpötila lähellä soihtu 1 pisanerotinta. 40" linjan lämpötila oli 60-80 C. 40" linjassa oli kuitenkin mutkissa ja notkoissa ulkopuolelta selvästi havaittavissa, että linja oli ollut kuuma (maalit kärynneet). Myös 50" linjassa ulkopuolelta selvästi havaittavissa maalien käryämistä

Tapahntuman syy: Happea soihtuputkessa

Päivä	6.5.2010 3:30
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	
Otsikko	Soihtu 3 savutti vähäisen höyryn virtauksen takia.
Tapauksen kuvaus	Alue operaattori ilmoitti ohjaamon että soihtu savuttaa koska höyryä meni liian vähän soihtuun. Ohjaamosta mahdollton nähdä savuttaako soihdut koska soihdun liekkiä ei näe suuremmassa purkauksessa ohjaamon soihtumonitorista. Eikä välillä ohjaamon kamerasta näy koko soihtua(laitteistossa jotain vikaa). Tästä aiheutuu turhaa savutusta ympäristöön sekä turhaa melua jos soihtuun menee liikaa höyryä.

Tapahntuman syy: Liian pieni höyrysyöttö ja aistinvaraisen valvonnan ongelmat.

Päivä	7.5.2010 1:15
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	Soihtu 3
Otsikko	Soihtu 3:n kärki hehkui punaisena
Tapauksen kuvaus	Alue operaattori ilmoitti ohjaamoon että soihtu 3:n kärki hehkui punaisena. Ohjaamon soihtumonitorista mahdollton

huomata meneekö soihtuun sopiva määrä höyryä

Tapahtuman syy: Liian suuri höyrynsyöttö, joka kiihdytti palamista.

Päivä	1.3.2011 13:00
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	Soihtu 3:n nousuputki havaittiin olevan tukossa (kertynyt jäätä)
Otsikko	Jäätynyt soihtu 3:n nousuputki
Tapauksen kuvaus	Soihtuputkeen on kertynyt vettä (yläosaan menevän höyryn lauhtuminen), ja kovilla pakkasilla päässyt jäätymään.

Tapahtuman syy: Putki jäätynyt umpeen kovilla pakkasilla

Päivä	15.6.2012 11:00
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo - TL 1 - SKTO
Paikan tarkennus	
Otsikko	Kolmossoihtu ilman pilotteja.
Tapauksen kuvaus	Kolmossoihtu pimeänä kymmenisen minuuttia.

Tapahtuman syy: Tukkeutunut polttokaasulinja

Päivä	1.4.2010 8:00		
Paikka	Suomi - Porvoo - Jalostamo	Otsikko	Melu -ja hajuhaittailmoitus
Tapauksen kuvaus	Häiritsevää melua, hajua ja valoa ollut yöllä jalostamon lähistöllä.		

Tapahtuman syy: Suuri soihdutus ja liian suuri tai pieni höyryn määrä

Lähteet

1. Pressure-relieving and Depressuring Systems. Sixth edition, January 2014. API standard 521.
2. Tukes. Painelaite kunnossapito-opas. Verkkodokumentti. <www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaite-kunnossapito-opas.pdf> Luettu 28.01.2016.
3. Kirsi Kavonius-Hietanen. Asiantuntijalausunto 30.12.2015, Senior Specialist, Process Safety, Neste.
4. Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices in Refineries. Part I – Sizing and Selection. Eighth edition, December 2008. API standard 520.
5. SFS-EN 764-7, 2002, Pressure equipment. Part 7: Safety systems for unfired pressure equipment.
6. Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices in Refineries, Part II – installation. Fifth edition, August 2003, reaffirmed, February 2011. API recommended practice 520.
7. Technical requirements of pressure relieving devices D-106 REV 5. 2014. Neste.
8. SilcoNert® Assures Consistent Flare Gas Sulfur Sampling. Verkkodokumentti. <www.silcotek.com/blog/bid/106517/SilcoNert-Assures-Consistent-Flare-Gas-Sulfur-Sampling>. Luettu 30.1.2016.
9. Flare Detail for General Refinery and Petrochemical Service. Second edition, December 2008. ANSI/API standard 537.
10. Verkkodokumentti. <<http://fluenta.com/wp-content/uploads/revslider/new-front-slider/slider01d.png>> Luettu 4.5.2016
11. OQD-1094 SKTO prosessin kuvaus. Sisäinen ohje. Neste.

12. Self-supporting Flare Stacks. Verkkodokumentti. <www.alliedflare.com/products/flare-stack-support/63-self-supporting-flare-stacks.html>. Luettu 22.12.2015.
13. OQD-4971. CB-7254 Soihitu 1 laiteohje. Sisäinen ohje. Neste.
14. Kirsi Kavonius-Hietanen. 2005. Porvoon soihtujärjestelmän muutokset. Sisäinen koulutusmateriaali. Neste.
15. Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control, Edition 3, Edited by Sam Mannan, ISBN 9780080489339.
16. Verkkodokumentti. <www.johnzink.com/wp-content/uploads/steamAssistedFlare.jpg> . Luettu 4.5.2016
17. Verkkodokumentti. <www.zeeco.com/pdfs/HCL-Steam-Assisted-Flare.pdf> Luettu 4.5.2016.
18. KMI™ Flare. Verkkodokumentti. <www.johnzink.com/products/flare-systems/vs-indair-or-kmi-flare/?phpMyAdmin=qIUkt8buZYakL9oiFqBtl91TFwd>. Luettu 4.5.2016.
19. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). 2015.
20. Kirsi Kavonius-Hietanen. 2015. BAT-selvitys, sisäinen muistio. Neste.
21. Neste NCR poikkeamatietokanta.
22. Poikkeamatarkasteluraportti PEBK-9, Neste Oil Oyj, Porvoon jalostamo, Soihtujen 1, 2 ja 3 korjaukset suurseisokkiin. 2009. Neste Jacobs Oy. VTT/Minna Nissilä.
23. Poikkeamatarkasteluraportti PEBV-0011, Neste Oil Oyj Porvoon jalostamo, Soihtukaasukompressoreiden uusinta. 2009. Neste Jacobs Oy. Sweco/OVuo

24. Poikkeamatarkasteluraportti PRST, Fortum Oil Oy, Porvoon jalostamo, Diesel projekti, Soihdunjärjestelmän muutokset. 2004. Neste Jacobs Oy. VTT/Kimmo Virolainen.
25. Riskikartoitusraportti PL057. Fortum Oil and Gas Oy Porvoon jalostamo tuotantolinjat 1,2 ja 3 Suuronnettomuusriskien kartoitus. 2000. Neste Engineering Oy.