



SOODAKATTILALAITOKSEN HUOLLETTAVUUDEN KEHITTÄMINEN

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

2022

Markus Klemetilä

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen

Dosentti Juha Kaikko

Työn ohjaaja: Engineering Manager Tero Vauhkonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Markus Klemettilä

Soodakattilalaitoksen huollettavuuden kehittäminen

Energiatekniikan diplomityö

2022

100 sivua, 68 kuvaa, 3 taulukkoa

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen ja Dosentti Juha Kaikko

Ohjaaja: Engineering Manager, DI Tero Vauhkonen

Avainsanat: soodakattilat, kattilalaitokset, laitossuunnittelu, layout, huollettavuus

Soodakattilalaitosten huollettavuuden merkitys toimitusprojekteissa on kasvanut. Tämä johtuu siitä, että kattilalaitosten komponenttien fyysinen koko on kasvanut soodakattiloiden kapasiteettien kasvun myötä. Soodakattilalaitoksen fyysisestä toteutuksesta vastaavat laitossuunnittelijat, joiden ammattitaidon tärkeä osa-alue on kattilalaitoksen huollettavuuden ymmärtäminen ja huomiointi laitesijoittelussa.

Diplomityön tavoitteena oli selvittää laitossuunnittelua koskevat soodakattilalaitoksen huollettavuuden tekijät ja määrittää huoltoihin liittyvät yleiset ja laitekohtaiset laitesijoitussäännöt. Laitekohtainen säännöstö käsittää soodakattilan pääjärjestelmien keskeiset laitetypit. Työssä käsitellään myös 3D-mallinnuksen hyötyjä kattilalaitoksen suunnittelun ja huollettavuuden hallinnassa.

Tutkimuksessa hyödynnettiin toteutuneiden projektien asiakasvaatimuksia, projektipalautteita sekä kokemuksia projekteissa käytetyistä ratkaisuista. Tutkimus oli käytännönläheinen ja siinä luotiin selkeät ohjeet huoltovaatimuksia vastaaville laitesijoitusratkaisuille. Tulevaisuuden projektien läpiviennin nopeuttamiseksi ja kustannussäästöjen saavuttamiseksi tulisi yrityksen omasta huoltokonseptista toteuttaa erillinen kehitystyö.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Markus Klemettilä

The development of recovery boiler plant maintenance

Master's thesis

2022

100 pages, 68 figures, 3 tables

Examiners: Professor Esa Vakkilainen and Docent Juha Kaikko

Instructor: Engineering Manager, Tero Vauhkonen

Keywords: recovery boiler, boiler plant, layout, plant engineering, maintenance

The significance of maintainability in the recovery boiler delivery projects has been increasing. It's caused by the increased component sizes along with increased recovery boiler capacities. Understanding the basis of maintainability and its requirements in the plant layout is an important aspect of layout engineer's professional skills.

The main objectives of this thesis were to find out key factors of maintainability related to layout engineering, and to specify general and equipment specific layout rules for maintenance activities. Equipment specific rules contains the essential process equipment of recovery boiler main systems. Thesis work also includes discussions about the possibilities and benefits of 3D modelling in boiler plant engineering and maintainability management.

Customer requirements of delivered projects, project feedbacks and the experiences of solutions used in projects were utilized in the study. The study was based on practical consideration and the layout instructions were produced according to maintenance requirements. In future a development project of company's own maintenance concept should be done. Maintenance concept would improve the project completion with reduced costs.

KIITOKSET

Opiskelut ja diplomityön tekeminen työn ja perhe-elämän ohessa osoittautui haastavammaksi, mitä osasin odottaa. Tein diplomityötä kurssien suorittamisen jälkeen katkonaisesti kolmen vuoden ajan. Lähestymistapa diplomityön aiheeseen selkiytyi kunnolla, kun aloitin työn kirjoittamisen 2022 keväällä. Ja kiirehän siinä tietenkin tuli, että sai lopputyön kasaan ennen opiskeluoikeuden loppumista.

Haluan kiittää mekaanisen suunnittelun esimiestä ja diplomityön ohjaajaa Tero Vauhkosta diplomityön tekemisen järjestelyjen helppoudesta sekä henkisestä ja sisällöllisestä tuesta.

Ilman vaimoni kärsivällisyyttä ja venymistä en olisi diplomityötä pystynyt tekemään. Kodin ylläpito kaikkina viikonloppuina, iltoina ja lomilla, kun itse olin linnoittautunut työhuoneeseen oli minulle elintärkeää. Erityiskiitos myös vanhemmille lapsenhoitotuesta.

Lisäksi haluan kiittää muita läheisiä kannustuksesta ja ymmärryksestä. Lopuksi anteeksi-
pyyntö ja kumarrus Polar Horizons:in jätkille, kun jätin niin monet treenit väliin.

Varkaudessa 28.5.2022

Markus Klemetilä

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

η	hyötysuhde	[%]
Q	energia	[kJ/kgds]
D	halkaisija	[mm]
s	paksuus	[mm]

Lyhenteet

DNCG	Laimea hajukaasu (Diluted non-condensable gas)
CNCG	Väkevä hajukaasu (Concentrated non-condensable gas)
TRS	Haisevat rikkiyhdisteet (Total Reduced Sulphur)
tds/d	Tonnia kuiva-ainetta vuorokaudessa, soodakattilan kapasiteetin yksikkö
2D-piirustus	Kaksiulotteinen (x, y - suunnat) dokumentti
3D-malli	Kolmiulotteinen (x, y, z -suunnat) malli
E3D	Aveva E3D Design laitossuunnitteluohjelma
Navisworks	Autodesk Navisworks 3D-mallin katseluohjelma
JUP	Jatkuva ulospuhallussäiliö

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	9
1.1	Tutkimusongelma.....	9
1.2	Tutkimuksen tavoitteet.....	10
1.3	Työn rajaukset.....	10
1.4	Työn rakenne.....	11
2	Sulfaattisellun valmistus ja kemikaalikierto.....	12
2.1	Sulfaattisellun valmistusprosessi	12
2.2	Keittokemikaalien talteenottolinja	13
3	Mustalipeä	16
3.1	Mustalipeän koostumus.....	16
3.2	Mustalipeän ominaisuudet	17
3.2.1	Tiheys.....	18
3.2.2	Viskositeetti ja pintajännitys.....	19
3.2.3	Ominaislämpökapasiteetti ja lämpöarvo.....	19
4	Soodakattila	21
4.1	Soodakattilan tehtävät	21
4.1.1	Mustalipeän palaminen ja reduktioaste.....	22
4.1.2	Höyryn tuottaminen ja terminen hyötysuhde.....	24
4.2	Soodakattilan rakenne ja pääjärjestelmät	26
4.2.1	Kattilan vesikierto- ja korkeapainehöyryjärjestelmä	29
4.2.2	Polttolipeäjärjestelmä ja tuhkan käsittely	32
4.2.3	Ilmajärjestelmä.....	35
4.2.4	Savukaasujärjestelmä.....	38
4.2.5	Viherlipeäjärjestelmä	40
4.2.6	Apupolttoainejärjestelmät ja väkevät hajukaasut	42

5	Soodakattilalaitoksen suunnittelu.....	45
5.1	Myyntiprojektista toimitusprojektiksi.....	45
5.2	Laitossuunnittelu.....	45
5.3	Laitossuunnittelun rajapinnat.....	46
6	Yleiset käytettävyys- ja huoltovaatimukset.....	47
6.1	Luoksepäästävyys.....	48
6.1.1	Hoitotasot ja kulkuväylät.....	48
6.1.2	Portaat ja tikkaat.....	49
6.1.3	Siirrettävät huoltoaputaset.....	50
6.2	Huollon tarpeet.....	51
6.2.1	Hoitotasomateriaalit ja puhtaanapito.....	52
6.2.2	Nostokuilut ja nostoaputaset.....	53
6.2.3	Nostopalkit ja -korvakkeet.....	56
6.2.4	Huoltotoimenpiteiden kuormat.....	58
6.2.5	Tilankäyttö laitossuunnittelussa.....	59
6.2.6	Putkikuilut ja tasojen läpiviennit.....	59
6.2.7	Kulkuväylien, nosto- ja huoltotilojen tilanvaraukset.....	62
6.3	Pohjataso layout.....	64
6.3.1	Kokooja-altaat ja lattiakanaalit.....	64
6.3.2	Pohjataso huoltoreitti.....	65
7	Laitekohtaiset huoltovaatimukset.....	67
7.1	Säiliöt.....	67
7.1.1	Syöttövesisäiliö.....	67
7.1.2	Sekoitussäiliö.....	68
7.1.3	Liuotinsäiliö.....	69
7.1.4	Liuotinsäiliön hönkäpesuri.....	71
7.1.5	Ulospuhallussäiliö ja Jatkuva ulospuhallussäiliö.....	72
7.1.6	Pisaranerotin ja likaisen lauhteen säiliö.....	74
7.1.7	Recbo-säiliö.....	75
7.1.8	Sulakourujen jäähdytyskierron paisuntasäiliö.....	76
7.2	Pumput.....	77
7.2.1	Prosessipumppujen huoltovaatimukset.....	78
7.2.2	Syöttövesipumppujen huoltovaatimukset.....	79

7.2.3	Puhaltimet	82
7.2.4	Tuhkakuljettimet	84
7.3	Lämmönsiirtimet	86
7.4	Polttimet ja venttiiliryhmät	89
8	Johtopäätökset	91
8.1	Laitesijoitussääntöjen määrittäminen	92
8.2	Nostoapulaitteiden tarkastelu	93
8.3	3D-mallin hyödyntäminen	93
8.4	Jatkotutkimusaiheet	95
9	Lähteet	98

1 Johdanto

Diplomityö on tehty Andritz Oy:lle soodakattilatuoreryhmän laitossuunnitteluosastolle. Toimitettujen soodakattilalaitosten kapasiteetit ovat kasvaneet merkittävästi viimeisen kymmenen vuoden aikana (Andritz, 2020). Samalla apulaitteiden ja järjestelmien komponenttien koko ja paino ovat kasvaneet. Tästä on aiheutunut haasteita kattilan käytönaikaisille huolto-toimenpiteille. Väärin ajoitettu huollettavuuden tarkastelu voi aiheuttaa projektissa rakenteellisia muutostöitä, joita voi olla miltei mahdotonta ratkaista ilman suuria lisäkustannuksia, ja ilman hyvää yhteistyötä asiakkaan kanssa.

Tästä syystä laitossuunnittelussa on nähty tarpeelliseksi tehdä tutkimus kattilalaitoksen huollon yleisimmistä vaatimuksista ja vaatimuksia vastaavista perusratkaisuista. Lisäksi viimeaikaisten projektien perusteella on ollut nähtävissä kaupallisiin sopimuksiin liitettyjen asiakasstandardien määrien kasvu sekä vaatimusten tiukentuminen liittyen kattilalaitoksen turvalliseen käyttöön ja huollettavuuteen. Asiakkaat tavoittelevat mahdollisimman helposti ja pienillä resursseilla toteutettavia huoltotoimenpiteitä, jotta huoltokustannukset pysyvät alhaisina ja laitoksen saatavuus, eli toimivuusaste, voidaan pitää mahdollisimman korkealla.

Huollettavuuden aihealue voi olla uusille suunnittelijoille vieras ja vaikeasti hahmotettavissa ilman konkreettisia laite- ja järjestelmäkohtaisia suunnitteluohjeita. Diplomityöntekijä on toiminut laitossuunnittelussa kahdeksan vuotta, joista kaksi pääsuunnittelijana.

1.1 Tutkimusongelma

Aiemmin soodakattilalaitosten toimitusprojekteissa on keskitytty pääasiassa prosessin toimivuuteen ja kattilatekniikkaan. Huollettavuutta ja käytettävyyttä ei ole laitesijoittelussa painotettu suunnittelun aikana myöskään asiakkaan suunnasta, vaan käytön ja huollon ongelmat ovat tulleet esille vasta käyttöönottovaiheessa ja takuuajana. Tutkimusongelmana on löytää soodakattilalaitoksen toimitusprojektien laitesijoitteluun vaikuttavat huollettavuuden tekijät.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Työn tavoite on määrittää huollettavuuden perusteet laitossuunnitteluosaston suunnittelumanuaalia varten. Suunnittelumanuaalin päivityksen tarkoitus on vähentää asennusvaiheen jälkeisiä käytettävyyteen sekä huollettavuuteen liittyviä muutos- ja lisätoita. Lisäksi sen tehtävänä on nopeuttaa yritykseen tulevien uusien laitossuunnittelijoiden ammatillista kehittymistä ja vastata nykyajan asiakasvaatimuksiin standardoiduilla laitossuunnittelun ratkaisuilla. Standardoiduilla ratkaisuilla voidaan myös vähentää projektissa tulevien dokumenttien päivitysten eli revisioiden määrää, jolloin projektin suunnittelun läpimenoaika lyhenee ja suunnittelutuntien määrä vähenee.

Lopputyö on osa erillisenä projektina tehtyä laajempaa laitossuunnittelumanuaalin päivitystyötä, joka tehtiin Andritzin suunnittelumanuaaliohjelmistoon. Se sisältää nykyisen laitossuunnittelu- eli layoutmanuaalin lisäksi soodakattilalaitoksen prosessisuunnittelumanuaalin. Layoutmanuaalin ja prosessimanuaalin välille tehtiin tarvittavat ristiviittaukset ja linkit, jolloin suunnittelijoiden on helppoa etsiä asiakkoista tietoa niin mekaanisista kuin prosessi-vaatimuksista.

1.3 Työn rajaukset

Laitossuunnittelu on erittäin laaja osa-alue, jolla on rajapintoja kaikkien kattilalaitoksen suunnitteluhaarojen kanssa. Työssä tarkastellaan kattilarakennusta, soodakattilan apulaitteita ja osittain putkistoa huollettavuuden ja käytettävyyden näkökulmasta. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin laitteiden ja järjestelmien prosessitekkinen mitoitus. Kattilan painerunkoon ja tulipesään liittyvät huollot jätettiin myös tarkastelun ulkopuolelle, koska siihen liittyvä ohjeistus on Andritzin teknologiaosaston hallinnassa. Suunnitteluohjeissa pyritään yrityksen kannalta sopimusteknisesti ja kustannusvaikutusten osalta optimaaliseen ratkaisuun, jolloin kaikkia toimitusprojektien asiakaskohtaisia tai laitoskohtaisia erityisvaatimuksia ei voitu ottaa huomioon. Digitaalisen suunnittelumanuaalin rakenne ja tarkempi sisältö sekä ohjelmiston käsittely jätettiin työn ulkopuolelle, koska se tehtiin diplomityöstä erillisenä työnä.

1.4 Työn rakenne

Työ on jaettu kirjalliseen osuuteen ja käytännön osuuteen. Kirjallinen osuus sisältää luvut 2–4 ja käytännön osuus alkaa luvusta 5. Kirjallisen osuuden luvussa 2 käsitellään lyhyesti sulfaattiselutehtaan prosessi ja selutehtaan talteenottolinjan kemikaalikierto, jonka osaprosessi soodakattila on. Mustalipeä on kemikaalikierron tärkein komponentti. Sen koostumusta ja ominaisuuksia käsitellään osiossa 3. Luvussa 4 käydään läpi soodakattilan tehtävät, kattilan rakenne, soodakattilan pääjärjestelmät sekä laitteet. Pääjärjestelmien yhteydessä on käsitelty huoltojen kannalta tärkeimmät ja fyysiseltä kooltaan suurimmat apulaitteet.

Käytännön osuus on luvuissa 5–7. Luvussa 6 käsitellään kattilarakennukseen, tilojen ja huoltoapulaitteiden käyttöön liittyviä vaatimuksia. Luvussa 7 käsitellään kirjallisessa osuudessa käsiteltyjen järjestelmien laitekohtaisia huoltovaatimuksia. Laitesijoitussääntöihin on kerätty esimerkkejä useiden toimitusprojektien laitesijoitusratkaisuksista, jotka täyttävät tässä työssä määritellyt huollettavuus- ja luoksepäästävyys vaatimukset. Osa esimerkeistä on luotu tai muokattu lopputyötä varten. Laitesijoitussäännöt sisältävät myös huoltotila- ja kulku-väylämitoituksia, jotka on kerätty viimeaikaisten projektien asiakasvaatimuksista. Tutkimuksen aikana on kerätty myös näkemyksiä laitossuunnitteluosastolta ja muiden osastojen asiantuntijoilta. Käytettävyyteen ja huoltoapuvälineiden käyttöön liittyvät huomiot perustuvat asiakkaiden käyttö- ja huoltohenkilöstön kommentteihin sekä Andritzin asennus- ja käyttöönottohenkilöstön kokemuksiin.

Työn tuloksia käsitellään luvussa 8, jossa pohditaan tutkimuksen aikana esiin nousseita havaintoja ja tutkimuksessa määritettyjen ohjeiden soveltuvuutta käytäntöön. Johtopäätösten lopussa on tuotu esille tutkimuksessa tarpeelliseksi havaittu jatkotutkimusaihe.

2 Sulfaattisellun valmistus ja kemikaalikierto

Paperin ja kartongin valmistuksessa käytetyn sellun kuituraaka-aine saadaan pääasiassa uudesta tai kierrätetystä puukuidusta. Puu sisältää noin 41–49 % selluloosaa, 23–34 % hemiselluloosaa ja ligniiniä 20–31 % riippuen puulaadusta. Selluloosan ja hemiselluloosan määrä vaikuttaa sellun saantoon, joka tarkoittaa kuivasta puusta selluksi saatavaa prosenttilukua. Selluloosapitoiset puukuidut ovat sitoutuneena toisiinsa ligniinin avulla ja käsittelemättömänä sitoutuvat huonosti paperin valmistusta varten. Sellun valmistuksen tarkoituksena on irrottaa puukuidut toisistaan ja se voidaan tehdä mekaanisesti tai kemiallisesti. Kemiallisen sellun valmistuksessa ligniini poistetaan keittämällä puumassaa kemikaalien avulla. Kemiallisen sellun valmistusmenetelmiä ovat sulfiitti- ja sulfaattisellun prosessit, joista yleisin on sulfaattisellu. Sulfiittisellun valmistusprosessin osuus maailmassa on nykyään vain 3 % ja Suomessa viimeisin sulfiittisellutehdas suljettiin 1990-luvulla. Sulfaattisellun edut ovat kestävä sellun rakenne, mahdollisuus käyttää suurinta osaa puulajikkeista ja tehokas talteenotto-prosessi. Sulfaattisellutehtaan talteenottolinjan osana on soodakattila. (Vakkilainen & Kivistö, 2014; Gustafsson et al., 2011.)

2.1 Sulfaattisellun valmistusprosessi

Sulfaattisellutehdas sisältää massaa valmistavan kuitulinjan ja keittokemikaalin talteenotto-linjan, joka sisältää lipeäkierron ja kalkkikierron.

Sulfaattisellun valmistusprosessi alkaa kuitulinjalla puun käsittelystä, jossa puu kuoritaan ja haketetaan. Hake seulotaan, josta hyväksytyn kokoinen lastu syötetään keittimeen. Keitin täytetään 80 °C – 100 °C lämpötilassa olevalla keittolipeällä eli valkolipeällä, joka koostuu natriumhydroksidista (NaOH) ja natriumsulfidista (Na₂S). Kemikaalien tarkoitus keittämisessä on tehokas ligniinin liuotus ja selluloosan säästö. Massaa keitetään 150 °C - 170 °C lämpötilassa, kunnes saavutetaan haluttu ligniinin poistoaste. Liiallinen ligniinin poisto keittovaiheessa vähentää massan saantoa. (Vakkilainen & Kivistö, 2014; Gustafsson et al., 2011; KnowPulp, 2022.)

Massan keitossa syntynyt jäteliemi, mustalipeä, sisältää keittokemikaaleja ja puusta liuenneita orgaanisia aineksia kuten ligniiniä. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on keiton jälkeen 10–30 %. Pesuvaiheessa massasta erotetaan mustalipeä ja pesty massa siirretään jatkokäsittelyä varten. Pesty massa lajitellaan hyväksytyyn jakeeseen ja hylättyyn jakeeseen. Hylättyä jätettä ovat haitalliset epäpuhtaudet, jotka heikentävät lopputuotteen laatua tai voivat aiheuttaa myöhemmässä valmistusprosessissa ongelmia laiterikkoina tai prosessin katkeamisena. Lajittelun jälkeen hyväksytylle massalle tehdään happidelignifiointi, eli jäännösligniinin poisto hapen ja alkalien avulla, jonka jälkeen massa valkaistaan. Massasta tehtävä kartonki tai valkaisematon paperi eivät tarvitse valkaisu prosessia. (Forest Bio Facts, 2022; Know-Pulp, 2022; Gustafsson et al., 2011.)

Kuitulinjalta massa siirtyy kuivatukseen ja jälkikäsittelyyn, jossa kuivattu massa paalataan ja varastoidaan kuljetusta varten. Sellutehtaan läheisyydessä voi sijaita paperitehdas, jolloin puhutaan integroidusta tehtaasta. Integroidussa tehtaassa kuitulinjalta valmistunut massa siirretään kuivaamattomana kuljettimella tai pumppaamalla suoraan paperitehtaalle. (Know-Pulp, 2022.)

2.2 Keittokemikaalien talteenotto linja

Puumassan keittämisessä syntyvä mustalipeä aiemmin hävitettiin, mutta tehtaiden tuotantokapasiteettien kasvettua havaittiin, että mustalipeän talteenotto on taloudellisempaa kuin jatkuva keittokemikaalien hankinta. Uuden teknologian myötä tehokas mustalipeän talteenotto ja prosessointi uudelleen käyttöä varten mahdollistui. Kemikaalien talteenoton prosessilla on kolme päätarkoitusta:

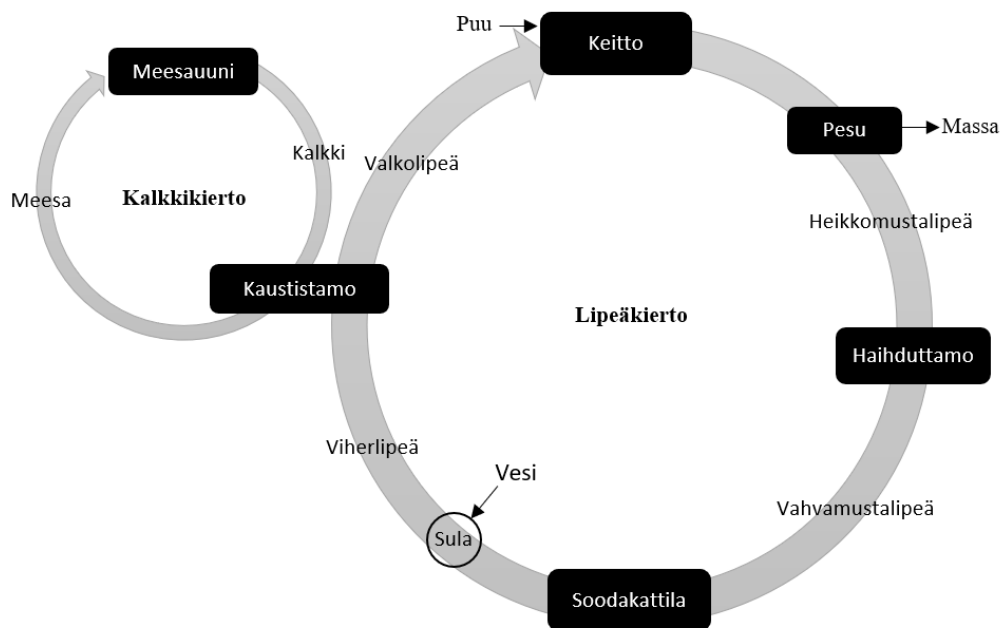
1. Prosessijätteen (mustalipeä) ympäristövaikutusten minimointi
2. Keittokemikaalien (NaOH ja Na₂S) talteenotto ja uudelleen käyttö
3. Mustalipeän polttamisessa syntyvän lämpöenergian hyödyntäminen höyryn ja sähkön tuotannossa

(Tran, et al., 2008; Vakkilainen, 2005; Vakkilainen, 2008.)

Sulfaattisellutehtaan talteenottolinjan kemikaalikierto on esitetty kuvassa 1 ja se voidaan jakaa seuraaviin pääprosesseihin:

1. mustalipeän haihduttaminen (haihduttamo)
2. natriumsulfidin ja natriumkarbonaatin muodostaminen mustan lipeän polttamisella (soodakattila)
3. natriumkarbonaatin kaustisointi natriumhydroksidiksi (kaustistamo)
4. meesan regenerointi poltetuksi kalkiksi (meesauuni)

(Vakkilainen, 2005; Vakkilainen, 2008.)



Kuva 1. Sulfaattisellun talteenotto prosessi (Tran & Vakkilainen, 2008)

Pesuvaiheessa erotettu mustalipeä siirretään sellutehtaan talteenottolinjalle. Talteenottolinjan ensimmäinen osaprosessi on haihduttamo. Haihduttamolla on kaksi tehtävää: mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden nostaminen ja keitossa syntyneiden sivutuotteiden erottaminen sekundäärilauhteista. Haihduttamolle tulevan pesulipeän tai toisin kutsuttuna heikkomustalipeän kuiva-ainepitoisuus on 14–18 %. Jotta mustalipeä voidaan polttaa soodakattilassa, sen kuiva-ainepitoisuutta täytyy kasvattaa ja mitä korkeampi kuiva-ainepitoisuus on, sen

korkeampi on soodakattilan tuottama höyryn määrä. Matalalla kuiva-ainepitoisuudella polttaminen kuluttaa enemmän lämpöä kuin mitä se tuottaa. Heikkomustalipeä väkevöidään vahvamustalipeäksi haihduttamalla vettä. Vahvamustalipeä johdetaan soodakattilan sekoitussäiliöön, josta lipeä johdetaan takaisin haihduttamolle väkevöitäväksi polttolipeäksi. Haihduttamolta lähtevän polttolipeän kuiva-ainepitoisuus on alimmillaan 60–65 % mutta nykyään tyypillisesti 70–85 % tasolla. (Forest Bio Facts, 2022; KnowPulp, 2022; Vakkilainen, 2008.)

Haihduttamalla syntyvän sekundäärilauhteen puhdistaminen vaatii sivutuotteiden kuten metanolin, tärpätin ja suovan talteenottoa. Sivutuotteet voidaan käyttää uudelleen tehtaalla tai prosessoida jälleenmyyntiä varten. Suopa erotetaan välilipeästä, jonka kuiva-ainepitoisuus on 25–35 %. Suovasta voidaan tuottaa mäntyöljyä. Metanoli voidaan johtaa esimerkiksi soodakattilaan poltettavaksi tai se voidaan nesteyttää ja varastoida. Vedestä erotettu raakatärpätti myydään. (KnowPulp, 2022.)

Haihduttamolta tuleva polttolipeä poltetaan soodakattilassa. Soodakattilan tehtävänä on mustaan lipeään sitoutuneiden keittokemikaalien talteenotto ja regenerointi uudelleenkäyttöä varten sekä lämpöenergian tuottaminen. Soodakattilassa poltetaan mustalipeän orgaaninen kuiva-aines ja epäorgaanisesta aineesta muodostuu kemikaalisulaa, jonka pääainesosat ovat natriumkarbonaatti (Na_2CO_3), natriumsulfidi (Na_2S) ja natriumsulfaatti (Na_2SO_4). Soodakattilan tulipesän pohjalta valuva sula sekoitetaan laihavalkolipeään, jolloin muodostuu viherlipeää. (Forest Bio Facts, 2022; Gustafsson et al., 2011; Vakkilainen, 2008.)

Viherlipeä johdetaan kaustistamolle, joka on osa kalkkikiertoa. Kaustisointiprosessissa soodakattilalta tullut viherlipeä suodatetaan tai selkeytetään, jonka jälkeen viherlipeään sekoitetaan meesauunista saatavaa poltettua kalkkia (CaO). Tätä vaihetta kutsutaan kalkin sammuttamiseksi. Kaustisointivaiheessa sammutettu kalkki (Ca(OH)_2) reagoi viherlipeän sisältämän natriumkarbonaatin (Na_2CO_3) kanssa muodostaen natriumhydroksidia (NaOH). Kaustisoinnissa valkolipeän lisäksi muodostunut meesa eli kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) erotetaan valkolipeästä suodattamalla. Meesa pestään ja syötetään meesauuniin uudelleen poltettavaksi ja regeneroitavaksi. Kaustistamolta saatu valkolipeä sisältää sulfaattikeitossa tarvittavat aktiiviset kemikaalit ja siirretään kuitulinjalle keittoon uudelleen käytettäväksi. (Forest Bio Facts, 2022; Gustafsson et al., 2011; Vakkilainen, 2008.)

3 Mustalipeä

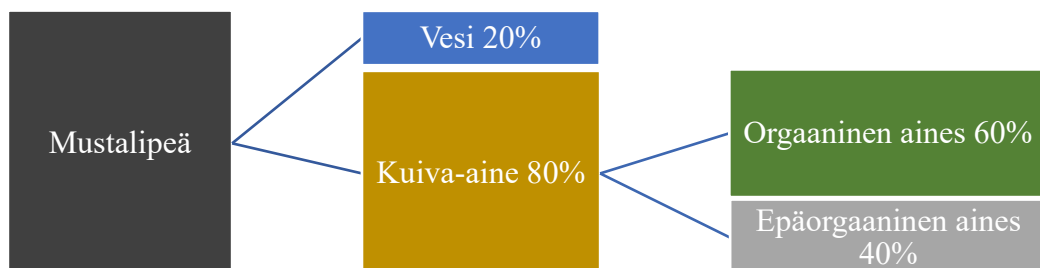
Puumassan keittovaiheessa valkolipeän aktiivisten kemikaalien ja lämmön vaikutuksesta keittonesteeseen liukenee puun orgaanisia yhdisteitä. Pesuvaiheessa massasta erotettua emäksistä keittoliemeä kutsutaan mustalipeäksi. (Parviainen et al., 2008; Forest Bio Facts, 2022.)

Mustalipeän kuiva-ainesosuudesta noin 60 % on puusta liennutta orgaanista ainesta. Orgaanisen kuiva-aineen sisältämä kemiallinen energia otetaan talteen lämpöenergiaksi polttamalla mustalipeä soodakattilassa. Epäorgaaninen aines otetaan talteen ja regeneroidaan soodakattilassa ja kaustistamalla. (Parviainen et al., 2008; Tran & Vakkilainen, 2008.)

Mustalipeää poltetaan vuosittain noin 200 miljoonaa tonnia ja sillä tuotetaan noin 700 miljoonaa tonnia korkeapainehöyryä, mikä tekee siitä maailman viidenneksi yleisimmän polttoaineen (Tran & Vakkilainen, 2008).

3.1 Mustalipeän koostumus

Mustalipeä sisältää vettä ja kuiva-ainetta. Kuiva-aine on massan valmistuksessa liennutta orgaanista ainesta ja keittokemikaalien epäorgaanista ainesta. Jokaista tuotettua sellutonnia kohden muodostuu noin 1,5 t mustalipeän kuiva-ainetta (Tran & Vakkilainen, 2008; Vakkilainen, 2008). Kuiva-ainemäärään vaikuttaa keitetyn kuidun kovuus ja keitossa käytetyn alkalin määrä. Jos alkalin määrää nostetaan, kuiva-aineen epäorgaanisen aineksen määrä myös kasvaa (KnowPulp, 2022.) Kuvassa 2 on näytetty tyypillisen soodakattilassa poltettavan mustalipeän eli polttolipeän koostumus.



Kuva 2. Mustalipeän ainesosat (Skrifvars & Hupa, 2010)

Mustalipeän kuiva-aineen orgaanisia ainesosia ovat ligniini, hemiselluloosa, hydroksihapot, muurahaihapo, etikkahappo, uuteaineet ja muut yhdisteet. Epäorgaanisia aineita ovat keittokemikaalit NaOH ja Na₂S sekä suolat Na₂CO₃, Na₂SO₄, Na₂SO₃, Na₂S₂O₃. (KnowPulp, 2022; Forest Bio Facts, 2022.)

Alkuaineanalyysillä saatu mustalipeän kuiva-aineen alkuainekoostumus ja niiden prosenttiosuudet kuiva-ainesisällöstä riippuvat puulaadusta ja puun maantieteellisestä kasvualueesta. Alkuainekoostumus vaikuttaa mm. soodakattilan tulistimissa tuhkan kasautumiseen, jolloin koostumus tulee huomioida soodakattilan materiaalisuunnittelussa ja energiataselaskuissa. (Vakkilainen, 2008; Theliander, 2009.) Taulukossa 1 on esitetty tyypillinen esimerkki mustalipeän kuiva-aineen alkuainekoostumuksesta ja prosenttiosuudet painosta.

Taulukko 1. Mustalipeän kuiva-aineen alkuaineosuudet (Theliander, 2009)

Alkuaine	Sisällön osuus, % kuiva-aineesta
Hiili, <i>C</i>	34–39
Vety, <i>H</i>	3–5
Happi, <i>O</i>	33–38
Natrium, <i>Na</i>	17–25
Rikki, <i>S</i>	3–7
Kalium, <i>K</i>	0,1–2
Kloori, <i>Cl</i>	0,2–2
Typpi, <i>N</i>	0,05–0,2
Muut	<0,1

3.2 Mustalipeän ominaisuudet

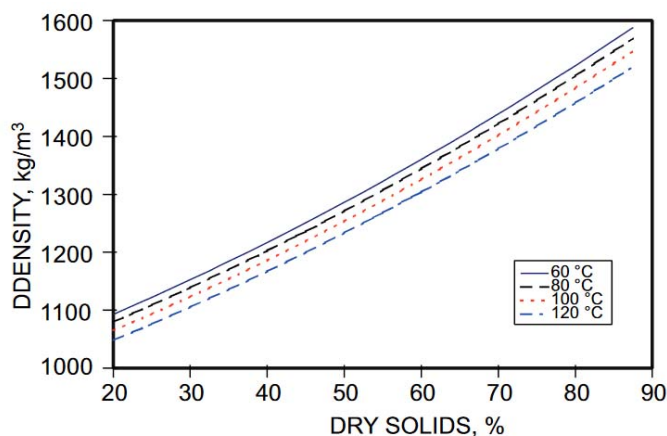
Mustalipeän fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat luonteenomaisesti talteenotto-prosessin eri vaiheissa. Soodakattilassa mustalipeän polttamiseen vaikuttavat tärkeimmät ominaisuudet ovat tiheys, viskositeetti, pintajännitys, ominaislämpökapasiteetti ja lämpöarvo. Nämä ominaisuudet riippuvat mustalipeän kuiva-ainemäärästä ja lämpötilasta. Taulukossa 2 on esitetty mustalipeän oleellimmat fysikaaliset ominaisuudet ja niiden merkitys soodakattilassa. (Forest Bio Facts, 2022; Theliander, 2009.)

Taulukko 2. Mustalipeän ominaisuudet ja merkitys (Theliander, 2009)

Ominaisuus	Merkitys
Tiheys	Tarvitaan oikean massataseen saamiseksi. Tiheys osoittaa myös lipeän sisältämän kuiva-ainemäärän.
Viskositeetti	Määrittää lipeän virtausominaisuuksia, joka vaikuttaa lämmönsiirtoon haihduttamalla sekä pisaran muodostukseen soodakattilassa.
Pintajännitys	Pisaran muodostuminen soodakattilassa
Ominaislämpökapasiteetti	Tarvitaan oikean lämpötaseen saamiseksi.
Lämpöarvo	Lämpöenergiaksi muutettavan kemiallisen energian määrä. Soodakattilan lämpötaseen tärkeä tekijä.

3.2.1 Tiheys

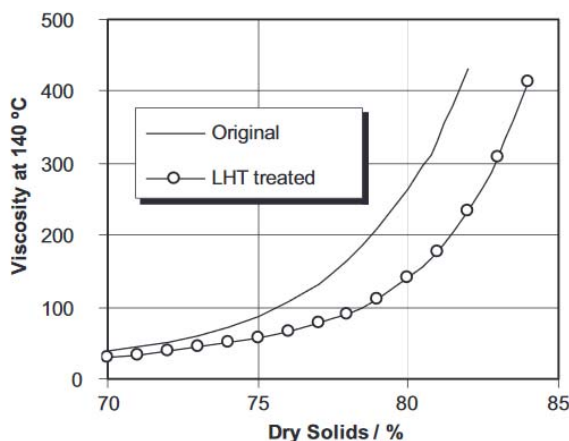
Lämpötila vaikuttaa mustalipeän tiheyteen suhteellisen lineaarisesti 16 °C asteesta kiehumispisteeseen, mutta kokonaisuudessaan lämpötilan merkitys tiheyteen on huomattavasti pienempi kuin lipeän sisältämä kuiva-ainemäärä. Kuvassa 3 on esitetty kuvaaja mustalipeän tiheyden kasvusta kuiva-ainemäärän funktiona eri lämpötiloissa. Korkeammilla kuiva-ainepitoisuuksilla tiheys riippuu kuiva-aineen muodostavista orgaanisista ja epäorgaanista aineista. (Forest Bio Facts, 2022; Vakkilainen, 2008.)



Kuva 3. Mustalipeän tiheys suhteessa kuiva-ainemäärään (Vakkilainen, 2008)

3.2.2 Viskositeetti ja pintajännitys

Kinemaattinen viskositeetti vaikuttaa lipeän varastointiin, siirtämiseen ja käsittelyyn. Viskositeetti kasvaa eksponentiaalisesti kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa (Llamas et al., 2006). Korkea kuiva-ainepitoisuus kasvattaa soodakattilan kapasiteettia ja parantaa hyötysuhdetta, vähentää rikkidioksidi ja H₂S päästöjä sekä parantaa palamista. Korkean viskositeetin haittapuolena on mahdollinen lipeäriskujen tukkeutuminen ja kulumisen sekä lisääntynyt lipeäpisaroiden kulkeutuminen (carryover) savukaasujen mukana kattilan lämpöpinnoille. (Llamas et al., 2006; Parviainen et al., 2008.) Mustalipeän viskositeettia voidaan laskea tekemällä lipeälle lämpökäsittely (LHT), jossa lipeää pidetään tietty aika 175–195 °C lämpötilassa. Lämpökäsittelyllä polttolipeän pumpattavuus voidaan säilyttää jopa 90 % kuiva-ainepitoisuudessa. (Parviainen et al., 2008; Vakkilainen, 2005.) Kuvassa 4 on esitetty tavallisen ja lämpökäsitellyn mustalipeän viskositeetikäyrät eri kuiva-ainepitoisuuksissa. Viskositeetti vaikuttaa tiheyden ja pintajännityksen lisäksi soodakattilaan ruiskutettavan mustalipeän pisaranmuodostukseen. Pintajännitys kasvaa kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa ja pienenee lämpötilan noustessa. (KnowPulp, 2022.)



Kuva 4. Normaalin ja lämpökäsitellyn (LHT) mustalipeän viskositeetikäyrät (Parviainen et al., 2008)

3.2.3 Ominaislämpökapasiteetti ja lämpöarvo

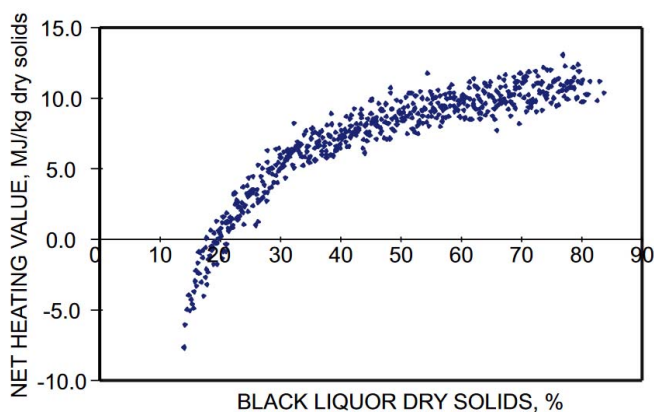
Mustalipeän ominaislämpökapasiteetti riippuu siihen liuenneiden ainesosien ominaislämpökapasiteeteista. Kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa ominaislämpökapasiteetti pienenee ja lämpötilan noustessa ominaislämpö kasvaa (Vakkilainen, 2008).

Polttoaineen lämpöarvo ilmoittaa polttamisessa tuotetun lämpömäärän. Mustalipeän ylempi lämpöarvo (HHV) eli kalorimetrinen lämpöarvo ilmoittaa mustalipeän sisältämän suurimman sitoutuneen kemiallisen energian määrän. (Vakkilainen, 2008.) Taulukossa 3 on listattuna tyypillisten puuraaka-aineiden kalorimetrisiä [MJ/kg] lämpöarvoja.

Taulukko 3. Tyypillisten puuraaka-aineiden kalorimetriset (HHV) lämpöarvot (Vakkilainen, 2008)

	Typical		Range	
	MJ/kg	Btu/lb	MJ/kg	Btu/lb
Nordic softwood	14.2	6100	13.3–14.8	5700–6350
Nordic hardwood	13.5	5800	13.0–14.3	5550–6150
North American softwood	14.2	6100	13.3–15.0	5700–6450
North American hardwood	13.9	5975	13.0–14.8	5550–6350
Tropical hardwood	14.1	6050	13.4–14.8	5750–6350
Bagasse	14.8	6350		
Bamboo	14.1	6050		
Straw	14.7	6325		

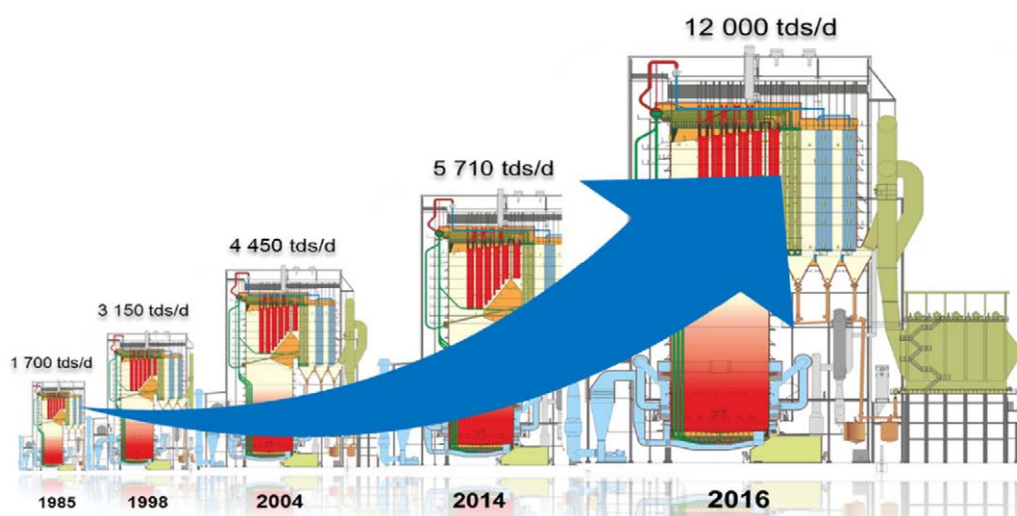
Ylempään lämpöarvoon vaikuttaa kuiva-aineen sisältämä hiilen määrä, jonka määrän kasvaessa lämpöarvo kasvaa. Mustalipeän sisältämän epäorgaanisten aineiden osuuden kasvaessa lämpöarvo laskee. Alempi lämpöarvo (NHV) eli tehollinen lämpöarvo saadaan vähentämällä ylempää lämpöarvosta veden höyrystymiseen ja kemikaalireduktioon kulutettu energia. Tehollinen lämpöarvo kuvaa parhaiten soodakattilassa höyryn tuotantoon käytettävissä olevaa lämpöenergiaa. (Vakkilainen, 2008; Forest Bio Facts, 2022.) Kuvassa 5 on esitetty kuiva-ainepitoisuuden vaikutus teholliseen lämpöarvoon.



Kuva 5. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus suhteessa tuotettuun lämpömäärään (Vakkilainen, 2008)

4 Soodakattila

Soodakattiloita on valmistettu ja toimitettu jo 1900-luvun alusta lähtien. Vuosikymmenien aikana kehitettiin kattilatekniikkaa kuten tulipesän rakennetta, lämpöpintoja, ilmajärjestelmää ja lipeän ruiskutusta usean kattilavalmistajan toimesta. Nykyaikainen korkealla mustalipeän kuiva-ainepitoisuudella toimiva yksilieriöinen soodakattila on ollut käytössä 80-luvun lopulta lähtien ja kattilan perusrakenne on pysynyt suhteellisen muuttumattomana näihin päiviin saakka. Prosessiautomaatiolla saavutettu vakaampi ja hallittu lipeän palaminen sekä mustalipeän korkeampi haihdutusaste on mahdollistanut soodakattiloiden moninkertaisen kapasiteetin kasvun. (Vakkilainen, 2005.) Kuvassa 6 on esitetty soodakattiloiden maksimikapasiteetin, tonnia kuiva-ainetta vuorokaudessa (tds/d), kehittyminen 1980-luvulta 2010-luvulle.



Kuva 6. Soodakattiloiden kapasiteetin kasvu. (Andritz, 2022)

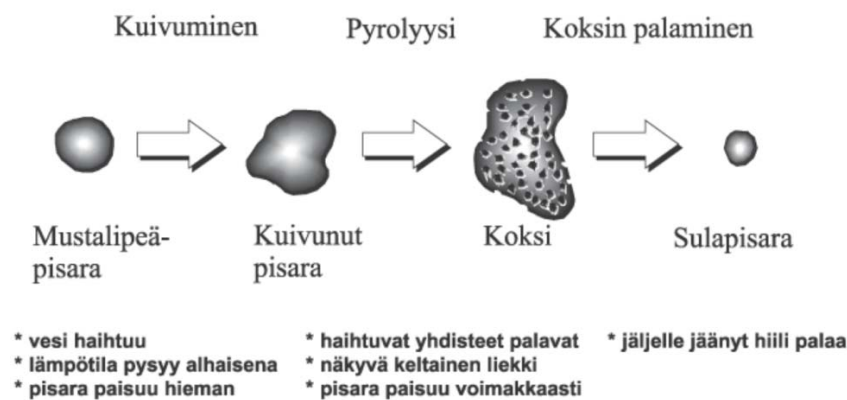
4.1 Soodakattilan tehtävät

Soodakattilalla on kaksi päätehtävää: ensimmäinen on ottaa talteen massan keitossa käytettävät epäorgaaniset keittokemikaalit ja toiseksi hyödyntää mustalipeän orgaanisen osan kemiallinen energia lämmön tuotannossa. Soodakattilan kaksi päätehtävää tekee siitä poikkeavan verrattuna muihin tavanomaisiin kattiloihin (Adams, 1997). Soodakattilan kolmas tehtävä on vähentää eri sivuvirroista syntyviä päästöjä ja jätettä (Vakkilainen, 2005).

4.1.1 Mustalipeän palaminen ja reduktioaste

Mustalipeä syötetään soodakattilaan tulipesän alaosaan ruiskuttamalla. Ruiskutettavan pisaran koko on oleellinen soodakattilan toiminnan kannalta. Mustalipeä ruiskutetaan tarpeeksi suurina pisaroina, halkaisijaltaan noin 2–3 mm, jotta palamatonta materiaalia päätyy sulakekoon. Pienemmät pisarat voivat kulkeutua savukaasujen mukana kattilan yläosiin likaannuttamaan lämpöpintoja. Liian suuret pisarat jäädyttävät sulakekoa ja voivat sammuttaa palamisen. Suuret pisarat tuottavat myös paljon lentotuhkaa, joka tukkii savukaasusolia ja lämpöpintoja sekä lopulta heikentää prosessin tehokkuutta. (Vakkilainen, 2008; Theliander 2009.)

Mustalipeä palaa joko tulipesään ruiskutettuina pisaroina tai sulakeon päällä tulipesän pohjalla. Mustalipeän palamisessa on neljä vaihetta (kuva 7): kuivuminen, pyrolyysi, koksen palaminen ja epäorgaanisen sulan reaktiot. (Vakkilainen, 2008.)

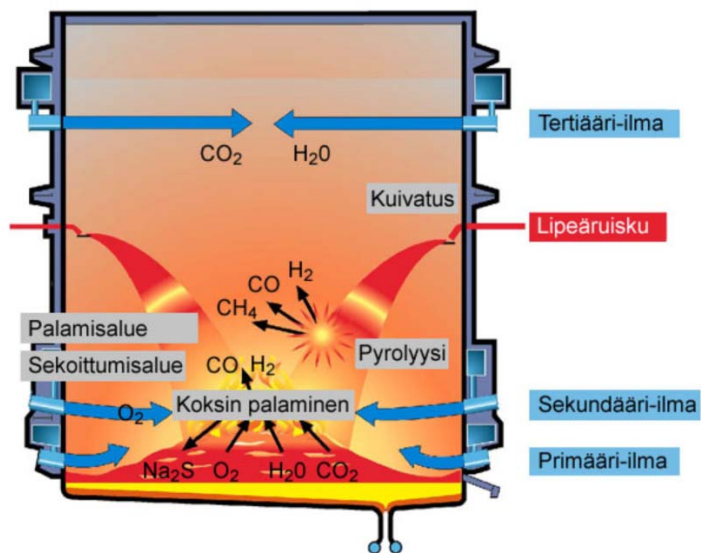


Kuva 7. Mustalipeän palamisen vaiheet (KnowPulp, 2022)

Kuivumisvaiheessa mustalipeäpisarasta haihtuu pääosa vedestä, josta noin 5 % jää pyrolyysivaiheeseen. Pyrolyysissä kuivuminen jatkuu ja haihtuvat kaasut palavat. Kaasujen haihtuminen on niin voimakasta, että happi ei pääse kosketuksiin lipeäpisan pinnan kanssa. Koksen palaminen alkaa, kun kaasujen haihtuminen on loppunut ja näkyvä liekki sammunut. Pyrolyysistä ja koksen palamisvaiheesta käytetään termiä orgaanisen palamisen vaihe ja ne tapahtuvat suurelta osin samanaikaisesti. Koksijäännös on huokoinen hiilirakenne ja sisältää pääosan mustalipeän epäorgaanisesta (Na_2S , Na_2SO_4 , Na_2CO_3) aineesta. Koksen

palamisvaiheessa natriumsulfaatti (Na_2SO_4) reagoi keon hiilen kanssa pelkistyen natriumsulfidiksi (Na_2S). Mustalipeän sisältämällä hiilellä on näin ollen tärkeä rooli pelkistymisreaktiossa.

Tehokas pelkistyminen vaatii happivajaan (O_2) olotilan. Happivajaassa tilassa koksen sisältämä hiili poistuu sulakeosta savukaasujen mukana vesihöyrynä (H_2O) ja hiilimonoksidina (CO), joka hapettuu tulipesässä ylempänä hiilidioksidiksi (CO_2). Kun koksen palaminen tai kaasuuntuminen loppuu, jäljelle jää epäorgaanisen aineen sulapisara. (Vakkilainen, 2005; Vakkilainen, 2008; Damasceno et al, 2020.) Kuvassa 8 on esitetty mustalipeän palamisen vaiheet ja reaktiot tulipesässä.



Kuva 8. Soodakattilan tulipesäreaktiot (KnowPulp, 2022)

Tulipesän pohjalla oleva jäännöshiilikeko on soodakattilan sydän. Keon korkeus on tyypillisesti alle 2 m. Se koostuu hiilestä, mustalipeän kuiva-aineesta ja sulasta. Keossa olevat materiaalit voivat olla sulassa, pehmeässä tai jähmeässä olotilassa. Keittokemikaalien talteenotto soodakattilassa on epäorgaanisen sulan tuottamista korkealla pelkistymisasteella. Keko on natriumin pelkistymisreaktion oleellisin osa ja toimii reaktiossa materiaalivarastona. Reaktion tasapainon takia keoon tulevien ja keosta sulakourujen sekä savukaasujen kautta poistuvien materiaalivirtojen määrien tulee olla yhtä suuret. (Vakkilainen, 2005; Adams, 1997.)

Keossa tapahtuvaa natriumsulfidin muodostumistehokkuutta mitataan pelkistymis- eli reduktioasteena. Reduktioaste on soodakattiloissa tyypillisesti yli 90 % (Tran & Vakkilainen, 2008). Reduktioaste lasketaan kaavan 1 mukaisesti:

$$\text{reduktioaste (\%)} = \frac{Na_2S \text{ (mol\%)}}{Na_2S \text{ (mol\%)} + Na_2SO_4 \text{ (mol\%)}} \quad (1)$$

(Damasceno et. al., 2020)

Hapen koskettaessa kekoa sulfidi hapettuu helposti takaisin sulfaatiksi Na_2SO_4 , joten keon päällä tulee olla tarpeeksi suuri kerros hiiltä estämässä sulan hapettumista (Vakkilainen, 2005). Sula pyritään johtamaan soodakattilasta pois ilman uudelleen hapettumista (Alapuranen, 2008).

4.1.2 Höyryn tuottaminen ja terminen hyötysuhde

Mustalipeän polttamisessa vapautuvalla lämpöenergialla tuotetaan soodakattilassa korkeapaineista höyryä, josta tuotetaan höyryturbiinilla sähköä. Turbiinin ulosotosta saatavaa matalapainehöyryä sekä väliotosta saatavaa välipainehöyryä käytetään sellutehtaan eri prosessialueilla. (Vakkilainen, 2005.)

Soodakattilassa mustalipeästä höyryyn siirtyvä lämpöteho on pienempi verrattuna fossiilisia polttoaineita polttaviin kattiloihin, koska soodakattilassa lämpöä kuluu mustalipeän sisältämän veden höyrystämiseen ja natriumsulfidin tuottamisreaktioon sekä sulan mukana ulos kulkeutuvaan lämpöön. Keskimäärin yhdestä kilosta mustalipeää voidaan tuottaa 2,5–3,8 kg höyryä riippuen soodakattilan hyötysuhteesta. (Tran & Vakkilainen, 2008.)

Kattilan hyötysuhde ilmoittaa kattilan kykyä hyödyntää polttamisessa syntyvän lämpömäärän veden höyrystämiseen, toisin sanoen hyötysuhde on höyryyn siirtyvän lämpömäärän ja kattilaan tuodun kokonaisenergiavirran suhdeluku. Hyötysuhde lasketaan seuraavasti:

$$\eta_k = \frac{Q_{\text{hyöty}}}{Q_{\text{tuotu}}} \quad (2)$$

jossa η_k on kattilan hyötysuhde [%], $Q_{\text{hyöty}}$ käytettävissä oleva höyryyn siirtyvä lämpöenergia [kJ/kgds] ja Q_{tuotu} kattilaan tuotu energia [kJ/kgds] (Vakkilainen & Ahtila, 2011).

Hyötysuhde voidaan laskea suorasti EN 12952-15 standardin mukaisesti polttoaineen massavirran, lämpöarvon ja lämpötilan pohjalta. Laskelmassa ei kuitenkaan huomioida kaikkia soodakattilasta lähteviä ja kattilaan tulevia energiavirtoja, kuten apupolttoaineet, vuotoilma, nuohoushöyry, savukaasujen puhdistukseen menevät ja tulevat energiavirrat. Kaikki energiavirrat pitäisi mitata, mikä lisää mittausepä-tarkkuutta ja voi aiheuttaa kumuloivasti isoja heittoja hyötysuhteen määrittämisessä. (Vakkilainen & Ahtila, 2011.)

Soodakattilan hyötysuhde lasketaankin aina epäsuorasti, jossa kaikki yksittäiset lämpöhäviöt vähennetään kattilaan tuodusta kokonaisenergiavirrasta. Oleelliset lämpöhäviöt voidaan arvioida tarkasti, jolloin epäsuoralla metodilla saadaan parempi termisen hyötysuhteen tarkkuus kaavan 3 mukaisesti:

$$\eta = 1 - \sum \frac{Q_{\text{häviöt},i}}{Q_{\text{tuotu}}} \quad (3)$$

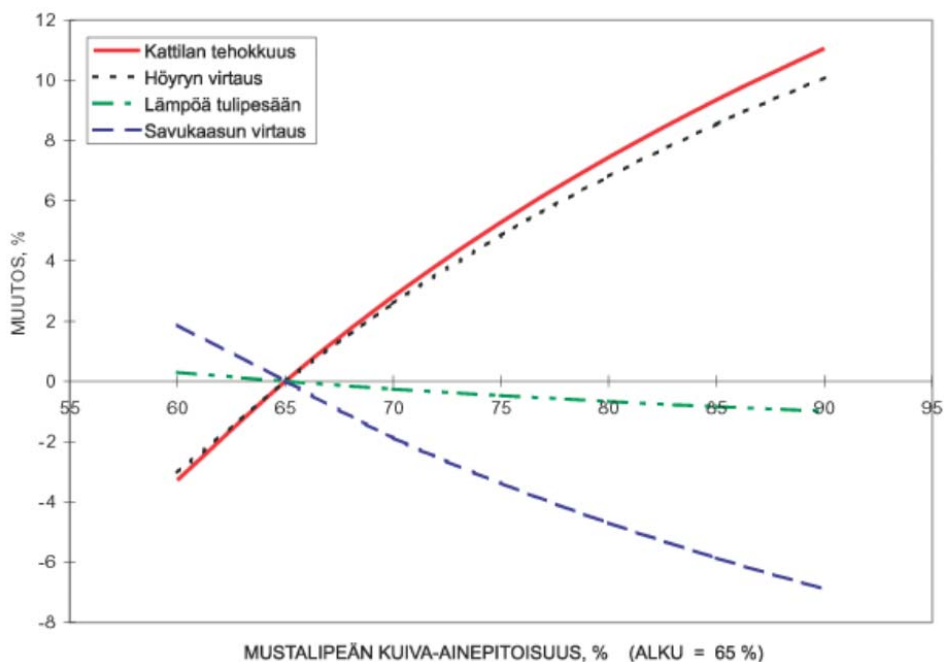
jossa $Q_{\text{häviöt},i}$ on kaikki yksittäiset lämpöhäviöt (Vakkilainen & Ahtila, 2011).

Soodakattilassa hyötylämpö on koko lämpömäärä, millä voidaan tuottaa höyryä ja käyttää pelkistymisreaktioon. Suurin osa lämmöstä käytetään höyryn tuottamiseen ja jäljelle jäävästä lämmöstä epäorgaanisten aineiden pelkistymisprosessi natriumsulfidin tuottamiseksi muodostaa puolet lämmön kulutuksesta. Suurimmat lämpöhäviöt ovat savukaasujen lämpöhäviö ja sulan mukana kulkeutuva lämpö. Vähäisiä lämpöhäviöitä ovat palamattoman polttoaineen lämpöhäviö sekä ympäristöön lämmön säteily- ja johtumishäviöt. Huomioimalla pelkistymisprosessin kuluttama lämpö voidaan laskea soodakattilan termisen hyötysuhde kaavan 4 mukaisesti. (Vakkilainen & Ahtila, 2011.)

$$\eta = 1 - \sum \frac{Q_{\text{häviöt},i}}{Q_{\text{tuotu}}} + \frac{Q_{\text{reduktio}}}{Q_{\text{tuotu}}} \quad (4)$$

jossa Q_{reduktio} on pelkistymiseen käytetty lämpömäärä (Vakkilainen & Ahtila, 2011).

Soodakattilan hyötysuhde riippuu mustalipeän kuiva-ainepitoisuudesta. Korkeammilla kuiva-ainepitoisuuksilla savukaasun lämpöhäviöt pienenevät, koska mustalipeän sisältämää vettä on savukaasuissa vähemmän, jolloin vettä tarvitsee vähemmän höyrystää ja palamisilman lämpötila voi olla matalampi. (KnowPulp, 2022.) Kuvassa 9 on esitetty kuiva-ainepitoisuuden vaikutus soodakattilan tehokkuuteen.

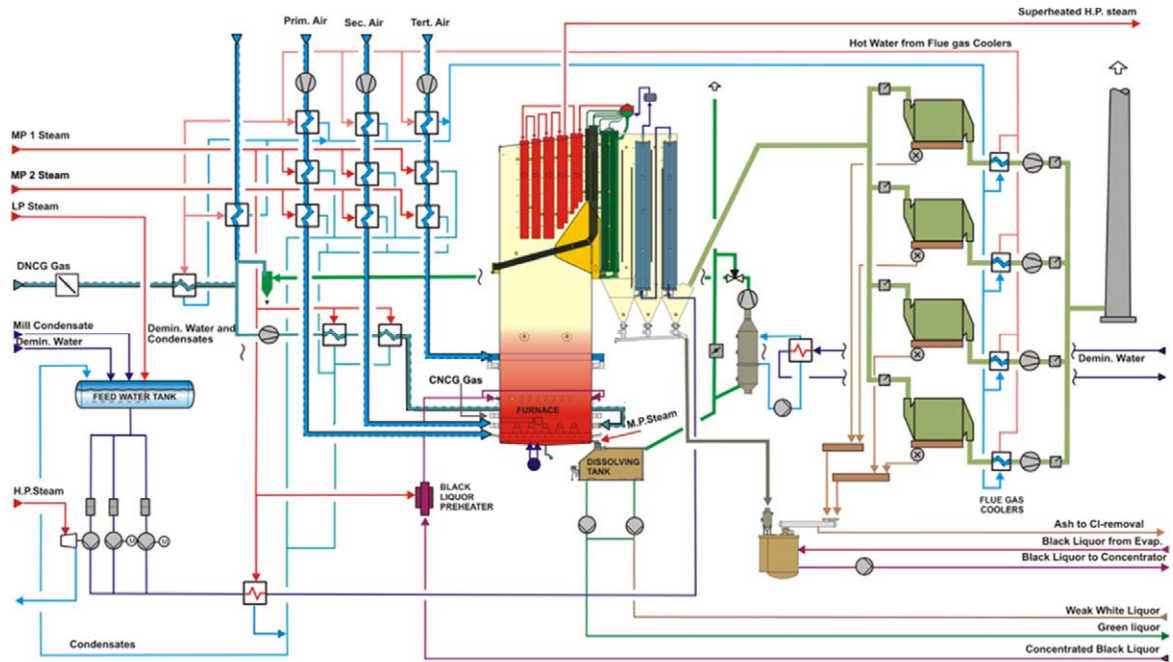


Kuva 9. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden vaikutus soodakattilan toimintaan (KnowPulp, 2022)

Soodakattilat voivat tuottaa höyryä noin 90 % hyötysuhteella saatavilla olevasta lämmöstä, jolloin soodakattilat sijoittuvat samalle hyötysuhdevälille kuin modernit biopolttoaineita käyttävät kattilat (Vakkilainen, 2005).

4.2 Soodakattilan rakenne ja pääjärjestelmät

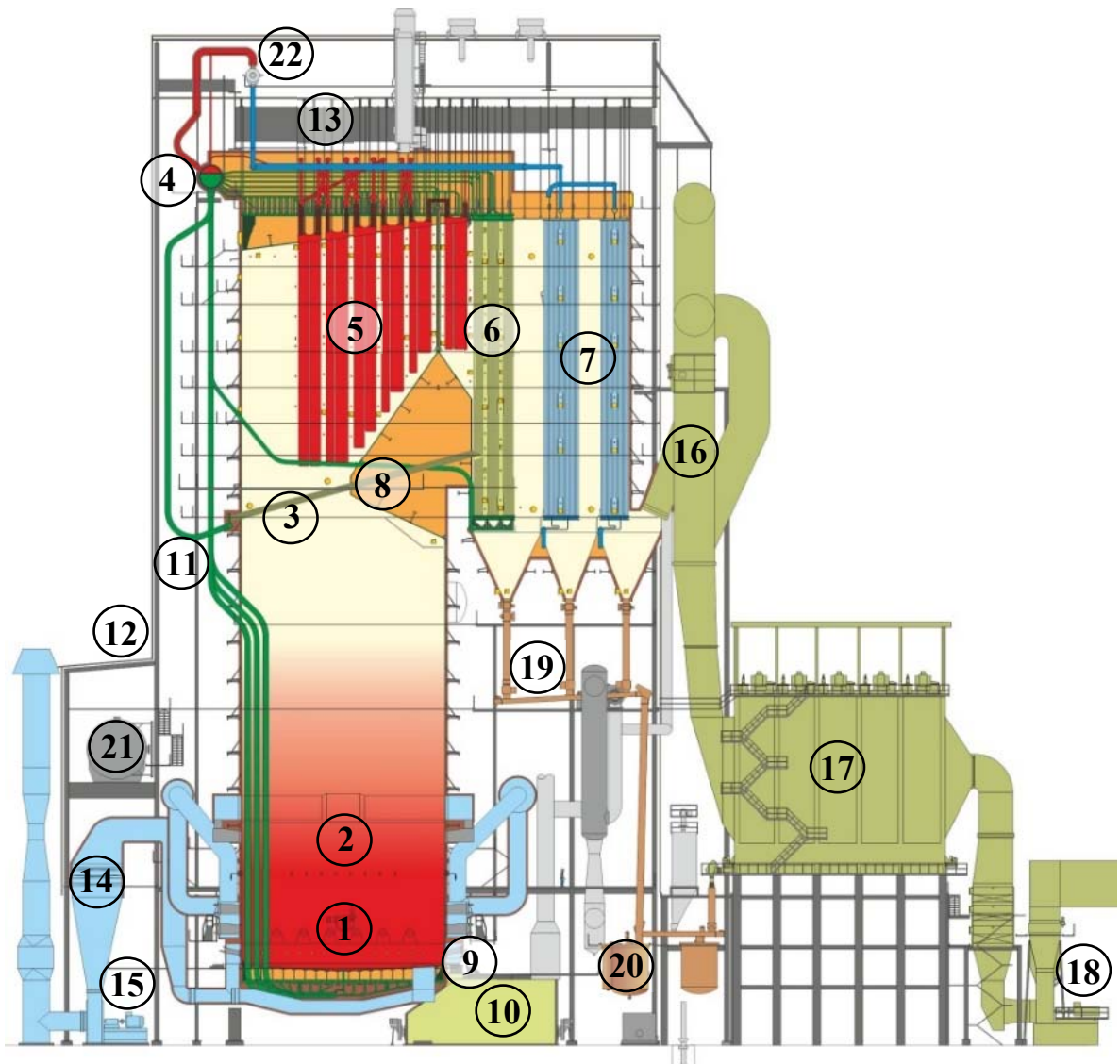
Tässä luvussa käsitellään soodakattilan rakenne ja soodakattilaprosessiin liittyvät pääjärjestelmät. Järjestelmä on soodakattilan toimintaan liittyvä osaprosessi ja ne on jaettu medioiden eli virtaavien aineiden mukaan, kuten vesi- ja höyry-, polttolipeä-, ilma-, savukaasu- sekä tuhka järjestelmä (Vakkilainen, 2005). Koko soodakattilaprosessi voidaan esittää yhdessä virtauskaaviossa (kuva 10), jossa on kaikki oleelliset soodakattilaan liittyvät tulo- ja menovirtaukset laitteineen. Prosessikaavio on luettavuuden takia pelkistetty versio, jolloin laitteiden sisäiset putkistot, kattilalaitoksen apujärjestelmät, kattilarakennukseen liittyvät järjestelmät sekä kaikki mittaukset ja turva-automaatio on jätetty pois. Virtaavat mediat on esitetty eri väreillä.



Kuva 10. Soodakattilan pääprosessikaavio (Andritz, 2022)

Kuvassa 11 on esitetty fyysisen kattilalaitoksen pituusleikkaus, johon on numeroitu soodakattilan ja kattilalaitoksen pääosat. Kattilan pituussuunta on savukaasujen virtauksen mukaisesti kattilan etuseinältä (lieriön puoli) kohti takaseinää (keittopinnan puoli). Seuraavissa luvun 4.2 alaluvuissa viitataan kuvan 11 osanumeroihin.

Soodakattilaitos sisältää soodakattilan ja kattilaprosessiin kuuluvat korkeapaine- ja matalapaineputkistot sekä kanavistot ja apulaitteet. Soodakattila on teräsrunkoisen kattilarakennuksen (12) sisällä, jonka pilarit muodostavat kattilan yläpuolisen primääripalkiston tukirakenteen. Kattila on roikutettu yläpuolen primääripalkistosta (13) kannatustangoilla. Apulaitteet, putkistot ja ilmekanavistot sijaitsevat pääosin kattilarakennuksen sisällä. Savukaasukanavistot ja sähkösuotimet sekä savukaasupuhaltimet sijaitsevat yleensä rakennuksen ulkopuolelle.



Kuva 11. Soodakattilalaitoksen pääosat (Andritz, 2022)

- | | |
|--|---|
| 1. Tulipesän alaosa: käynnistyspolttimien sekä primaari- ja sekundaari-ilma aukot. | 12. Kattilarakennuksen teräsrakenne |
| 2. Tulipesän keskiosa: mustalipeäruiskut ja tertiääri-ilma aukot | 13. Kattilan kannatinpalkisto ja kannatustangot |
| 3. Tulipesän verho | 14. Ilmakanavisto |
| 4. Höyrylieriö | 15. Ilmapuhaltimet |
| 5. Tulistimet | 16. Savukaasukanavisto |
| 6. Keittopinta | 17. Sähkösuodin |
| 7. Ekonomaiseri / syöttöveden esilämmitin | 18. Savukaasupuhaltimet |
| 8. Tulipesän nokka | 19. Tuhkakuljettimet |
| 9. Sulakourut | 20. Sekoitussäiliö |
| 10. Liuotinsäiliö | 21. Syöttövesisäiliö |
| 11. Kattilan vesi- ja höyrykierron korkeapaineputkisto | 22. Dolezal |

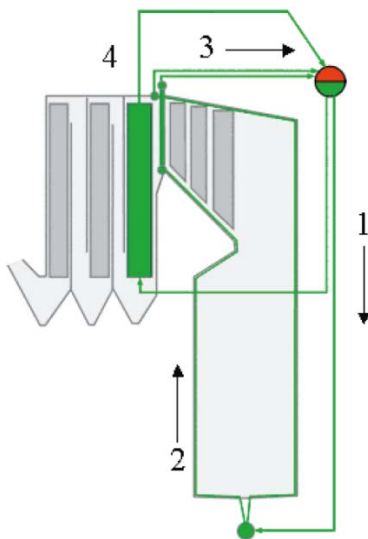
4.2.1 Kattilan vesikierto- ja korkeapainehöyryjärjestelmä

Soodakattilaan tuleva vesi syötetään ensiksi sellutehtaan vedenkäsittelylaitokselta demineralisoituna vetenä tai tehtaalta lauhteena syöttövesisäiliöön (21), jossa veteen tehdään hapenpoisto matalapainehöyryn avulla. Syöttövesitankista vesi pumpataan syöttövesipumpuilla putkistoa pitkin ekonomaisereille (7). Syöttöveden lämpöä voidaan nostaa höyryn avulla esilämmittimissä ennen ekonomaiseria, jos kattilalla ajetaan suurta höyrymäärää. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)

Ekonomaiserissa (7) esilämmitetään kattilaan tulevaa syöttövettä hyödyntämällä keittopinnojen jälkeistä savukaasun lämpöä. Samalla savukaasujen lämpötila laskee ja kattilan termien hyötysuhde paranee. Veden tiheyden takia virtausnopeus pidetään matalana, jotta lämmönsiirto ei ole liian tehokasta ja vesi pysyy höyrystymispisteen alapuolella. Höyrystyminen ekonomaiserissa voi aiheuttaa epästabiileja vesisyöksyjä kattilassa ja vahingoittaa kattilan toimintaa. Ekonomaiserin lämmönsiirtokerroin on välillä 500–2000 W/m²K. (Vakkilainen, 2005.)

Dolezal (22) on putkilauhdutin, josta käytetään myös nimeä pintajähdytin. Dolezal sijaitsee prosessissa ekonomaiserin jälkeen ja sillä lauhdutetaan lieriöltä tulevaa kylläistä höyryä kylmemmällä syöttövedellä. Lauhdetta käytetään tulistimien höyryn jäähdyttimillä säätämään höyryn lämpötilaa. Dolezalia käytetään yleensä, jos tehtaalta saatava syöttöveden laatu ei ole riittävä tulistimilla käytettäväksi. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008, KnowPulp, 2022.)

Lieriöön (4) virtaava syöttövesi jakaantuu tasaisesti lieriön alaosaan lähteviin laskuputkiin (11). Soodakattilat perustuvat luonnonkiertoon eli kylläisen veden ja lämmitetyn veden tiheyden eroihin. Kattilan vesikierto tapahtuu höyrylieriön kautta, josta laskuputkia pitkin raskaampi vesi painuu alas ja kevyempi vesi - höyry sekoitus nousee nousuputkien kautta takaisin lieriölle. Lieriössä vesi - höyry sekoitus erotetaan toisistaan sykloneissa painovoiman avulla, joissa vesi painuu lieriön alaosaan ja höyry nousee lieriön yläpintaan pisaranerotimien läpi tulistimille meneviin putkiin. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.) Kuvassa 12 on yksinkertaistettu kaaviokuva soodakattilan luonnonkierrosta.

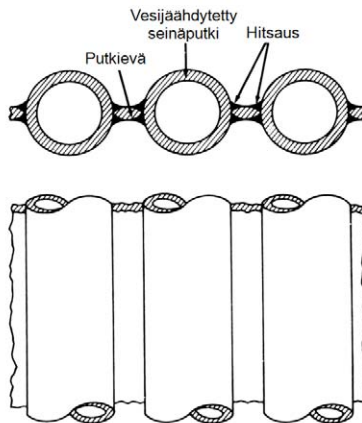


1. Vesi virtaa lieriöltä laskuputkia pitkin alas
2. Vesi ja höyry virtaa vesiseinäputkistoa pitkin ylös
3. Vesi – höyry seos virtaa nousuputkia pitkin lieriölle
4. Keittopinnalla ja verholla on erilliset lasku- ja nousuputket.

Kuva 12. Soodakattilan luonnonkierto (Vakkilainen, 2005)

Laskuputkien kautta vesi johdetaan soodakattilan lämmönsiirtopintojen jakokammioille ja niistä edelleen lämmönsiirtopinnoille, joita ovat tulipesän seinät (2) ja tulipesän verho (3) sekä keittopinta (6). Lämmönsiirtopintojen läpi nouseva vesi kerätään kattilan yläosassa oleviin kokoojakammioihin, joista vesi johdetaan nousuputkilla lieriölle. Tulipesän pohjan alapuolelle pääjakokammioon johdetaan laskuputkilla tulipesän seinille virtaava vesi. Pääjakokammioista vesi johdetaan syöttöputkilla tulipesän sivuseinille ja tulipesän pohjan putkiin. Tulipesän pohja muodostaa tulipesän etu- ja takaseinät. Kuvassa 13 on esitetty tulipesän putkiseinärakenne, ja tulipesän pohjan rakenne.

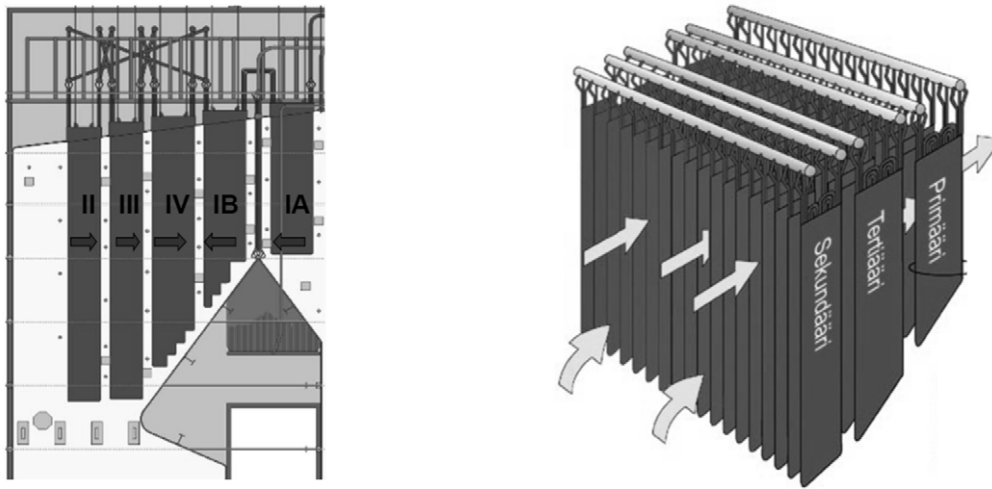
Keittopinnalla ja tulipesän seinillä kylläinen vesi höyrystyy kylläiseksi höyryksi. Suurin osa höyrystymisestä tapahtuu tulipesän seinillä nokan (8) alapuolella. Kattilan sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin on korkea ja asettuu välille 30000–120000 W/m²K. Luonnonkierron takia kattilan keittopinnoilla ei tapahdu painehäviöitä. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)



Kuva 13. Vas. Tulipesän eväputkiseinä (Smook, 2016), Oik. Tulipesän pohja (Andritz, 2022)

Tulipesän verhon tarkoitus on vähentää tulipesän lämpösäteilyä tulistimille ja mustalipeäpisaroiden kulkeutumista tulistinpinnoille. Tulistinputkien liian korkea lämpötila nopeuttaa materiaalin korroosiota, ja mustalipeäpisarat likaavat sekä tukkivat lämpöpintoja huonontuen lämmönsiirtoa. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)

Tulipesän seiniltä, verholta ja keittopinnalta tuleva höyry erotetaan lieriössä ja johdetaan tulistimille (5). Höyryn lämpötilan nostamista kylläisen tilan yläpuolelle kutsutaan tulistamiseksi. Höyryn tulistaminen tapahtuu vaiheissa ja nykyisin tulistimia on yleensä 4–6 kpl, jotka on jaettu 2–4 tulistusvaiheeseen (kuva 14). Höyryn loppulämpötilaa hallitaan tulistinvaiheiden välissä ruiskuttamalla dolezalista otettua vettä tai syöttövettä höyryn sekaan. Syöttöveden laatuvaatimukset ovat tulistimien ruiskutusvetenä korkeat, koska sen on oltava happivapaata ja veden vierasainepitoisuuden tulee olla vähintään sama kuin kylläisellä höyryllä eikä seassa saa olla haihtumattomia annostelukemikaaleja. Tulistimissa höyryn tiheys on pieni, jolloin lämmönsiirtokerroin on alhainen. Lämmönsiirron tehostamiseksi höyryn nopeutta täytyy nostaa, mikä lisää tulistimissa painehäviöitä. Tulistimien painehäviöt ovat noin 10 % päähöyryn paineesta ja lämmönsiirtokerroin on 1000–5000 W/m²K. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)



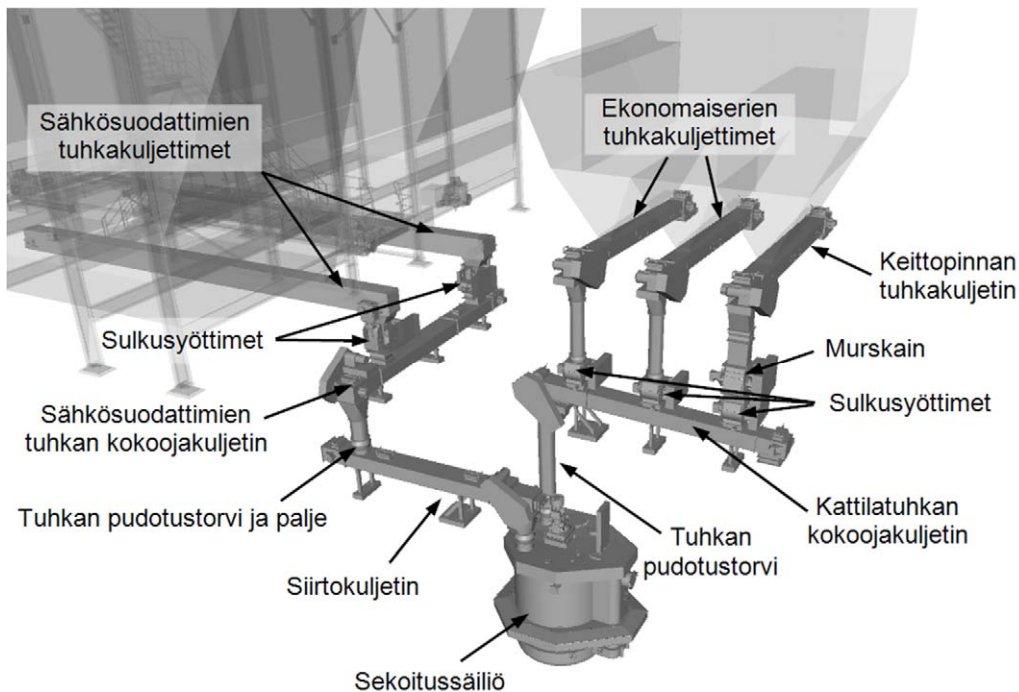
Kuva 14. Vas. Tulistinvaiheet 1–4. Kuumin tulistinvaihe IV on nokan takana tulipesän säteilyltä suojassa (Andritz, 2022), Oik. Savukaasun virtaus tulistinelementtien lävitse (Know-Pulp, 2022)

Tulistimilla höyry tulistetaan turbiinille sopivaan paineeseen ja lämpötilaan. Höyry virtaa viimeisen tulistimen kokoojakammioilta pähöyryputkea pitkin turbiinille. Höyrin virtausta säädetään pähöyryputkessa olevalla säätöventtiilillä. Pähöyryputkeen on sijoitettu kattilan varoventtiilit estämään liian korkea kattilan paine. (Alapuranen, 2008.)

4.2.2 Polttolipeäjärjestelmä ja tuhkan käsittely

Savukaasujen mukana tulipesästä kulkeutuva lentotuhka kerätään tuhkakuljettimilla (19) keittopinnan sekä ekonomaiserin tuhkasuppiloista ja siirretään sekoitussäiliöön (20) sekoitettavaksi vahvamustalipeän kanssa. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.) Sähkösuotimessa (17) lentotuhka erotetaan savukaasuista ionisoidun sähkökentän avulla. Negatiivisesti varautunut tuhka tarttuu positiivisesti varautuneisiin elektrodilevyihin, josta tuhka ravistellaan suodinkammion pohjalle. Pohjalta tuhka kerätään ja siirretään sulkusyöttimen kautta tuhkakuljettimilla sekoitussäiliölle. Lentotuhka koostuu pääosin natrium- ja kaliumsulfaa-tista (Na_2SO_4 , K_2SO_4) sekä natriumkarbonaatista (Na_2CO_3), ja ovat talteenoton kannalta arvokkaita uudelleen käytettäviä kemikaaleja. (Alapuranen, 2008; Huhtinen & Hotta, 2008.) Kuvassa 15 on esitetty polttolipeä- ja tuhka-järjestelmän päälaitteet.

Sekoitussäiliö on varustettu potkurityyppisellä sekoittimella, joka sekoittaa tuhkakuljettimilla tuodun lentotuhkan vahvamustalipeän sekaan. Lentotuhka syötetään pudotustorvien kautta sekoittimen kannesta sisään. Vahvamustalipeä ruiskutetaan säiliön sisään suutintukin kautta, jolloin lipeä kastelee säiliöön putoavan tuhkan. Sekoitussäiliössä on sihdillä varustettu imukammio, josta mustalipeän siirtopumput imevät vahvamustalipeän pumpattavaksi takaisin haihduttamolle. Haihduttamalla vahvamustalipeälle tehdään loppuväkevöinti polttolipeän kuiva-ainepitoisuuteen. (Vakkilainen, 2005; KnowPulp, 2022.) Kuvassa 16 on esitetty sekoitussäiliön toimintaperiaate.

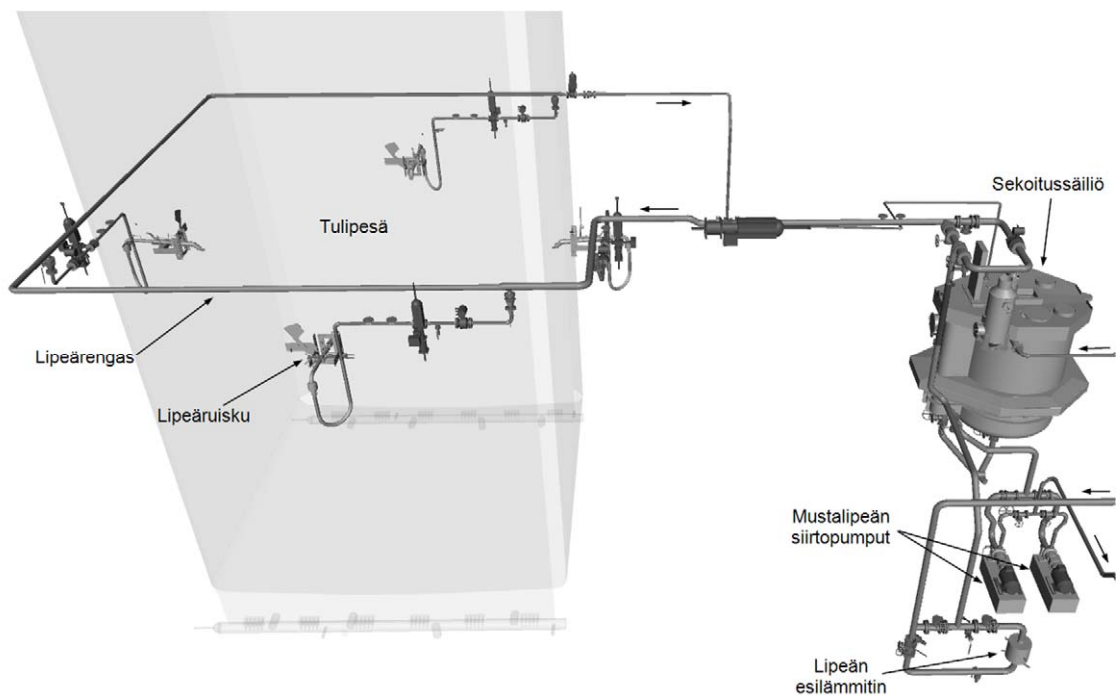


Kuva 15. Soodakattilalaitoksen tuhkajärjestelmän päälaitteet (Andritz)



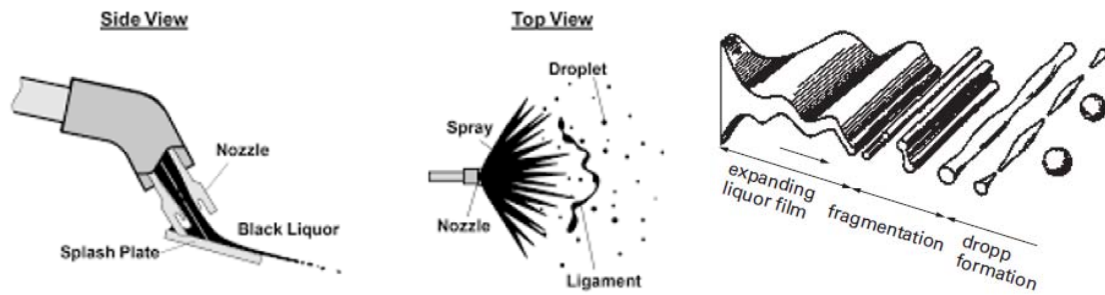
Kuva 16. Sekoitussäiliön toimintaperiaate (KnowPulp, 2022)

Soodakattilaan syötettävä polttoliipeä pumpataan haihduttamon polttoliipeäsäiliöltä putkistoa pitkin suoraan soodakattilan lipeärenkaalle. Lipeärenkas on kattilan kiertävä pääjakoputki, josta otetaan putkihaara jokaiselle lipeäruiskulle. Lipeärenkas mahdollistaa tasaisen virtauksen kaikille ruiskuille. Lipeäruiskut sijoitetaan symmetrisesti kaikille tulipesän seinille, jotta lipeäpisarat saadaan jakaantumaan tasaisesti koko tulipesän pohjan pinta-alalle. (Vakkilainen, 2005; KnowPulp, 2022.) Kuvassa 17 on esitetty polttoliipeäjärjestelmän tyyppiratkaisu pienestä soodakattilasta, jossa on yksi lipeäruisku jokaisella tulipesän seinällä.



Kuva 17. Polttoliipeäjärjestelmän putkisto ja pääosat (Andritz)

Polttoliipeän lämpötilan hallitsemiseksi lipeää voidaan lämmittää höyryn avulla suoran kontaktin esilämmittimellä tai epäsuorasti lämmönsiirtimellä. Lipeä ruiskutetaan tulipesään lipeäruiskuilla, joiden tehtävänä on saada lipeä pisaroitumaan mahdollisimman samankokoisiksi pisaroiksi. (Vakkilainen, 2005; KnowPulp, 2022.) Lipeäruiskujen suuttimia on useita eri tyyppisiä, joista paljon käytetty lusikkamallinen on esitetty kuvassa 18. Suuttimen päässä oleva kiinteä roiskelevy ”lusikka” tuottaa leveän viuhkamaisen ja levymäisen nestekalvon. Mustaliipeäkalvo laajenee suuttimen päästä, kunnes pintajännitys ei pysty pitämään kalvoa yhtenäisenä ja se hajoaa pisaroiksi. (Adams, 1997; Theliander, 2009.)



Kuva 18. Lusikkamallinen mustalipeäruiskun suutin (Andritz, 2022) ja pisaranmuodostus (Theliander, 2009)

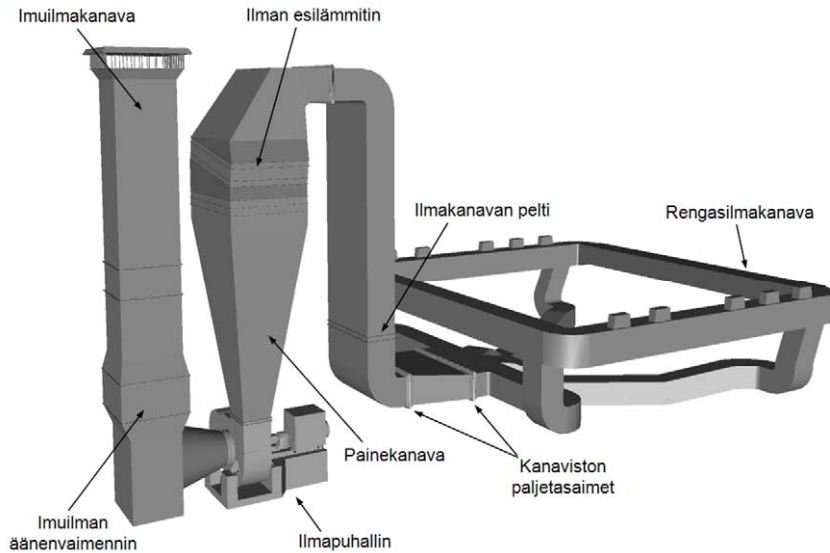
4.2.3 Ilmajärjestelmä

Mustalipeän palaminen tulipesässä vaatii happea. Ilmajärjestelmä syöttää tulipesään palamisen tarvitseman paloilman ja ilmajärjestelmän avulla hallitaan tulipesän sisäisiä ilmavirtauksia (Theliander, 2009). Paloilma tuodaan ilmakehän avulla (14) tulipesän seinien ulkopuolella oleviin ilmakaappeihin, josta ilma johdetaan ilmarekisterien ja seinän ilma-aukkojen kautta tulipesään. Soodakattilan ilmajärjestelmän vaatimuksena on tasainen ilmanjako tulipesään ja mahdollisimman hyvä ilman sekoittuminen tulipesän sisässä. Ilmaa syötetään tulipesään horisontaalisesti eri korkeudella olevilta tasoilta (1 & 2), jotta palaminen olisi mahdollisimman täydellistä ja päästöt vähäiset. (Vakkilainen, 2005; Adams, 1997.)

Paloilmajärjestelmään kuuluu soodakattiloissa yleensä myös laimeiden hajukaasujen eli DNCG:n polttaminen. Laimeat hajukaasut kerätään sellutehtaalta ja tuodaan soodakattilalle poltettavaksi. Hajukaasut esilämmitetään soodakattilalla kuivalle alueelle, jottei kosteus lauhdu kanavistoon ja lauhdevesi ei pääse tulipesään. Laimeat hajukaasut sekoitetaan ulkoa otettuun puhtaan paloilman sekaan ennen tulipesään syöttämistä. Kaasulla voidaan korvata paloilmaa, koska kaasun happipitoisuus on noin 18–20 %. (Knowpulp, 2022; Alapuranen, 2008.)

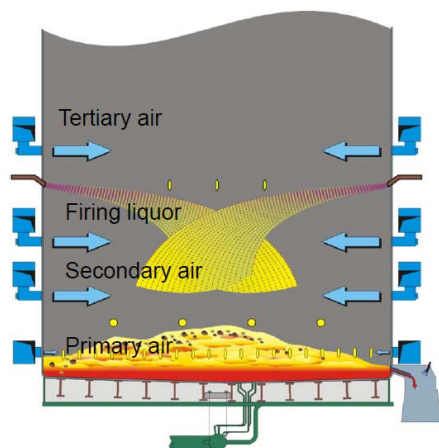
Ilmajärjestelmän tärkeimmät osat ovat ilmakehän avulla (14) ja ilmapuhaltimet (15). Ilmakehän avulla koostuu imuilma- ja painekanavista, ilman esilämmittimistä, ilmamäärän venturimitauksista sekä säätö- ja sulkupelleistä. Kanavisto on varustettu myös lämpötila ja painemittauksilla. Ilmavirtausta tulipesään säädetään tulipesän ilma-aukkojen säätöpelleillä ja kanavistossa puhaltimien läpi virtaavaa ilmaa kanavien säätöpelleillä sekä puhaltimen pyörimisnopeutta säätämällä. Palamisilmaa lämmitetään kanavistossa olevilla ilman esilämmittimillä

joko veden tai höyryn avulla. Lämmin ilma nostaa tulipesän lämpöä, jolloin höyryä voidaan tuottaa pienemmällä lämmönsiirtopintojen pinta-alalla. Toisin sanoen soodakattilan termien hyötysuhde paranee. (Vakkilainen, 2005.) Kuvassa 19 on esitetty tyypillinen primääri-ilmakanaviston rakenne ja osat.



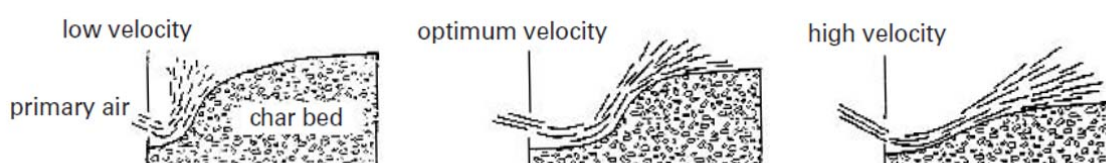
Kuva 19. Ilmajärjestelmän pääosat (Andritz)

Imu ilma imetään joko kattilarakennuksen ulkopuolelta tai sisäpuolelta rakennuksen yläosasta riippuen soodakattilan maantieteellisestä sijainnista. Lämpimissä maissa imu ilma imetään pääasiassa ulkopuolelta. Ilman syöttötasot on jaettu primääri-, sekundääri ja tertiääri-ilma järjestelmiin, joilla jokaisella on omat kanavistot ja puhaltimet. (Alapuranen, 2008; Vakkilainen, 2005.) Tulipesän ilmasyöttötasot on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Tulipesän ilmasyöttötasot (Andritz, 2022)

Primääri-ilmajärjestelmä muodostaa tulipesän alimman ilmatason. Ilmarekisterit on symmetrisesti jaoteltu kaikille tulipesän seinille keon palamisen hallinnan kannalta. Kuvassa 22 on esitetty primääri-ilman ilmanjako tulipesässä. Primääri-ilmalla säädetään keon laitojen palamisnopeutta, jotta sulakeko ei kasva liian lähellä tulipesän seiniä eikä mahdollisesti valu ilma-aukkojen kautta kanavistoon. Ilman paineella voidaan hallita keon muotoa (kuva 21), mutta liika ilma jäädyttää kekoa ja heikentää reduktioastetta. Tulipesän alaosassa on tarkoitus olla happivajaa vyöhyke, jolloin primääri-ilmalla syötetään vain osa lipeän palamiseen tarvittavasta ilmasta. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008; Adams, 1997.)

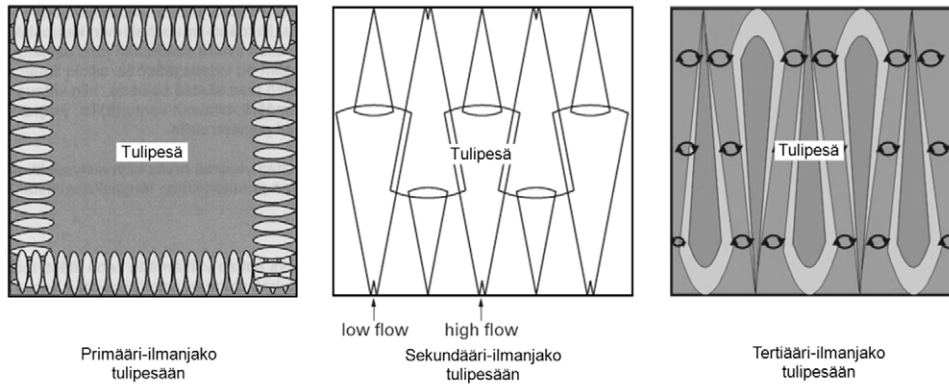


Kuva 21. Primääri-ilmavirtauksen vaikutus keon muotoon (Theliander, 2009)

Sekundääri-ilmajärjestelmässä on tyypillisesti kaksi tasoa ja ne sijaitsevat lipeäruiskujen alapuolella. Nykyään tyypillisesti sekundääri-ilma syötetään tulipesään kahdelta seinältä ja mahdollisimman kattavasti tulipesän horisontaalisella tasolla. Kuvassa 22 on esitetty esimerkki sekundääri-ilmanjaosta, jossa ilma-aukot ovat symmetrisesti vastakkain ja ilman sekoittuminen saavutetaan vastakkaisten ilmavirtausten paine-erolla. Tulipesään syötettävän paloilmän säätäminen tehdään pääasiassa sekundääri-ilmajärjestelmällä. Sekundääri-ilmalla pidetään sulakeon yläpuolinen lämpötila sopivana, jotta saavutetaan hyvä reduktioaste ja vähän päästöjä. Ilmanpaineella säädetään sulakeon korkeutta ja lipeän palamisen voimakkuutta. Sekundääri-ilman tulee sekoittua tulipesän keskellä mahdollisimman hyvin sulakeosta nouseviin kaasuihin, jotta palaminen on tehokasta eivätkä palamattomat kaasut pääse virtaamaan kattilan alaosasta ylös. Palamattomien savukaasujen mukana palaminen voi siirtyä kattilassa ylöspäin tai kokonaan virrata kattilan ulkopuolelle, lisäksi se voi lisätä lipeäpisaroiden aiheuttamaa kattilan likaantumista. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)

Tertiääri-ilmataso sijaitsee lipeäruiskujen yläpuolella. Ilma-aukot ovat tyypillisesti tulipesän etu- ja takaseinällä ja yleensä ne ovat limitetty (kuva 22), jolla saavutetaan jokaisen ilma-aukon virtauksen tunkeutuminen reilusti tulipesän puolivälin yli. Silloin ilma-aukkojen lukumäärä etu- ja takaseinällä ei ole yleensä sama. Tertiääri-ilmajärjestelmän tarkoituksena on

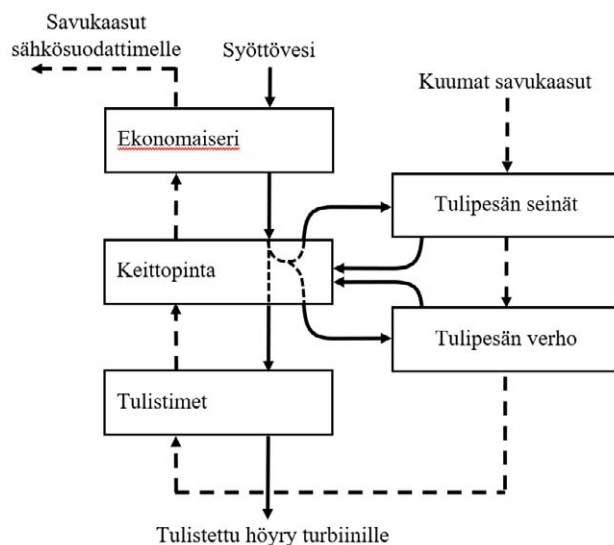
tulipesän alaosasta nousevien kaasujen palamisen loppuun saattaminen ja savukaasujen happipitoisuuden säätäminen. Tertiääri-ilmalla tasoitetaan ilman virtausta ennen tulipesän yläosaa ja hallitaan kattilan nokan alueen lämpötilaa (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008; Knowpulp, 2022.)



Kuva 22. Primääri-, sekundaari- ja tertiääri-ilmanjako tulipesään (Andritz, 2022; Theliander, 2009; Vakkilainen, 2005)

4.2.4 Savukaasujärjestelmä

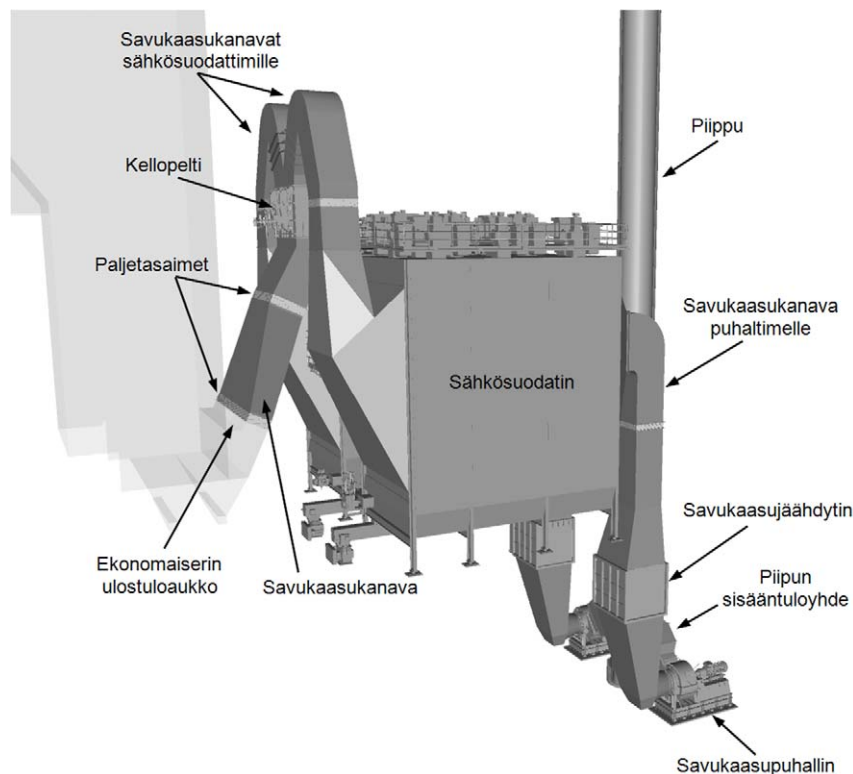
Savukaasujärjestelmän tehtävä on kuljettaa tulipesässä muodostuneet savukaasut kattilan lämmönsiirtopintojen kautta turvallisesti kattilasta pois piippuun ja ulkoilmaan (kuva 23). Savukaasujärjestelmän pääosat ovat savukaasukanavisto (16), sähkösuodattimet (17), savukaasujäähdyttimet ja savukaasupuhaltimet (18). (Vakkilainen, 2005.)



Kuva 23. Yksinkertaistettu savukaasujen ja vesi/höyry kierron periaate (Smook, 2016)

Savukaasut virtaavat ekonomaiserin ulostuloaukon jälkeen savukaasukanavistoa pitkin kellopeltien läpi sähkösuodattimiin lentotuhkan erottamista varten. Sähkösuodattimilla vähennetään savukaasujen mukana ulkoilmaan kulkeutuvia partikkelipäästöjä. Lentotuhkan erotustehokkuus on nykyisin noin 98–99,8 % (KnowPulp, 2022). Kellopeltien avulla savukaasuvirta voidaan sulkea sähkösuodattimelle, mikä mahdollistaa kattilan käynnissä ollessa sähkösuodattimen alasajon vikatilanteen tai huoltotoimenpiteiden takia. Savukaasuvirta ohjautuu silloin muihin käynnissä oleviin sähkösuodattimiin. (KnowPulp, 2022.)

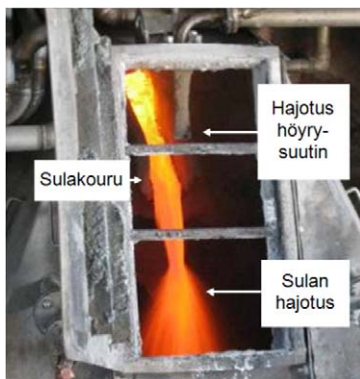
Sähkösuodattimen jälkeen savukaasujen lämpöenergiaa otetaan talteen savukaasujäähdyttimillä veteen. Savukaasujäähdyttimiltä saatua lämmintä vettä voidaan käyttää paloilman esilämmittämiseen. (Alapuranen, 2008.) Piipun luonnollinen veto ei riitä poistamaan savukaasuja tulipesästä asti, joten tarvitaan imuvetoiset puhaltimet. Savukaasupuhaltimilla hallitaan koko savukaasukanaviston ja tulipesän vetoa. Tulipesää pidetään lipeäruiskutasolla alipaineisena suhteessa kattilarakennuksessa vallitsevaan ilman paineeseen. (Vakkilainen, 2005.) Alipaine estää savun, tuhkan ja liekkien sekä lipeäruiskeiden purkautumisen tulipesästä kattilarakennukseen (Adams, 1997). Kuvassa 24 on esitetty savukaasujärjestelmän komponentit ja tyypillinen rakenne.



Kuva 24. Savukaasujärjestelmän komponentit (Andritz)

4.2.5 Viherlipeäjärjestelmä

Soodakattilan tulipesän pohjalle muodostuu epäorgaanisista suoloista ja osittain palaneesta mustalipeän kuiva-aineksesta keko. Suolat ovat osittain sulassa ja jähmettyneessä olotilassa. Sulaa muodostuu, kun kaksin hiili palaa tai kaasuuntuu hiilimonoksidiksi tai hiilidioksidiksi. Keossa muodostunut 800–850 °C asteinen sula painuu tulipesän pohjalle painovoiman vaikutuksesta ja siitä edelleen valuu vesijäähdytettyjä sulakouruja (9) pitkin liuotinsäiliöön (10). Valuva yhtenäinen sulavirta hajotetaan pisaroiksi välipainehöyryllä sulakourun jälkeen ennen tippumistaan liuotinsäiliöön (kuva 25). Sulan hajottaminen vähentää räjähtelyä ja pauketta, mikä syntyy, kun sula tunkeutuu liuotinsäiliön nesteeseen. (Grace, 2004; Vakkilainen, 2005.)

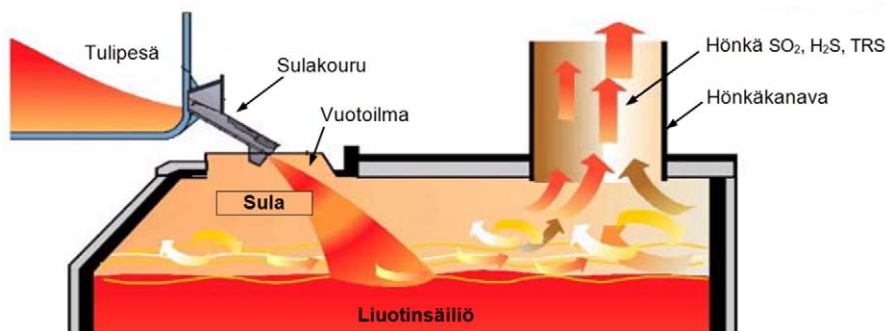


Kuva 25. Sulan hajotus ennen liuotinsäiliötä (Taranenko et al., 2013)

Liuotinsäiliöön pumpataan kaustistamolta heikkovalkolipeää, johon sula sekoittuu. Sekoituneesta sulasta ja heikkovalkolipeästä muodostuu viherlipeää. Sulan virtausta tulipesästä on vaikea hallita, joten viherlipeän tiheyttä ja alkalien määrää säädetään pumppaamalla liuotinsäiliöön heikkovalkolipeää. (Theliander, 2009; Vakkilainen, 2005.)

Soodakattilan liuotinsäiliö kuuluu osana valkolipeälaitoksen prosessia. Liuotinsäiliö on käytännössä sekoitussäiliö ja rakenteeltaan yleensä tasapohjainen ja -kattoinen terässäiliö. Säiliön seinissä on betonivuoraus ja katon päällä betonitaso eristämässä lämpöä sekä ääntä. Betoni vaimentaa myös liuotinsäiliön tärähtelyjä ja värinää. Liuotinsäiliössä on vaaka-asentoiset sekoittimet, millä tehostetaan sulan sekoittumista heikkovalkolipeään ja estetään epäorgaanisen suolan sakkaantumista säiliön pohjalle. (KnowPulp, 2022; Theliander, 2009.)

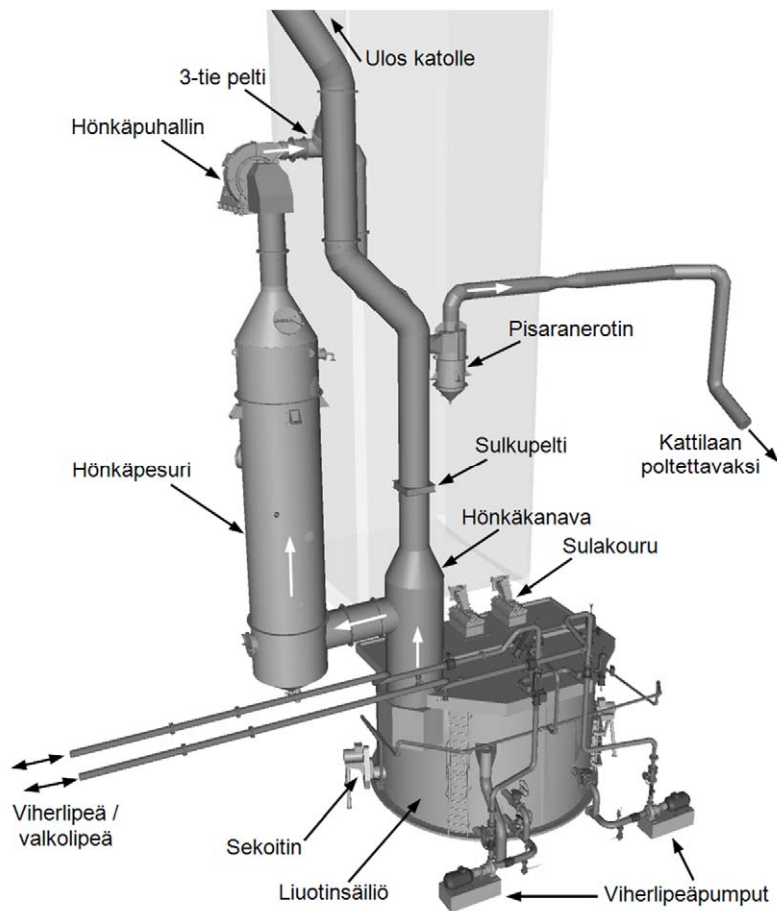
Sulan sisältämä lämpö aiheuttaa liuotinsäiliössä veden höyrystymistä (kuva 26). Säiliössä muodostuvasta höyrystä käytetään usein termiä hönkä. Hönkä sisältää rikki- ja rikkivetyyhdisteitä sekä viherlipeäpisoita, jotka kuivuessaan muuttuvat suolatuhkaksi. Hönkäkaasut pestään hönkäpesurissa tuhkasta ja rikkijyhdisteistä suihkuttamalla alkaaliliuosta hönkävirtaan. Pesuliuosta kierrätetään pumpuilla lämmönsiirtimen läpi, jolla otetaan höngän sisältämä lämpöenergia talteen. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)



Kuva 26. Sulan valuminen ja höngän muodostuminen (Andritz, 2022)

Hönkä imetään hönkäpuhaltimella liuotinsäiliöstä hönkäkanavaa pitkin hönkäpesuriin puhdistettavaksi, josta se johdetaan pääasiassa soodakattilan paloilmajärjestelmän kautta kattilaan poltettavaksi. Paloilmaan johdettavasta höngästä erotetaan pisarat pisaranerotuksessa, jotta kattilaan ei pääse kosteutta. Kosteus jäädyttää savukaasuja ja lisää savukaasun tilavuutta. Hönkä voidaan myös johtaa tarvittaessa hönkäpesurin läpi, tai ohi ulkoilmaan. Hönkäpuhallin pitää liuotinsäiliön alipaineisena, jotta kaasuja ei pääse virtamaan liuotinsäiliön katossa olevien sulakourauukkojen kautta kattilarakennuksen sisälle. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.) Viherlipeä- ja hönkäjärjestelmän pääosat on esitetty kuvassa 27.

Soodakattilalla on kaksi viherlipeäpumppua, joista molemmista lähtee siirtolinja kaustistamolalle. Toista putkilinjaa pitkin pumpataan viherlipeä liuotinsäiliöstä kaustistamolalle ja toisella valkolipeä kaustistamolalta liuotinsäiliöön. Viherlipeä sakkaantuu ja voi tukkia putkilinjan, jonka takia putkilinjoja ja vastaavia pumppuja vaihdetaan viherlipeän ja valkolipeän välillä päivittäin. Molemmat pumput siis pumppaavat joko viherlipeää tai valkolipeää. (KnowPulp, 2022; Vakkilainen, 2005.)



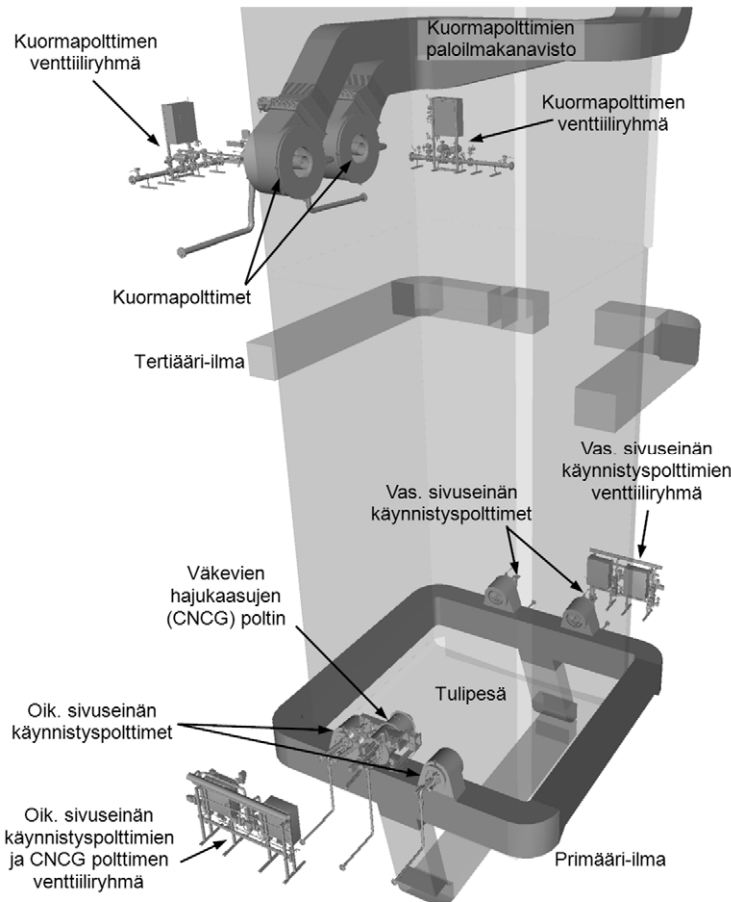
Kuva 27. Viherlipeä- ja hölkäjärjestelmän pääosat (Andritz)

4.2.6 Apupolttoainejärjestelmät ja väkevät hajukaasut

Soodakattilassa käytetään käynnistys-, kuorma- ja hajukaasupolttimia. Polttimissa käytettäviä apupolttoaineita ovat maakaasu, raskas ja kevyt polttoöljy sekä väkevä hajukaasu (CNCG). Apupolttoainejärjestelmät sisältävät kattilan seinissä olevat polttimet, poltinkohdaiset venttiiliryhmät, putkistot ja esilämmittimet sekä pumppausaseman. (KnowPulp, 2022.) Kuvassa 28 on esitetty soodakattilan polttimet ja niiden venttiiliryhmät.

Polttoöljy hajotetaan polttimissa, jotta saavutetaan mahdollisimman täydellinen polttoaineen palaminen. Hajotusaineena käytetään raskaalla polttoöljyllä välipainehöyryä ja kevyellä polttoöljyllä paineilmaa. Polttimet sytytetään sytytyskaasulla ja polttimet on varustettu liekkivahdeilla, jotka sammuttavat öljyn syötön, jos liekki sammuu. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.) Raskas polttoöljy esilämmitetään höyrylämmönvaihtimella ja sitä kierrätetään jatkuvasti öljypumppujen kautta, vaikka poltto ei olisi päällä, jotta polttimet saadaan

nopeasti käyntiin. Kevyt polttoöljy on valmis polttoa varten ja sitä ei tarvitse esilämmittää. (Alapuranen, 2008.)

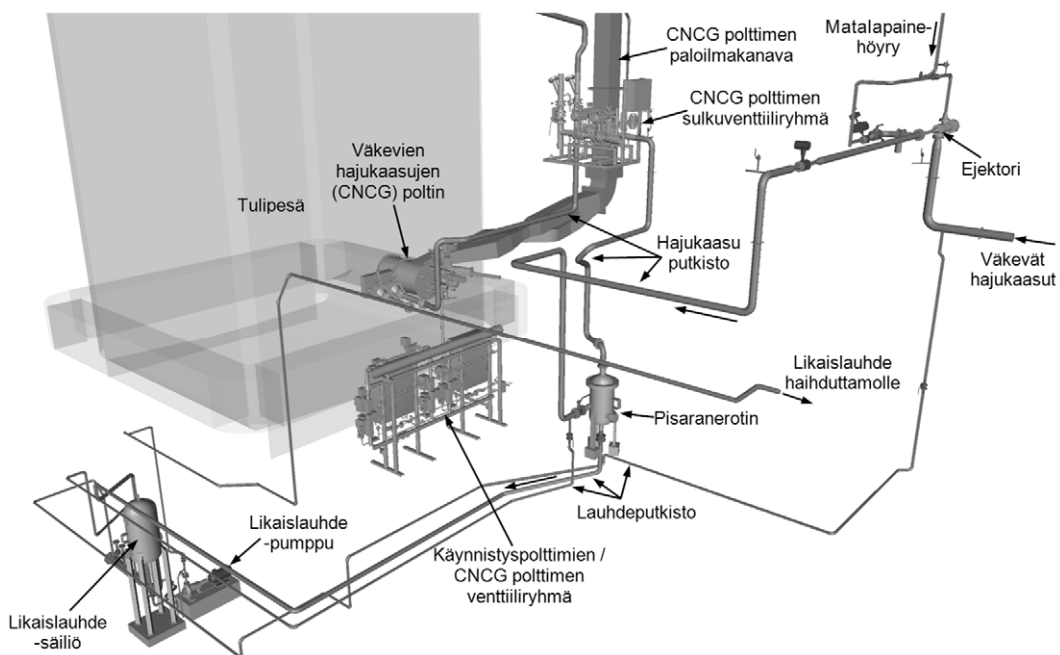


Kuva 28. Soodakattilan apupolttimet (Andritz)

Käynnistyspolttimia käytetään soodakattilan käyntiajossa tai lipeäpolton tukena lämmittämään kekoa ja keon muodon hallinnassa sekä kattilan alasajossa keon loppuun poltossa. Käynnistyspolttimien palamisilma otetaan yleensä primääri-ilman rengaskanavasta. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)

Kuormapolttimia voidaan käyttää yksinään tai lipeän polton aikana höyryn tuottamiseksi. Kuormapolttimet sijoitetaan tertiääri-ilmatasolle tai sen yläpuolelle. Palamisilma voidaan ottaa sekundääri-ilmakanavasta, jos sekundääri-ilmaan ei sekoiteta laimeita hajukaasuja. Muussa tapauksessa kuormapolttimille otetaan paloilma muusta puhtaasta ilmajärjestelmästä tai omasta kuormapolttimien paloilmajärjestelmästä. (Alapuranen, 2008.)

Väkevät hajukaasut (CNCG) ovat lauhtumattomia kaasuja ja niitä syntyy massan keitossa ja haihduttamalla. Lauhtumattomat kaasut ovat rikkiyhdisteitä eli TRS yhdisteitä, ja niitä ovat rikkivety (H_2S), metyylimerkaptani (CH_3SH), dimetyylisulfidi (C_2H_6S) ja dimetyylidisulfidi ($C_2H_6S_2$). Väkevät hajukaasut haisevat ja ovat myrkyllisiä sekä erittäin räjähdysherkkiä. Sellutehtaan ympäristöpäästöjen vähentämiseksi väkevät hajukaasut kerätään ja hävitetään pääasiassa polttamalla soodakattilassa tai erillisessä hajukaasupolttimessa. (KnowPulp, 2022; Vakkilainen, 2005.) Kuvassa 29 on esitetty soodakattilan väkevien hajukaasujen järjestelmä.



Kuva 29. Väkevien hajukaasujen järjestelmä (Andritz)

Väkevät hajukaasut tuodaan putkistolla soodakattilan ejektorille, josta kaasu johdetaan matalapainehöyryn avulla pisaranerotin ja sulkuventtiiliryhmän kautta hajukaasupolttimelle. Kaasujen tulosuunnassa ennen hajukaasupoltinta käytetään liekinestintä, joka estää palon leviämisen hajukaasuputkistossa taaksepäin. CNCG järjestelmän lauhdeet johdetaan likaislauhdesäiliöön, josta edelleen lauhde pumpataan haihduttamon likaislauhdesäiliölle. Soodakattilan hajukaasupolttimella voidaan polttaa väkevien hajukaasujen lisäksi tärpättiä ja nykyään yleisesti CNCG tukipolttoaineena käytettyä metanolia. Hajukaasupoltin vaatii käynnistyspolttimien apupolttoainetta kuten maakaasun tai kevyen polttoöljyn ja sitä voidaan käyttää soodakattilan käynnistyspolttimena. (Vakkilainen, 2005; Alapuranen, 2008.)

5 Soodakattilalaitoksen suunnittelu

Suunnitteluosasto vastaa soodakattilalaitosten laitossuunnittelusta ja tekniikasta, sekä teknisten ratkaisuiden osalta toimii yhteistyössä muiden Andritzin yksiköiden, asiakkaiden ja toimittajien kanssa. Lisäksi suunnittelu tuottaa kaikki tarvittavat dokumentit hankintaan, valmistukseen ja asennukseen sekä laitoksen käyttöön liittyvät ohjeet ja manuaalit. (Räisänen, 2005.)

5.1 Myyntiprojektista toimitusprojektiksi

Soodakattilaprojektin myyntivaiheessa tehdään projektin esisuunnittelu, mikä käsittää pääasiassa prosessisuunnittelun ja kattilalaitoksen peruslayoutin. Prosessisuunnittelu tuottaa lähtötiedot muille suunnitteluosa-alueille. Sopimuksen allekirjoituksen jälkeen pidetään projektin aloituspalaveri, jossa siirretään myynnin lähtötiedot projektille. Myyntiprojekti siirtyy tällöin toimitusprojektivaiheeseen. Projektioorganisaatio jatkaa esisuunnittelun pohjalta laitoksen suunnittelua myyntisopimuksen ja sopimukseen liitettyjen asiakasstandardien mukaisesti.

5.2 Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelu käsittää Andritzin ohjeistuksen mukaisesti laitoksen laitesijoittelun (layout) lisäksi putkistosuunnittelun ja rakennustehtäväsuunnittelun (Räisänen, 2005). Laitossuunnittelun tulee huomioida kaikki mekaanisen- ja sähkösuunnittelun rajapinnat, sisältäen teräsrakenteet, perustusten lähtötiedot ja instrumentoinnin (Andritz, 2019a).

Laitossuunnittelu suunnittelee soodakattilaproessin mukaisen soodakattilalaitoksen fyysisen toteutuksen. Layout suunnittelussa tulee huomioida koko tehtaan- ja soodakattilalaitoksen tuotantoprosessi, jotta laitos saadaan sovitettua tehdasympäristöön ja siirtoputkistojen pituudet minimoitua (Räisänen, 2004). Päämääränä on toteuttaa asiakasvaatimusten ja projektia koskevien standardien mukainen toiminnallinen sekä turvallinen laitos. Toiminnallisuuden osatekijät ovat prosessin toimivuus, järjestelmien huollettavuus ja luoksepäästävyys.

Kattilalaitoksen layoutia määrittävät lisäksi Andritzin teknologiaosaston ohjeet ja perusratkaisut. Laitossuunnittelun on huomioitava myös kunkin maan palo- ja rakennuslainsäädäntö, työsuojelulainsäädäntö sekä soodakattilalaitosten turvallisuutta ja käyttövarmuutta koskevat kansalliset suositukset.

Toimitusprojektin laitoissuunnittelun lähtötietoja:

- Projektin sopimus
- Asiakkaan standardit
- Myyntivaiheen layout piirustukset
- PI-kaaviot
- Putkilinjaluetelo
- Laiteluettelo
- Laitteiden ja sähkömoottorien mittatiedot
- Tehdas-layout piirustukset (tehtaan origo ja soodakattilan origo tehtaalla)
- Tehtaan putkistojen, putkisiltojen piirustukset tai 3D-mallit
- Arkkitehti / rakennuspiirustukset

Andritzin soodakattilalaitos suunnitellaan 3D-mallissa. 3D-laitossuunnittelutyökaluna käytetään Aveva E3D Design:a. Laitoksen 3D-mallia hallinnoi laitoissuunnittelu, mutta samaan 3D-malliin suunnittelevat kaikki suunnitteluosa-alueet kuten putkisto-, laite-, kanavisto- ja sähköautomaatiosuunnittelu. Laitossuunnittelu luo peruslayoutin, mikä toimii perustana muille suunnittelu osa-alueille. Kaikki laitoissuunnittelun 2D-layoutpiirustukset tuotetaan Aveva:n työkaluilla sekä Autodeskin Autocad:lla. Laitosmallin katselmoinnit ja törmäystarkastelut tehdään Autodeskin Navisworks 3D-työkalulla.

5.3 Laitossuunnittelun rajapinnat

Laitossuunnittelu toimii yhteistyössä asiakkaan ja projektin sisällä eri osastojen kanssa. Osastoilla tarkoitetaan mm. projektin johtoa, hankintaa, teknologiaa, laatua, asennusta, laivausta ja suunnittelutoimintoja. Laitossuunnittelu vastaanottaa lähtötietoja ja tuottaa tietoa jokaiselle osastolle eri suunnitteluvaiheissa. Tiedon siirtyminen on jatkuvaa ja se tarkentuu suunnittelun ja hankinnan edetessä.

6 Yleiset käytettävyys- ja huoltovaatimukset

Soodakattilan peruslayout tehdään myyntivaiheessa, jolloin pääasiassa määritetään kattilan sijoitus tontilla, kattilarakennuksen mitat sekä päälaitteiden paikat ja putkisillan sekä piipun sijainti. Laitoksen konsepti ja perusrakenne on sidottu sopimukseen myynnin layoutpiirustuksilla. Konseptiin sisältyy tietyt oletamat ja ratkaisut esimerkiksi huollettavuuden ja käytettävyyden osalta, joita on myöhemmin projektissa hyvin vaikea muuttaa. Huollettavuuden tarkastelu antaa hyvät lähtökohdat ja perusteet myös myyntivaiheen layoutsuunnitteluun. Toimitusprojektissa laitesijoitussuunnittelu tehdään projektin toimituslaajuuden mukaan kaikille järjestelmille ja laitteille sillä tarkkuudella, kuin se fyysisesti tullaan rakentamaan.

Pääpaino laitossuunnittelussa prosessivaatimusten ja taloudellisen suunnittelun lisäksi on käytettävyyden huomiointi. Käytettävyydellä tarkoitetaan tässä luoksepäästävyyttä ja helpokäyttöisyyttä, joka on huollettavuuden osatekijä, eikä teknistä toimivuusastetta. Huollettavuuteen liittyy vaihtotöiden helppous eli pääsy vaihdettavalle komponentille, komponenttien irrottaminen, hoitotasolla huomioidut huolto- ja laskutilat sekä taakkojen nostaminen ja siirtäminen. Hyvä käytettävyys ja huollettavuus vaatii usein tilaa, joka tuottaa kustannuksia hoitotasoneliöiden ja teräsrakenteen kautta. Taloudellinen suunnittelu ja käytettävyys eivät aina kohtaa, varsinkin jos käytettävyyden ongelmakohdat ratkaistaan vasta käyttöönotossa tai takuuajana. Täydellistä soodakattilalayoutia on huollettavuuden ja käytettävyyden näkökulmasta hyvin haastavaa tehdä, koska tontin järjestelyt, rakennuksen sisämitat ja loppuvaiheessa budjetti rajoittavat ratkaisuvaihtoehtoja. Luoksepäästävyuden ja huollettavuuden vaatimukset voidaan kuitenkin pääosin täyttää, kun ne otetaan tarkasteluun jo suunnitteluvaiheessa.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään huoltojen kannalta oleellisia laitossuunnittelun perussääntöjä ja huomioitavia asioita tilojen käytössä. Aihepiirit sisältävät myös 3D-mallin hyödyntämistä kokonaissuunnittelun hallinnassa ja suunnittelun tarkasteluissa.

6.1 Luoksepäästävyys

Soodakattilan käynnistyksen, ajon ja alasajon aikainen laitteiden käyttäminen sekä tarkastus- ja huoltokohteet vaativat hyvän luoksepäästävyuden. Tämä tarkoittaa kattilan käyttäjien ja huoltohenkilöstön pääsyä vapaita kulkuväyliä pitkin suoraan kohteelle ilman erityisjärjestelyjä. Luoksepäästävyys on yksi huollettavuuden ja turvallisuuden osatekijä, koska hyvin järjestetyt kulkuväylät toimivat huoltoreitteinä ja hätätilanteessa evakuointireitteinä. Luoksepäästävyys, huollettavuus ja turvallisuus liittyvät näin ollen kattilarakennuksen layoutissa kiinteästi toisiinsa. Kulkuväylien ja pääsyteiden vähimmäisvaatimuksina on työssä käytetty harmonisoituja eurooppalaisia EN standardeja.

6.1.1 Hoitotasot ja kulkuväylät

Kattilarakennuksen pohjatason lisäksi on kattilan painerungon ja ekonomaiserien ympärillä eri korkotasoilla olevia hoitotasoja, joiden lukumäärä riippuu kattilarakennuksen korkeudesta. Nostetuille hoitotasolle sijoitetaan kaikki laitteet, mitkä eivät ole sijoitettu lattiatasolle. Käytön ja kunnossapidon helpottamiseksi tulee järjestää toimilaitteille ja koneen osille pääsy suoraan lattialta tai hoitotasolta, aina kun mahdollista (SFS 14122-2, 2016).

Kulkuväylien suunnittelussa huomioitavat eurooppalaiset yleisstandardit:

- SFS-EN ISO 14122-1 Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset
- SFS-EN ISO 14122-2 Työskentelytasot ja kulkutiet

Kattilalaitoksen hoitotasojen kulkuväylien tulee täyttää vähintään SFS-EN ISO 14122-2 mukaiset vaatimukset. Vapaa kulkukorkeus on oltava 2100 mm ja vapaa kulkuleveys 800 mm. Poikkeuksena voidaan sallia kulkuväylän leveydeksi 600 mm ja kulkukorkeudeksi 1900 mm jos väylää käytetään harvoin tai kavennus on lyhyellä matkalla, mm. yksittäisen laitteen kohdalla. Pääkulkuväylien leveys on oltava 1000 mm koska väylällä voi kulkea useita henkilöitä yhtä aikaa. Tasot, joiden korkeus on vähintään 500 mm täytyy varustaa kaiteilla, jotta voidaan estää mahdollinen putoaminen. (SFS 14122-2, 2016.) Pääkulkuväylien leveyttä määrittää myös toimitusprojektien kansalliset määräykset, joissa vapaan leveyden vähimmäismitan on täytettävä hätäpoistumisvaatimukset.

Vaakasuurat tasot täytyvät olla yhtenäiset, jotta estetään kompastumisen vaara. Kahden eri korkeudella olevan tason välinen kulku täytyy varustaa portailla tai luiskalla. Jos portaita ei voida käyttää, voi kahden tason välinen korkeusero olla yhden askelman verran 150–300 mm (SFS 14122-2, 2016). Luiskaa voidaan käyttää, jos kulkuväylällä täytyy voida kuljettaa esimerkiksi käsivoimilla liikutettavia pumppukärriä tai yksittäisten askelmien käyttö ei ole sallittua hätäpoistumisvaatimusten takia. Näissä tapauksissa luiskan maksimi nousukulma saa olla 3° (SFS 14122-1, 2016).

Hoitotasojen välistä korkeuseroa määrittää kulkuväylän korkeusvaatimus ja putkiston sekä kaapelihyllyjen vaatima tila. Tästä syystä hoitotasojen välinen suositeltu vähimmäiskorkeusero on 2700 mm. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää myös 2500 mm korkeuseroa, kunhan kulkuväylän korkeusvaatimus täyttyy. (Andritz, 2011a). Hoitotasojen tasokorkeudet tulee määrittää aina tasaluvuille mieluiten 100 mm korkoporrastuksina. Pienempien kiinteiden aputasojen osalta ja ahtaissa tiloissa voidaan käyttää myös 50 mm tasalukuja.

Kulkuväylillä on huomioitava rakennusten seinälinjoilla olevat ovet. Toimitusprojektin ovet on listattu rakennuskohtaisesti sopimuksen teknisessä erittelyssä. Laitosmalliin ja layout-piirustuksiin tulee lisätä kaikki projektin toimituslaajuuden ovet niin, että oven aukeamissuunta ja avautumistila ovat mallissa nähtävissä. Tällä voidaan tarkastella ovien avautumisen tarvitsemat tilat varsinkin ahtaissa paikoissa kuten käytävien varsilla ja turvalliset ovien avautumissuunnat.

6.1.2 Portaat ja tikkaat

Laitteiden, toimilaitteiden, mittausinstrumenttien tai miesluukkujen luoksepäästävyysvarmistamiseksi on usein lisättävä hoitotasojen ylä- tai alapuolelle aputasoja, joille kulku järjestetään portailla tai tikkailla. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää pelkkiä tikkaita tarkastuskohteelle pääsemiseksi esimerkiksi kanavan tai säiliön kyljessä. Silloin on huomioitava, että kohteella ei voida tehdä huoltotoimenpiteitä.

Portaiden ja tikkaiden suunnittelua määrittävät seuraavat eurooppalaiset standardit:

- SFS-EN ISO 14122-3 Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet
- SFS-EN ISO 14122-4 Kiinteät tikkaat

Porraskulkujen vähimmäisleveys suositukset ovat samat kuin kulkuväylillä, mutta vapaa kulkukorkeus on oltava 2300 mm ja vapaa kohtisuora tila on oltava vähintään 1900 mm.

Tikkaita voidaan käyttää ainoastaan siinä tapauksessa, kun erilliselle aputasolle tai huoltotasolle käynti on vain tarvittaessa eikä kiivettävä matka ole pitkä. Tikkaita ei voi käyttää kulkuteillä, mitkä on tarkoitettu loukkaantuneiden pois kuljettamista varten. (SFS 14122-1, 2016.) Jos kohteelle täytyy päästä useammin tarkastusten tai käytön takia, on taso varustettava portailla. Portaiden ja tikkaiden 3D-mallissa käytettävistä vapaan kulkutilan tilanvarauksista enemmän osiossa 6.3.2.

6.1.3 Siirrettävät huoltoaputasot

Laitoksen layoutsuunnittelun edetessä havaitaan aina yksittäisiä käyttö-, huolto- ja tarkastuskohteita, kuten venttiilit ja mittausinstrumentit, mitkä ovat prosessivaatimusten tai laitekokojen takia jouduttu sijoittamaan hoitotasojen yläpuolelle >1700 mm korkeudelle. Kohteita on tässä tapauksessa vaikea käyttää tai ei välttämättä yletä hoitotasolta ollenkaan. Hoitotasojen yläpuolella olevien kiinteiden aputasojen käyttö ei myöskään ole aina mahdollista tai järkevää kulkuväylien osittaisen estämisen tai muiden tilarajoitteiden takia. Näissä tapauksissa voidaan käyttää siirrettäviä huoltoaputasoja. Kuvassa 30 on esimerkki yleisesti käytetystä siirrettävästä huoltotasosta ja askeltasosta, mitkä ostetaan ulkopuolisilta toimittajilta.



Kuva 30. Vas. siirrettävä huoltotaso käsikaiteilla (Andritz), Oik. askeltaso (Suomi-Tikas, 2002)

Toisin kuin kiinteitä aputasoja siirrettäviä huoltotasoja voidaan helposti kuljettaa hoitotasoja pitkin eri huoltokohteille tai huoltohaalauksien aikana pois kulkuväyliltä. Siirrettävien huoltotasojen tarve tulee kartoittaa koko projektin toimituslaajuuden osalta: kuinka monta kappaletta ja kuinka korkeita tasoja tarvitaan. Yleensä huoltotasoja toimitetaan 0,5 m – 1,5 m korkeina ja tarvittaessa korkeampinakin, mutta silloin on muistettava kulkuväylien vapaa standardikorkeus 2,1 m. 2 m ja sitä korkeammat siirrettävät huoltotasot ovat hankalia käyttää ja siirtää, koska huoltotasojen kaiteet törmäävät helposti ylemmän tason alapinnassa olevaan putkistoon ja kaapelihyllyihin. Vaikka kaiteet voidaan irrottaa huoltotasosta siirron ajaksi tasoa ei saa kuitenkaan käyttää, jos kaiteet eivät mahdu paikalleen. Siirrettäviä huoltotasoja pyritään sijoittelemaan kattilarakennuksen eri korkeudella oleville hoitotasojille, jotta samaa huoltotasoa ei tarvitse kuljettaa alemmilta tasoilta ylemmille ja päinvastoin. Kohteelle pääsyä helpottamaan voidaan käyttää ahtaissa paikoissa myös 0,5 m korkeita askeltasoja.

6.2 Huollon tarpeet

Projektin layoutkatselmuksissa tarkastellaan laitosta huollettavuuden ja luoksepäästävyyden kannalta. Asiakkaan huoltohenkilöstö katselmoi kattilan laitosmallia ja layoutpiirustuksia varmistaen huollon näkökulman. Yleensä, mitä enemmän suunnittelun aikana ovat loppukäyttäjät kommentoimassa layoutia, sitä vähemmän tulee asennuksen jälkeisiä muutostarpeita. Huoltamiseen liittyy yleisesti tasoalueiden puhtaanapito, taakkojen nosto ja haalaus sekä niihin liittyvät apuvälineet. Osa huoltoapuvälineistä on jo sopimuksessa mainittu kuten kattilan huoltopalkisto ja nostopalkit. Toimitettavien nostopalkkien lukumäärää joudutaan siltikin usein projektissa lisäämään huollon vaatimusten takia. Nostopalkkien tarve on suunnittelun aikana huomioitava, sillä ne vaikuttavat myös muihin suunnitteluosa-alueisiin, kuten teräsrakennesuunnitteluun ja putkiston reitityksiin. Laitteiden kuormat määrittävät teräsrakenteen mitoitusta, mutta kunnossapitoon liittyvät taakkojen nostamisesta ja haalaamisesta tulevat kuormat on laitossuunnittelun huomioitava ja ilmoitettava teräsrakennesuunnitteluun.

6.2.1 Hoitotasomateriaalit ja puhtaanapito

Soodakattilan hoitotasomateriaaleina käytetään ritilöitä, betonia tai kyynellevyä. Hoitotasomateriaalivalinnoissa tulee huomioida laitteiden huoltotarpeet kuten laitteiden ja materiaalien kuljettaminen sekä alueen puhtaanapito.

Pääasiassa kattilarakennuksen hoitotasot ovat ritilätasoja mutta sulakourutaso, päähoitotaso eli lipeäruiskutaso, tuhkasuppiloiden taso ja kattilan huoltopalkiston hoitotaso suunnitellaan yleensä betonista. (Andritz, 2011a). Betonitasot ovat käyttökelpoiset alueilla, missä tehdään paljon kunnossapitotoimenpiteitä ja tarvitaan helppoa puhtaanapitoa. Huoltojen yhteydessä pinnaltaan tasaiset ja yhtenäiset betonitasot mahdollistavat usein parhaimman luoksepäästävyyden laitteiden ympärille ja helpottaa taakkojen haalaamista nostokuilun ja laitepaikkojen välillä.

Betonitasoja kiertää ylös nostettu betonireunus, mikä tekee betonitasosta ”altaan”. Tällä rakenteella voidaan hallita tasolle valuvia nesteitä, tuhkaa ja mustalipeää, mitkä saattavat vuotaa tasolle esimerkiksi lipeäruiskun vaihdon tai tuhkakuljettimien pesun yhteydessä. Betonitasot estävät myös kunnossapitotöiden aikana tippuvien materiaalien ja osien putoamisen alemmille tasolle. Alemmille tasolle tippuvat osat, roiskeet tai vuodot voivat aiheuttaa mahdollisen turvallisuusriskin. Betonitasoille suunnitellaan lattiaviemärit ja valumakaukalot, joista valumat johdetaan putkistolla väliaineen mukaisesti tyhjennyspisteisiin kuten tuhkan sekoitussäiliöön tai pohjatason kanaaleihin ja kokooja-altaisiin.

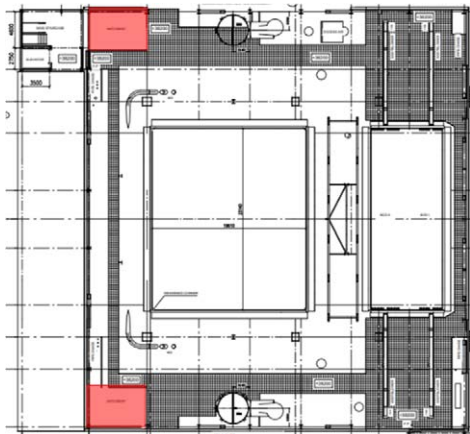
Ritilätasot kuormittavat teräsrakennetta vähemmän kuin betonitasot ja ne ovat nopeita asentaa. Lisäksi ritilätasoalueet parantavat rakennuksen sisäistä ilmankiertoa. Ritilätasoja tulee käyttää kaikilla hoitotasoilla, joilla ei ole puhtaanapidon tai huoltojen osalta erityisvaatimuksia.

Kyynellevyä käytetään paikallisesti tasoilla valumien ja roiskeiden tippumisen estämiseksi ja kyynellevyalue on helpompi pitää puhtana. Käynnistyspolttimien, kuormapolttimien ja poltinkohtaisten venttiiliryhmien alle suunnitellaan tasoalueet kyynellevystä, jos venttiiliryhmän kehikossa ei ole erillistä pohjakaukaloa. Lisäksi kattilan miesluukkujen eteen ritilätasoille sijoitetaan usein 1m² kyynellevyalue. Tuhkan sekoitussäiliön ympärille täytyy myös suunnitella kyynellevyalueet, jos säiliön kannakointitaso ei ole betonia. (Andritz, 2011a).

Kyynellevyjä voidaan käyttää kahdella tavalla, riippuen kyynellevyalueen tiiveysvaatimuksesta. Tiivis rakenne tehdään 6 mm paksusta kyynellevystä, jolloin levyt hitsataan toisiinsa kiinni ja kyynellevyt kiinnitetään suoraan tasoteräksiin (Andritz, 2014). Tätä ratkaisua on käytetty joissakin aiemmissa projekteissa betonitason sijasta. Apupolttimien alueelle halutaan usein valumatiivis rakenne, jolloin ritilätasot voidaan korvata kyynellevyitasolla. Muussa tapauksessa kevyemmät 3 mm paksut kyynellevyt asetetaan ritilätason päälle ja kiinnitetään ritilöihin. Tällöin kyynellevyt eivät ole valumatiiviit, mutta estää pienempien roiskeiden ja kiinteän materiaalin tippumisen. Kyynellevyä käytetään ritilätasojen päällä myös tärkeimmillä haalausreiteillä, mikä helpottaa kuormien siirtämistä esimerkiksi pumppukärryillä. Lisäksi kyynellevy jakaa haalauksen aikaisen pistemäisen kuormituksen suuremmalle pinta-alalle. Käytettävä kyynellevyrakenne on tarkasteltava tapauskohtaisesti.

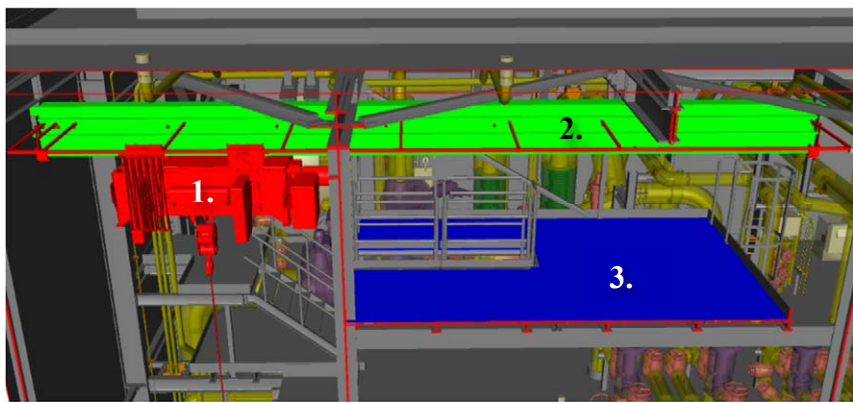
6.2.2 Nostokuilut ja nostoaputasot

Soodakattilarakennukseen varataan tila yhdelle tai useammalle nostokuilulle riippuen kattilarakennuksen mitoista. Nostokuilu tulee sijoittaa niin, että pohjatason kulkuväylillä liikkuville ihmisille ei aiheudu vaaraa nostoaukosta tippuvista esineistä (KLTK 13, 8, 1991). Nostokuilut sijoitetaan kattilarakennuksen nurkkiin päähuoltoreittien sisääntulon kohdalle. Päänostokuilun kautta siirretään kunnossapidon yhteydessä päälaitteita ja päälaitteiden osia, mm. puhaltimien moottorit ja siipipyörät. Kuvassa 31 on esitetty soodakattilarakennuksen nostokuilut. Päänostokuilu on kattilan savukaasujen kulkusuunnassa etuoikealla.



Kuva 31. Kattilarakennuksen nostokuilut punaisella (Andritz)

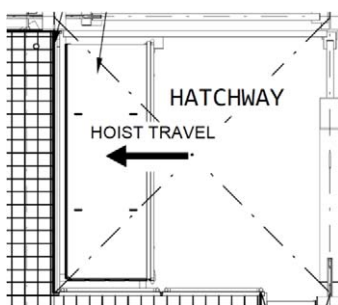
Soodakattilarakennuksen nostokuilut varustetaan yleensä nostokiskolla liikkuvalla vaijerinostimella. Nostokuilun vaijerinostin sijoitetaan kattopalkiston alapuolelle, jotta sitä voidaan käyttää myös ylimmällä hoitotasolla. Nostinta voidaan käyttää asennusten aikana, mutta pää-tarkoitus on huoltojen aikana laitteiden ja tavaroiden siirtäminen pohjatason ja hoitotasojen välillä. Kuvassa 32 on mallin näkymä päänostokuilun vaijerinostimesta ja nostimen huoltotasosta. Laitossuunnittelun tulee suunnitella vaijerinostimen huoltotaso siten, että nostin on molemmilta puolilta huollettavissa, kun nostin siirretään huoltoasemaan. Huoltotasolle käynti voidaan järjestää portailla tai tikkailla riippuen tilarajoitteista.



1. Vaijerinostin
2. Nostimen kisko
3. Nostimen huoltotaso

Kuva 32. Päänostokuilun vaijerinostin (Andritz)

Nostokuilun vaijerinostimen kulkusuunta tulee esittää layout piirustuksissa (kuva 33), jotta huoltoreitit nostokuilulle ja taakkojen siirto hoitotason ja nostokuilun välillä on helpompi tarkastella.



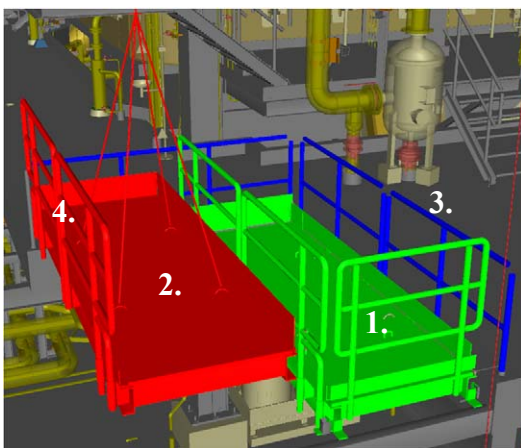
Kuva 33. Nostimen kulkusuunnan merkintätapa layout piirustuksessa (Andritz)

Nostokuilussa ei saa olla mitään ylimääräisiä rakenteita, putkistoa tai kaapelihyllyjä. Taakkojen siirtäminen hoitotasolta nostokuiluun tulee olla turvallista ja siten myös nostokuilun

viereiset hoitotasoaueet tulee pitää vapaana laitteista ja putkistosta vähintään 2 m alueelta. Vapaat huolto- ja haalausreitit laitteilta nostokuilulle tulee huomioida laitossuunnittelussa. Nostokuilun tilanvarauksista on kerrottu enemmän osiossa 6.3.2.

Nostokuiluihin liittyvät asiakasvaatimukset liittyvät yleensä nostokuilujen turvalliseen käyttöön. Asiakkaat eivät salli toimintatapaa, jossa taakka siirretään nostokuilulta hoitotasolle vetämällä taakkaa sivusuunnassa esimerkiksi kuormaliinoilla. Nostovaijeri ei saa taittua nostokuilun viereisestä tasoteräksestä rispaantumisvaaran takia ja se voi aiheuttaa heilahdusvaaran, jos sivusuuntainen veto lähtee irti. Nostokuiluja on tästä syystä varusteltu projekteissa erilaisilla nostoaputasoilla, jotka toimivat hoitotason jatkeena nostokuilun päällä. Nostoaputasojen kuormankantavuus on sama kuin hoitotason. Nostokuilun käyttöön liittyvät asiakasvaatimukset on selvitettävä suunnittelun aikana projektikohtaisesti ja ratkaistava asiakasvaatimusten mukaisesti.

Kustannustehokkain ja yksinkertaisin nostoaputasoratkaisu on kaiteilla varustettu siirrettävä aputaso, joka voidaan nostokuilun omalla nosturilla siirtää hoitotasolta toiselle. Siirrettäviä aputasoja voidaan käyttää vain yhtä kappaletta nostokuilua kohden. Siirrettävä aputaso lukittuu horisontaalisuunnassa (x, y) teräsrakenteessa olevilla estopaloilla ja pystysuunnassa (z) aputasossa olevilla salvoilla. Nosturin taakka voidaan laskea aputasolle ja siitä edelleen taakka voidaan turvallisesti siirtää hoitotasolle. Nostokuilun ympärillä olevat hoitotasot tulee varustaa irrotettavilla kaiteilla. Kuvassa 34 on mallista näkymä, jossa siirrettävä aputaso on siirron aikana ja paikoilleen lukittuna. Nostokuilun ympärillä olevat hoitotason kaiteet on irrotettavat.

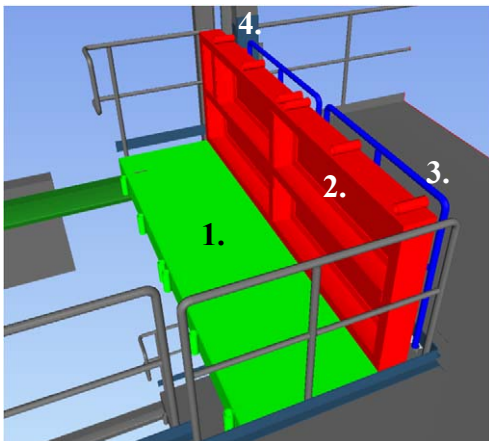


1. Aputaso käyttö-/varastointiasennossa
2. Aputaso siirtoasennossa
3. Hoitotason irrotettavat kaiteet
4. Aputason kaiteet

Kuva 34. Siirrettävä nostoaputaso siirron aikana ja paikoillaan (Andritz)

Nostokuilut voidaan varustaa myös saranoituilla aputasoilla, jotka voidaan kääntää manuaalivinssillä nostokuilun päälle tarpeen mukaan. Käännettävä aputaso on kiinteästi saranoitu hoitotason reunaan, joten käännettäviä aputasoja tulee lukumäärällisesti saman verran kuin kattilarakennuksessa on hoitotasoja. Tästä syystä käännettävän aputasoratkaisun kokonaiskustannukset ovat suuremmat kuin siirrettävän nostoaputason. Kuvassa 35 on esitetty esimerkkimalli aiemmassa projektissa käytetystä käännettävästä hoitotasosta. Hoitotason reunassa on irrotettavat kaiteet, jotka voidaan siirtää aputason reunalle.

Nostokuilun aputasot käyttöasennossa pienentävät nostokuilun hyötypinta-alaa, jolloin laitosuunnittelun tulee tarkistaa, että taakat mahdollaan nostamaan tai laskemaan aputason vierestä.



1. Aputaso käyttöasennossa
2. Aputaso varastointiasennossa
3. Hoitotason irrotettavat / siirrettävät kaiteet
4. Manuaalivinssin sijainti

Kuva 35. Käännettävä nostoaputaso (Andritz)

6.2.3 Nostopalkit ja -korvakkeet

Laitteiden ja komponenttien huollettavuuden, eli huoltojen ja vaihtotöiden helppouden tärkeä osatekijä ovat nostopalkit ja nostokorvakkeet. Nostopalkkien sijoitus on layoutsuunnittelijan vastuulla ja ne pyritään sijoittamaan suoraan huollettavien laitteiden yläpuolelle tai ulosvetoalueelle. Ulosvetoalueella tarkoitetaan sitä hoitotasoaluetta, mihin suuntaan komponentti voidaan irrottaa paikaltaan ja mahdollaan laskemaan.

Nostopalkit mallinnetaan ja näytetään layout piirustuksissa. Sopimuksen teknisessä eritteilyssä on kerrottu laitteet, mille varataan layoutissa nostopalkki. Nostopalkkien ja -korvakkeiden varustelu, kuten ketjunostimet tai taljat kuuluvat yleensä asiakkaan toimitukseen.

Nostopalkkien ja nostokorvakkeiden lopullinen lukumäärä määräytyy huollettavuustarkastelun kautta: voidaanko taata hyvä huollettavuus, jos laitetta ei voida nostaa paikaltaan ilman erityisjärjestelyjä. Erityisjärjestelyjä ovat esimerkiksi telinetyöt ja väliaikaiset tarraimilla teräsrakenteeseen kiinnitettävät taljat. Kuvassa 36 on esitetty esimerkki laitteelle varatusta nostopalkista ja teräspalkkiin pultattavasta nostokorvakkeesta. Nostokorvakkeet voivat olla myös hitsattavia.



Kuva 36. Pulttikiinnitteinen nostokorvake ja nostopalkki (Andritz).

Nostokorvakkeita käytetään yleensä helpottamaan pienempien komponenttien huoltoja kuten venttiilien huollossa. Korkeapaineputkiston venttiileistä huolletaan pääasiassa venttiilin sisukset, jolloin kuorma määritetään venttiilin sisusten painon mukaan. Sopimukseen liitetyissä asiakasstandardeissa voi olla työturvallisuus ja työergonomiavaatimuksia tai ainoastaan projektin kansallisen työturvallisuuslainsäädännön standardiviite. Kansallisesta työturvallisuusstandardista on selvitettävä maksimikuorma, minkä henkilö saa nostaa käsin. Yleensä maksimi kuorma on välillä 25–35 kg. Mitä pienempi maksimi sallittu kuorma on, sitä enemmän nostoapulaitteita joudutaan toimittamaan. Määrän lisääntyessä nostoapulaitteiden sijoittaminen vaatii tarkempaa suunnittelua koska nostotilat ja laskutilat aiheuttavat tilarajoitteita esimerkiksi putkistolle ja kaapelihyllyille.

Nostoapulaitteiden etäisyys huollettavasta laitteesta tulee tarkistaa, että väliin mahtuu mahdollinen työntövaunu ja talja kiinnitysosineen sekä laite/komponentti mahdollisesti nostamaan paikaltaan. Suositeltu minimi etäisyys on 1,5 m laitteen yläpuolella, mutta se on tarkastettava tapauskohtaisesti.

6.2.4 Huoltotoimenpiteiden kuormat

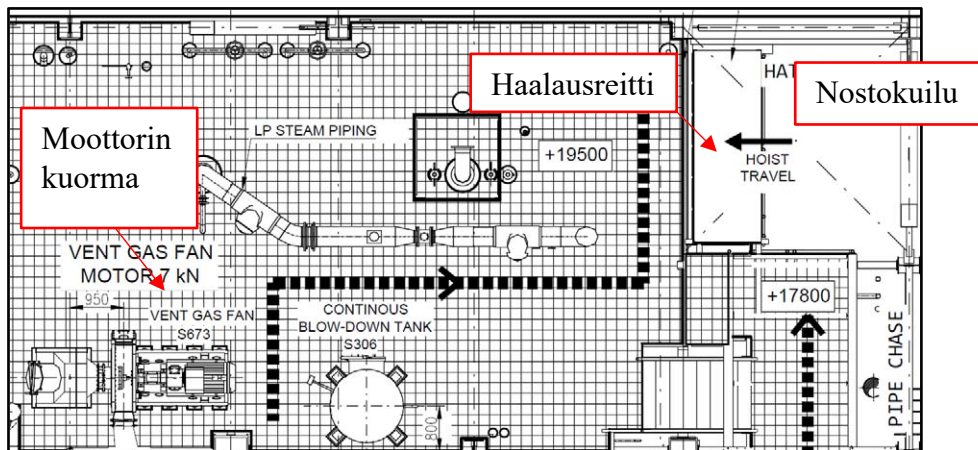
Soodakattilan teräsrakenne suunnitellaan sopimuksessa mainittujen standardien ja rakennuslainsäädännön mukaisesti. Hoitotasojen kuormankestävyys määritetään projektikohtaisesti sopimuksen rakennuserittelyssä, mutta tasokuormitukset ja pistekuormitukset täytyy huomioida laitossuunnittelussa. Laitossuunnittelu antaa kuormatiedot teräsrakennesuunnittelulle projektin suunnitteluaiakataulun mukaisesti.

Laitteiden huoltoa varten lisättyjen nostopalkkien ja nostokorvakkeiden pistekuormat täytyy ilmoittaa teräsrakennesuunnittelulle. Nostopalkit ja -korvakkeet tulee sijoittaa nostettavien laitteiden keskilinjoille ja laitepainot tulee selvittää laitetoimittajilta. Piirustuksiin merkitään nostettavan laitteen maksimi kuorma (kN) pyöristettynä ylöspäin 15 %, mutta vähintään 0,5 kN. Suuremmissa kuormissa voidaan nostopalkin mitoituskuorma määrittää 1 kN portaissa. Jokaista nostopalkkia ei pidä erikseen mitoittaa varsinkaan pienillä kuormilla (<5 kN), vaan pyritään toimittamaan tietyille kuormille mitoitettuja palkkeja, jolloin se nopeuttaa teräsrakennelaskentaa ja suunnittelua. Lisäksi teräsprofiilikirjo pysyy maltillisena.

Ritilätason vähimmäiskuormankantavuus on standardin SFS-EN ISO 14122-2 mukaan 2 kN/m². Andritzin perusmäärittelyn mukaisesti ritilätason kuormankantavuudeksi on määritetty 2,5 kN/m² ja se pitää sisällään 0,5 kN/m² putkiston kuormaa (Andritz, 2011b).

Ritilätasoilla vähimmäiskuormankantavuuden ylittävien laitteiden haalausreitit tulee suunnitella tasoittain nostokuilun ja laitteiden välillä sekä näyttää huoltoreittipiirustuksissa (kuva 37). Tasoalueiden haalauskuormavaatimukset on ilmoitettava teräsrakennesuunnittelulle ja näytettävä haalausreiteille tarvittavat kyynellevalueet.

Laitossuunnittelun vastuulla on kuormatietojen oikeellisuus, eli kuormien (kN) suuruus ja kuormapisteen x, y, z – sijainti laitoksella. Suunnittelun edetessä laitossuunnittelu välittää kuormapistetiedot teräsrakennesuunnitteluun E3D-mallin ja layoutpiirustusten kautta sekä Excel-kuormataulukkona.



Kuva 37. Huoltoreittipiirustus. Puhaltimen moottorin haalauskuorma ja -reitti nostokuilulle. (Andritz)

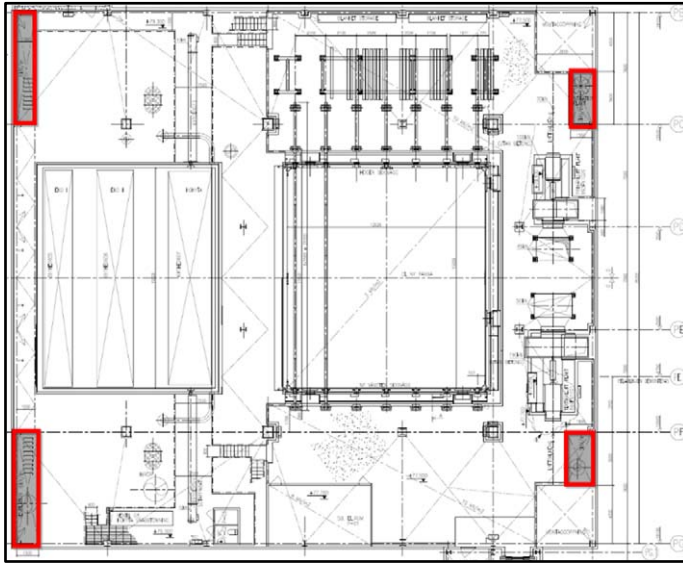
6.2.5 Tilankäyttö laitossuunnittelussa

Huollettavuuteen liittyy laitteiden ympärillä olevat tarvittavat huoltotilat, komponenttien vaihtotöiden nostomahdollisuudet ja vapaat haalausreitit. Huollettavuutta parantaa yhtenäiset hoitotasot, jolloin tasoneliöiden hyötykäyttö saadaan maksimoitua. Kattilarakennuksen sisäistä hyötykäyttötilaa pienentää soodakattilaprosessin vaatimat putkistot, kanavisto ja kaapelihyllyt, niin hoitotasojen korkeus- kuin leveys suunnassa. Suurinta osaa tilaa rajoittavista tekijöistä ei voida poistaa, mutta niitä voidaan hallita suunnittelun aikana. Kulkuväylien ja huoltotilojen vähimmäistilantarpeet voidaan varata suunnittelun alkuvaiheessa ja esimerkiksi putkistolle ja kaapelihyllyille voidaan varata tilat, minkä sisällä ne täytyy reitittää.

6.2.6 Putkikuilut ja tasojen läpiviennit

Kattilarakennuksen nurkkiin tehdään myyntivaiheessa tilanvaraukset putkikuiluille (kuva 38). Putkikuilujen käyttö mahdollistaa putkiston ja kaapelihyllyjen pystysuuntaisen reitityksen eri korkeudella olevien laitteiden välillä. Putkikuilut sijoitetaan kattilarakennuksen jokaiseen kulmaan, jotta laitteiden välisten putkistojen pituudet voidaan minimoida. Putkikuilut kulkevat pystysuunnassa koko kattilarakennuksen läpi ja niitä käyttämällä saadaan minimoitua putkiston ja kaapelihyllyjen tasolävistyksiä, jolloin hoitotasot saadaan yhtenäiseksi ja tasoneliöt hyödynnettyä huolto-/kulkuväyliä varten.

Hoitotasoaueet putkikuilujen ympärillä on projektin alussa tarkastettava, jotta putkikuilua varten jää riittävä vapaa tila. Lisäksi projektin aikana tulee tarkastaa, että teräsrakennesuunnittelu tai muut suunnittelu osa-alueet eivät suunnittele komponentteja putkikuilun läpi. Putkikuilua varten tulisi 3D-malliin lisätä tilanvaraus.



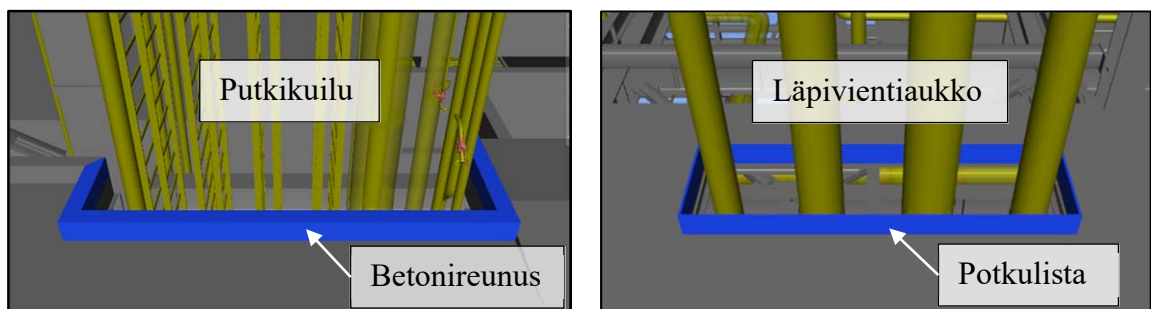
Kuva 38. Putkikuilut kattilarakennuksen kulmissa, punaisella merkattuna (Andritz)

Laitteiden sijoitusten tai prosessivaatimusten takia kaikkea putkistoa ei aina voi tai kannata reitittää nurkissa olevien putkikuilujen kautta. Laitteiden huoltotilat, nostopalkit ja kulkutilavaatimukset aiheuttavat usein myös esteitä putkistoreititykselle, jolloin putkia joudutaan reitittämään hoitotasojen läpi. Yksittäisten putkien läpiviennit hoitotasolla tulee kuitenkin minimoida, koska jokainen tasoläpivienti pienentää huoltotiloja ja kaventaa kulkuväyliä.

Läpivientien määrä saadaan minimoitua laitossuunnittelun, putkistosuunnittelun ja teräsrakennesuunnittelun yhteistyöllä ja putkistokatselmuksissa. Hoitotasolle on laitossuunnittelun tehtävä yhteisiä läpivientiaukkoja, mitä putkistosuunnittelu ja sähkösuunnittelu voi vapaasti käyttää reitittäessään putkistoa tai kaapelihyllyjä. Lähtökohtana on, että yksi aukko palvelee aina useampaa läpivietävää komponenttia. Läpivientien suorakaiteen muotoiset tilanvaraukset tulee tehdä 3D-malliin jo suunnittelun alkuvaiheessa, jotta ne tulevat käyttöön heti esireititysten aikaan.

Seuraavana on listattu kattilalaitoksen hoitotasojen läpiviennit käyttöaste järjestyksessä:

1. Rakennuksen putkikuilut – suurin osa putkistosta ja kaapelihyllyistä (kuva 39)
2. Yksittäiset läpiviennit – KP putket, kanavisto ja tuhkan pudotustorvet
3. Yhteiset läpivientiaukot – prosessiputkisto ja KP putkisto (kuva 39)
4. Pienemmät läpiviennit – yksittäiset prosessiputket, vaatii jälkiporauksen tai ritilän leikkaamisen. Näiden käyttö on minimoitava.



Kuva 39. Vas. Putki- ja kaapelihyllykuilu betonitasolla, Oik. yhteinen putkiston läpivientiaukko ritilätasolla. (Andritz).

Jokainen aukko hoitotasoissa täytyy varustaa joko potkulistalla tai betonikauluksella riippuen, onko läpivienti ritilätasolla tai betonitasolla. Betonikauluksilla taataan betonitason allasmaisuus ja aukkojen tiiveys. Betonikaulukset ovat yleensä 150 mm paksut, jolloin ne lisäävät läpiviennin halkaisijaa 300 mm ja vähentävät pinta-alansa verran hoitotason hyötyneliöitä. Ahtaissa paikoissa betonikaulukset voivat pahimmillaan kaventaa kulkuväylän vähimmäisleveyttä, jolloin kulkureitti on järjestettävä muualta.

Läpivientien koko määräytyy läpivietävän putken tai kanavan ulkomitoista, eristepaksuuden ja eristeyden vaatiman asennustilan mukaan. Eristeen ulkopinnasta mitattuna yleensä riittää 50–100 mm puoleltaan suurempi aukko riippuen läpivientiaukon koosta. Suurempien putkien tai kanavien läpivientiaukoissa on jätettävä 100 mm vapaa tila asennustoleranssien takia. Eristeen pintapellin ja aukon reunan välinen etäisyys ei saa olla yli 120 mm, muuten aukko täytyy varustaa kaiteella tai aukon kokoa täytyy pienentää esimerkiksi turkkilevyllä. Lisätyötä ja ylimääräistä materiaalin kuluu on vältettävä. Tarvittavan läpivientiaukon halkaisija D_{aukko} voidaan laskea seuraavasti:

$$D_{aukko} = D_{uputki} + 2 \times (S_{eriste} + S_{vällys}) \quad (5)$$

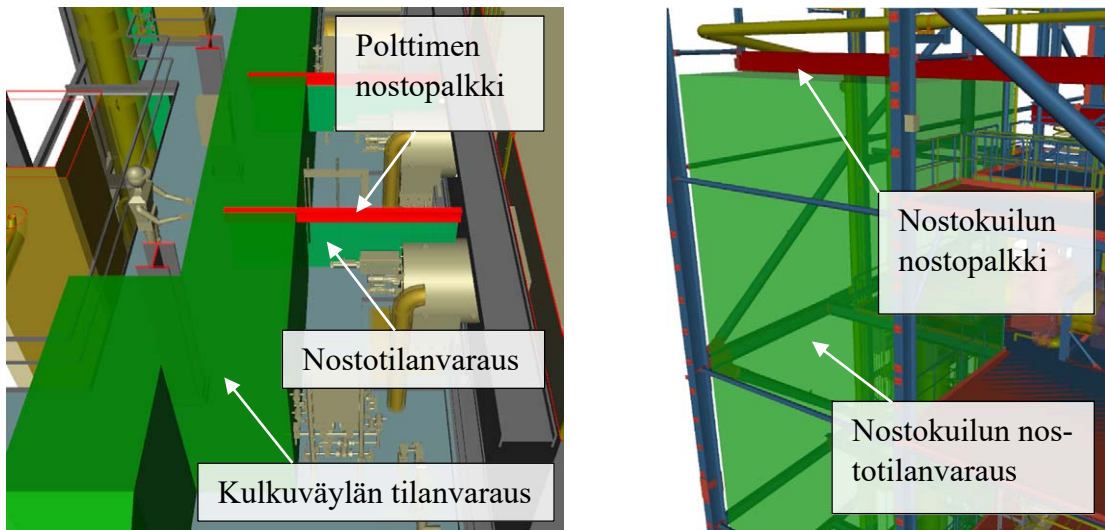
jossa D_{uputki} on putken ulkohalkaisija [mm], S_{eriste} on eristeen paksuus [mm] ja $S_{vällys}$ on vällyksen koko (50 – 100 mm)

6.2.7 Kulkuväyliä, nosto- ja huoltotilojen tilanvaraukset

Laitossuunnittelun tulee varmistaa kulkuväyliä, haalausreitit ja nostoja sekä huoltoja varten tarvittavien vapaiden tilojen toteutuminen laitoksen layoutissa. Nämä tilat ovat oleellisia tekijöitä soodakattilalaitoksen toiminnallisuuden, turvallisuuden ja huollettavuuden kannalta. Lisäksi projektikohtaisten tilankäyttöä koskevien perusvaatimusten täytyminen on laitossuunnittelun vastuulla, ja ne ovat laitoksella helposti todennettavissa asennusten jälkeen. Suunnitteluvaiheessa tämä voidaan hallita tekemällä 3D-mallissa tilanvaraukset vapaana pidettäville alueille.

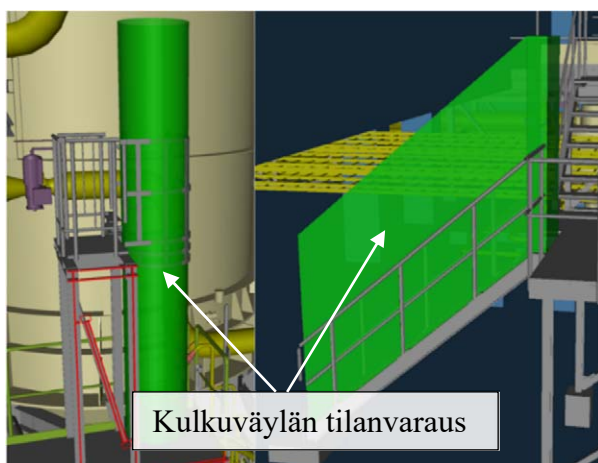
Tilanvaraukset toimivat 3D-mallissa tietona kaikille samassa laitosmallissa toimiville suunnitteluosa-alueille, että kyseisiä alueita tulee välttää. Tyhjät tilat täyttyvät helposti putkistosta ja muista rakenteista, jolloin tilanvarauksilla voidaan estää tahattomat toiminnallisuuden rajoittamiset. Seuraavaksi esitetään tilanvaraus vaihtoehtoja, mitä mallissa voi käyttää. Tilanvaraukset tulee mallintaa erilaisina elementteinä kuin muut rakenteet, jotta ne erottuvat selvästi E3D- ja Navisworks-malleissa.

Nostokuilut ja nostopalkkien alapuolella olevat nostotilat pitää huomioida mallissa tilanvarauksilla. Nostopalkeilla tulee taakka pystyä siirtämään paikoiltaan suoraan kulkuväylälle (kuva 40). Nostokuilujen kautta siirretään huoltojen aikana pääosa laitteista ja komponenteista, mitkä eivät mahdu hisseihin tai laitekuormat hisseille ovat liian suuret. Nostokuilut on pidettävä vapaana ja se voidaan varmistaa mallintamalla vapaa-aukon kokoinen kuvan 40 mukainen tilanvaraus.



Kuva 40. Nostokuilun ja nostotilan tilanvarauselementit Navisworks mallissa. (Andritz)

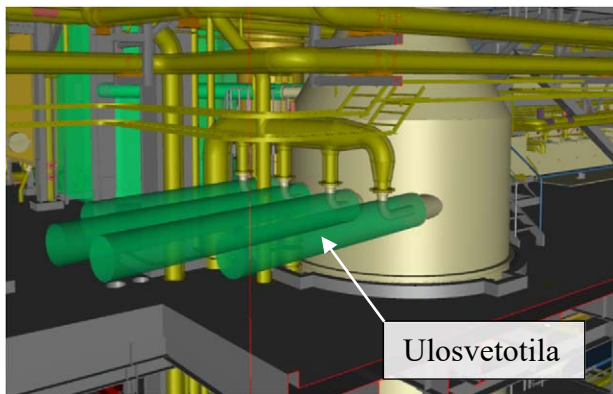
Tikkaat sijaitsevat usein paikassa, missä noustaan tai laskeudutaan pienemmälle huoltotasolle, jolloin tikkaiden yläpuolella voi kulkea ylemmän hoitotason alaisia putkistoja. Tikkaiden kohdalle on hyvä mallintaa standardin SFS-EN ISO 14122-2 mittojen mukainen kuvassa 41 näytetty vapaan kulkuväylän tilanvaraus. Tällä voidaan taata, että tarvittavat tulo- ja poistumistilat sekä vapaa kulkukorkeus ovat vaatimusten mukaiset. Portaiden osalta (kuva 41) voidaan käyttää samaa menetelmää.



Kuva 41. Tikkaiden ja portaiden kulkuväylien tilanvaraukset (Andritz)

Huoltotilanvarauksilla voidaan varmistaa, että laitteille löytyy hoitotasolta tarvittavat laskutilat. Huoltojen kannalta myös tärkeät tilanvaraukset ovat laitteiden vaatimat ulosvetotilat.

Tästä esimerkkinä on kuvassa 42 näkyvät liuotinsäiliön hönkäpesurin suutintukkien ulosvetotilojen tilanvaraukset. Ulosvetopituutena on tässä tapauksessa käytetty koko suutintukin pituutta, jotta on voitu varmistua tarvittavasta vapaasta tilasta.



Kuva 42. Liuotinsäiliön hönkäpesurin suutintukkien ulosvetotilat (Andritz)

6.3 Pohjatason layout

Pohjatason laitteet pyritään sijoittamaan prosessin kannalta optimaalisiin paikkoihin, mutta laitesijoitusta määrittää laitteiden mittojen lisäksi pohjatason kokooja-altaat, lattiakanaalit ja pohjatason huoltoreitti. Kaikki nämä edellä mainitut osa-alueet on huomioitava pohjatason puhtaanapidon, huollettavuuden ja luoksepäästävyys suunnittelussa.

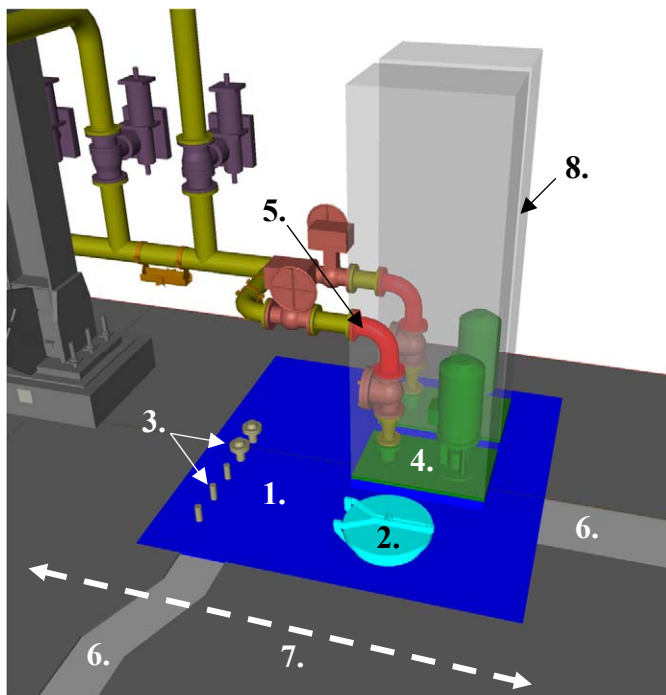
6.3.1 Kokooja-altaat ja lattiakanaalit

Kokooja-altaat ovat pohjatason +0,000 pinnan alapuolella ja betonista valettuja. Pohjatasolla on näkyvissä kokooja-altaan betonilla täytetty teräskansi, jossa on putkiyhteet, miesluukku ja pystymallisen kaivopumpun moottori tai keskipakopumpun imuyhde. Kuvassa 43 on esitetty mustalipeäkokooja-altaan kannen järjestelyt ja huoltokohteet.

Projektista riippuen kokooja-aldaiden määrä vaihtelee yleensä 2–4 kpl välillä riippuen asiakkaan jätevedenkäsittelystä ja prosessivaatimuksista. Kokooja-aldaiden sijoituksessa ja kokooja-aldaiden kansien järjestelyissä on huomioitava luoksepäästävyys. Kaivopumpuille on päästävä ja ne on mahdollista nostamaan pois paikoiltaan. Pumppuilta lähteviin putkiin on lisättävä laippaliitokset, jotta putket saadaan pumpun nostotilan edestä pois. Pumppu on

pulttiliitoksella kokooja-altaan kannen laipassa kiinni ja pumppu nostetaan kiinnityslevyineen pois. Pumppujen nostamista varten voidaan pohjatasolla käyttää siirrettävää korjaamonosturia, pukkinostinta tai huoltoajoneuvoa. Yläpuolisiin teräksiin voidaan myös lisätä nostokorvakkeet tarpeen mukaan.

Laitossuunnittelu määrittää lattiakanaaleiden reitit. Kanaaleiden päällä on lattian tasolle upotetut ritilät, jotta kanaalit eivät rajoita kulkuväyliä ja ne toimivat tyhjennysten keräilyn lisäksi pohjatason yleisviemärinä. Pohjatason pesuvedet johdetaan lattiakaadoilla kanaaleihin. Kanaaleiden tulee kiertää mahdollisuuksien mukaan koko pohjatason ympäri.



1. Kokooja-altaan kansi
2. Miesluukku
3. Tyhjennysputkien yhteet
4. Kaivopumppu
5. Laippaliitoksista irrotettavat putkikäyrät
6. Lattiakanaalit
7. Pohjatason kulkuväylä
8. Pumppujen nostotilat

Kuva 43. Kokooja-altaan järjestelyt (Andritz)

6.3.2 Pohjatason huoltoreitti

Pohjatason kulkuväylät tulee täyttää normaalit kulkuväylävaatimukset ja lisäksi pohjatasolle on varattava tila huoltoreitille. Huoltoreitti lähtee kattilarakennuksen nostokuilujen kohdalta ja sen on oltava vapaasti kuljettavissa koko pohjatason ympäri tai reitiltä on päästävä kaikille lattiatasolla oleville päälaitteille. Huoltoväylän on oltava vähintään 2000 mm leveä, jotta huoltoreitillä mahtuu ajamaan trukilla. Aiempia projekteja tutkittaessa havaittiin, että pohjatason huoltoreitin asiakasvaatimuksina on ollut ajoneuvoja varten jopa 3000 mm vapaa

leveys ja 5000 mm vapaa korkeus. Sopimuksen layoutpiirustuksissa esitettyä tasoväliä korkeampi vapaa korkeus on kattilarakennuksessa yleensä mahdotonta saavuttaa ilman koko layout-konseptin muutosta. Tasovälissä on huomioitava tason alla reititetyn kanaviston ja putkiston tilantarve ja esimerkiksi primääri-ilmakanavan reititys ensimmäisen nostetun hoitotason alapuolella kuuluu soodakattilan layoutin peruskonseptiin. Asiakkaan kanssa on tässä tapauksessa sovittava tasovälin mukainen vapaa käytännöllinen kulkukorkeus.

Lämpimien maiden soodakattilaprojekteissa seinät jätetään pääsääntöisesti alhaalta ensimmäisistä tasoväleistä auki, jolloin pohjatason päälaitteet kuten syöttövesipumput ja ilmapuhaltimet ovat luoksepäästävässä rakennuksen ulkopuolelta trukilla tai muulla huoltoajoneuvolla. Toinen vaihtoehto on käyttää rakennuksen ulkopuolelle ylettyviä nostopalkkeja, joilla laitteet voidaan siirtää paikaltaan ulos huoltoajoneuvon kyytiin. Pohjatason huoltoreitin kautta tulee järjestää pääsy lopuille laitteille. Pohjatasolla voidaan varastoida nostotöissä käytettäviä nosto- ja huoltoapuvälineitä, kuten nostopukkeja, siirrettäviä korjaamonostureita ja siirrettäviä huoltoaputasoja. Pohjatason huoltokonsepti on hyväksyttävä asiakkaalla, jolloin laitoksen 3D-mallissa on näytettävä huoltoreittien- ja nostokuilujen tilanvaraukset, huoltoapulaitteiden ja siirrettävien huoltoaputasojen varastopaikat sekä nostopalkkien sijainnit.

7 Laitekohtaiset huoltovaatimukset

Seuraavissa kappaleissa käsitellään soodakattilan järjestelmiin kuuluvien laitteiden tärkeimmät laitekohtaiset huoltovaatimukset. Järjestelmien tehtävät ja prosessit on käsitelty kirjallisessa osiossa ja tässä luvussa keskitytään laitteiden huoltokohteisiin, huoltojen vaatimiin tilaratkaisuihin ja käytön tarpeisiin. Luvussa käsitellään laitetyypeittäin yleiset perusvaatimukset ja mahdolliset erityisvaatimukset laitekohtaisesti.

7.1 Säiliöt

Kaikki käytönaikaiset tarkastuskohteet ja huoltokohteet tulee huomioida säiliöiden sijoittelussa ja hoitotasosuunnittelussa. Yleisiä huolto- ja tarkastuskohteita ovat mies- ja tarkastusluukut, mittaukset, sekoittimet ja kytkeytyvien putkistojen toimilaitteet.

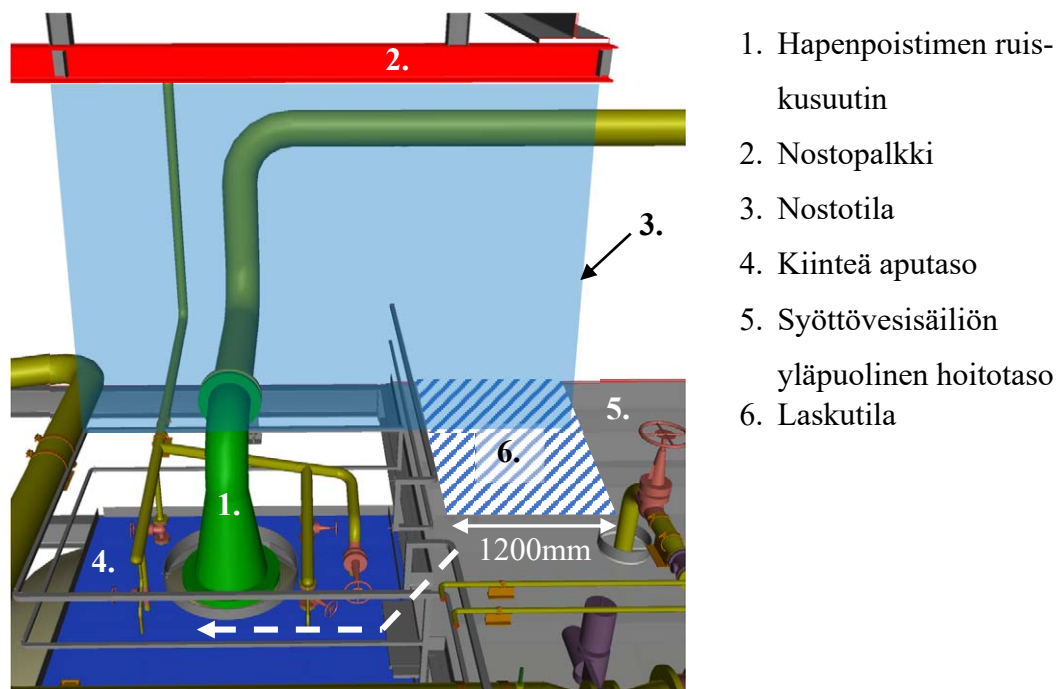
Säiliön mittauksille ja säiliöön kytkeytyvien putkistojen venttiileille tulee järjestää pääsy. Tarvittaessa voidaan käyttää tikkailla kuljettavia kiinteitä aputasoja. Säiliöiden miesluukkujen sijoitus suhteessa lähimpiin kulkuväyliin on tarkastettava ja luukuille on järjestettävä vapaa pääsy lähtökohtaisesti suoraan hoitotasolta, muussa tapauksessa kiinteitä aputasoja käyttäen. Lisäksi on huomioitava luukkujen vapaa avautumisalue. Suositeltu miesluukun keskilinjan maksimikorkeus tason pinnasta on n. 1000 mm. Säiliöiden putkiyhteiden suunnat ja sijainnit on tarkastettava putkistosuunnittelun ja laitesuunnittelun kanssa ja tarvittaessa muutettava, jotta putkisto ei rajoita säiliöiden huoltokohteiden luoksepäästävyyttä. Sekoittimien yläpuolelle on järjestettävä vapaa nostotila ja yläpuoliseen teräsrakenteeseen nostokorvake tai nostopalkki.

7.1.1 Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliön ympärille tulee suunnitella hoitotasot siten, että säiliön alaosassa oleville miesluukuille ja säiliön yläpuolisten putkistojen venttiileille on pääsy suoraan hoitotasoilta. Säiliön sivulla olevan pinnanmittauksen kammion ja pinnaosoittimen alaosa ovat yleensä

miesluukkujen hoitotasokoron alapuolella, joten pääsy tulee järjestää kiinteällä aputasolla. Kulku alapuoliselle aputasolle voidaan järjestää tikkailla.

Syöttövesisäiliö on nykyisin varustettu Stork-tyyppisellä hapenpoistajalla, jonka ruiskusuutin täytyy olla huollettavissa. Hapenpoistimen ruiskusuuttimen huoltoa varten on yläpuolelle lisättävä nostopalkki ja huomioitava tarvittava yläpuolinen nostotila. Ruiskusuuttimen putkessa on oltava laippaliitos, mistä suutin voidaan irrottaa ja laippaliitokselle on järjestettävä kiinteä pääsy. Suuttimen ympärillä voidaan käyttää syöttövesisäiliön yläpuolisesta hoitotasosta alas laskettua kiinteää aputasoa. Kuvassa 44 on näytetty esimerkki ruiskusuuttimen hoitotasoratkaisusta ja huoltotiloista.



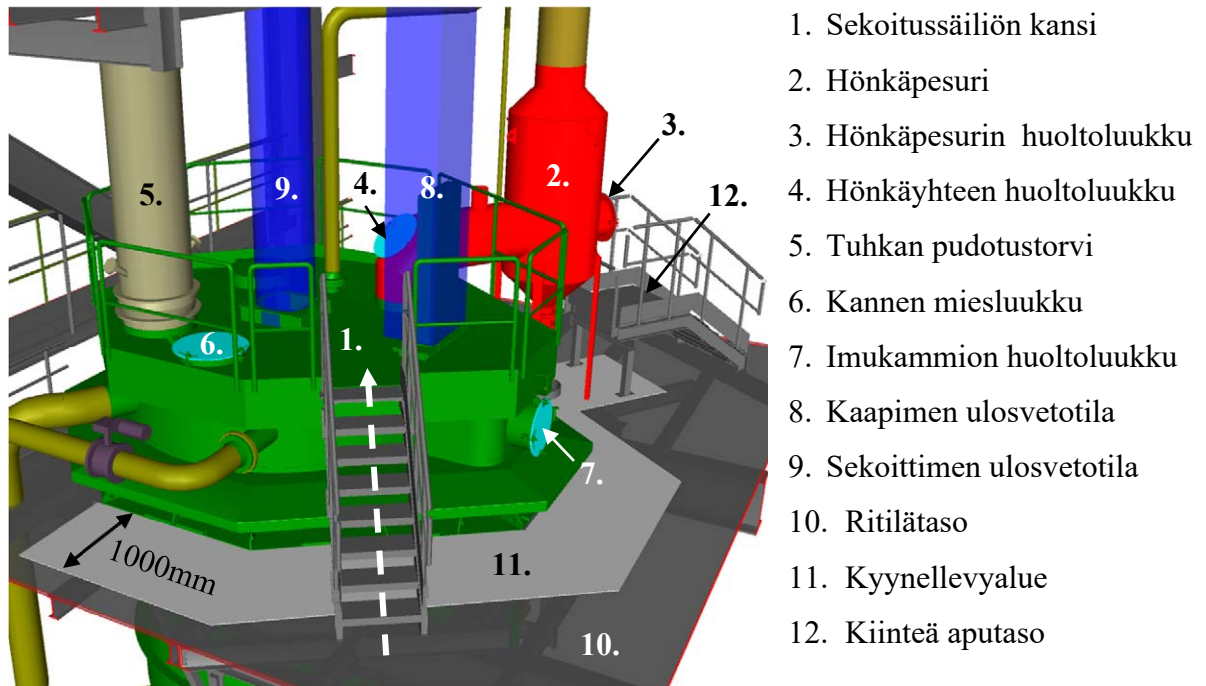
Kuva 44. Hapenpoistimen ruiskusuuttimen huollettavuus (Andritz)

7.1.2 Sekoitussäiliö

Tuhkasekoitussäiliö sijaitsee mustalipeän kokoojasäiliön yläpuolella kattilan takaosassa ensimmäisellä nostetulla hoitotasolla, mikä on yleensä betonitaso. Betonitason säiliöaukon ympärille tulee mallintaa betonireunukset, jonka päälle tulee säiliön teräskaulus. Säiliön kannakointitaso voi olla myös ritilätaso, jolloin säiliön ympärille on lisättävä 1 m levyinen kyy-nellevyalue mustalipeävalumiin takia. Sekoitussäiliön viereen sijoitetaan sekoitussäiliön

hönkäpesuri. Hönkäpesurin huoltoluukulle tulee järjestää pääsy tarvittaessa kiinteällä aputasolla. Kuvassa 45 on esitetty 3D-mallista näkymä sekoitussäiliön huoltokohteista ja taso-suunnittelusta.

Sekoitussäiliön kannessa on miesluukku, tuhkan pudotusyhteet, hönkäyhde, tuhkasekoittimen moottori, kaapimen paineilmasylinterin suoja ja hönkäyhteen huoltoluukku. Sekoitussäiliön kannen päälle tulee järjestää pääsy hoitotasolta. Sekoittimen moottorin yläpuolella tulee olla tarvittava huoltotila, jotta moottori ja sekoittimen akseli voidaan nostaa paikoiltaan. Moottorin yläpuolelle tulee lisätä nostokorvake. Säiliön alaosassa oleville pinnan- ja lämpötilanmittauksille tulee järjestää pääsy tarvittaessa kiinteällä aputasolla. Aputasolle voidaan käyttää tikaskulkua.



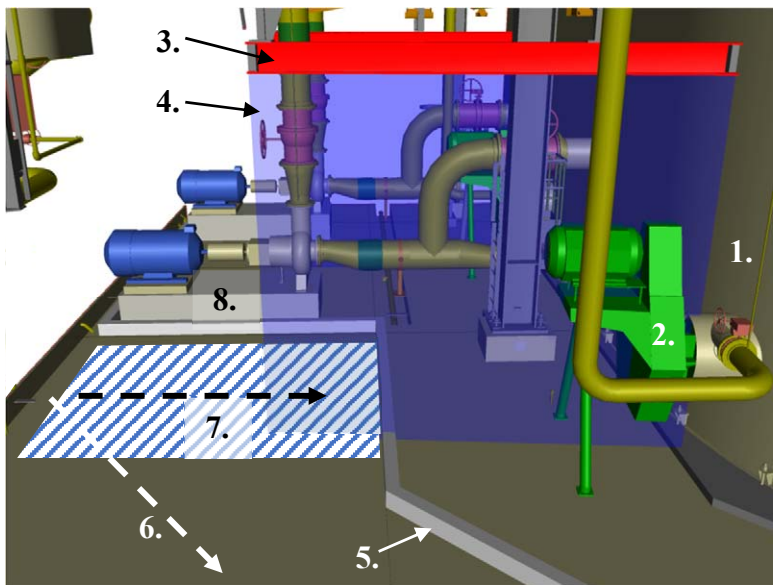
Kuva 45. Tuhkasekoitussäiliön huoltokohteet ja taso-suunnittelu (Andritz)

7.1.3 Liuotinsäiliö

Liuotinsäiliön ympärille tulee lisätä betonireunus, jonka tehtävänä on estää säiliöstä tulevien mahdollisten valumiin leviämistä muualle lattiatasolle. Betonireunusten sisäpuolella sijoitetaan myös liuotinsäiliön sekoittimet ja viherlipeäpumput. Putkisto ja pumput tulee sijoittaa siten, että sekoittimille ja pumpuille on vapaat huoltoväylät ja tarvittavat huoltotilat. Pumpujen huoltotiloja käsitellään lisää luvussa 7.2. Sekoittimien moottoreiden yläpuolelle tulee

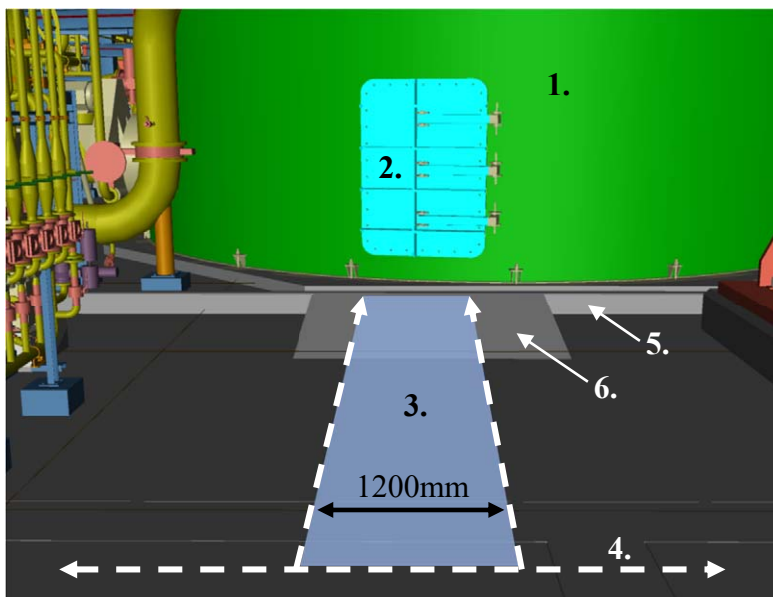
lisätä nostopalkit. Liuotinsäiliön etupuolella olevien sekoittimien nostopalkit kannakoidaan tulipesän pohjapalkkien laipoista kynsiliioksella, joka sallii tulipesän pohjan lämpölaajenemisen.

Liuotinsäiliön kyljessä on vakiona 1300 x 1900 kokoinen huolto-ovi, jolle täytyy olla järjestetty vähintään 1200 mm levyinen väylä. Huoltojen aikana säiliön sisään voidaan ajaa pienellä pyöräkuormaajalla. Kuvissa 46 ja 47 on esitetty liuotinsäiliön sekoittimen huoltjärjestelyt ja huolto-oven kulkuväylät.



1. Liuotinsäiliö
2. Liuotinsäiliön sekoitin ja sekoittimen moottori
3. Moottorin nostopalkki
4. Nostotilanvaraus
5. Liuotinsäiliötä ympäröivä betonireunus
6. Pohjatasen huoltoreitti
7. Sekoittimen ja viherlipeäpumpun huoltotila
8. Viherlipeäpumppu

Kuva 46. Liuotinsäiliön sekoittimen ja viherlipeäpumppujen huoltotilat (Andritz)

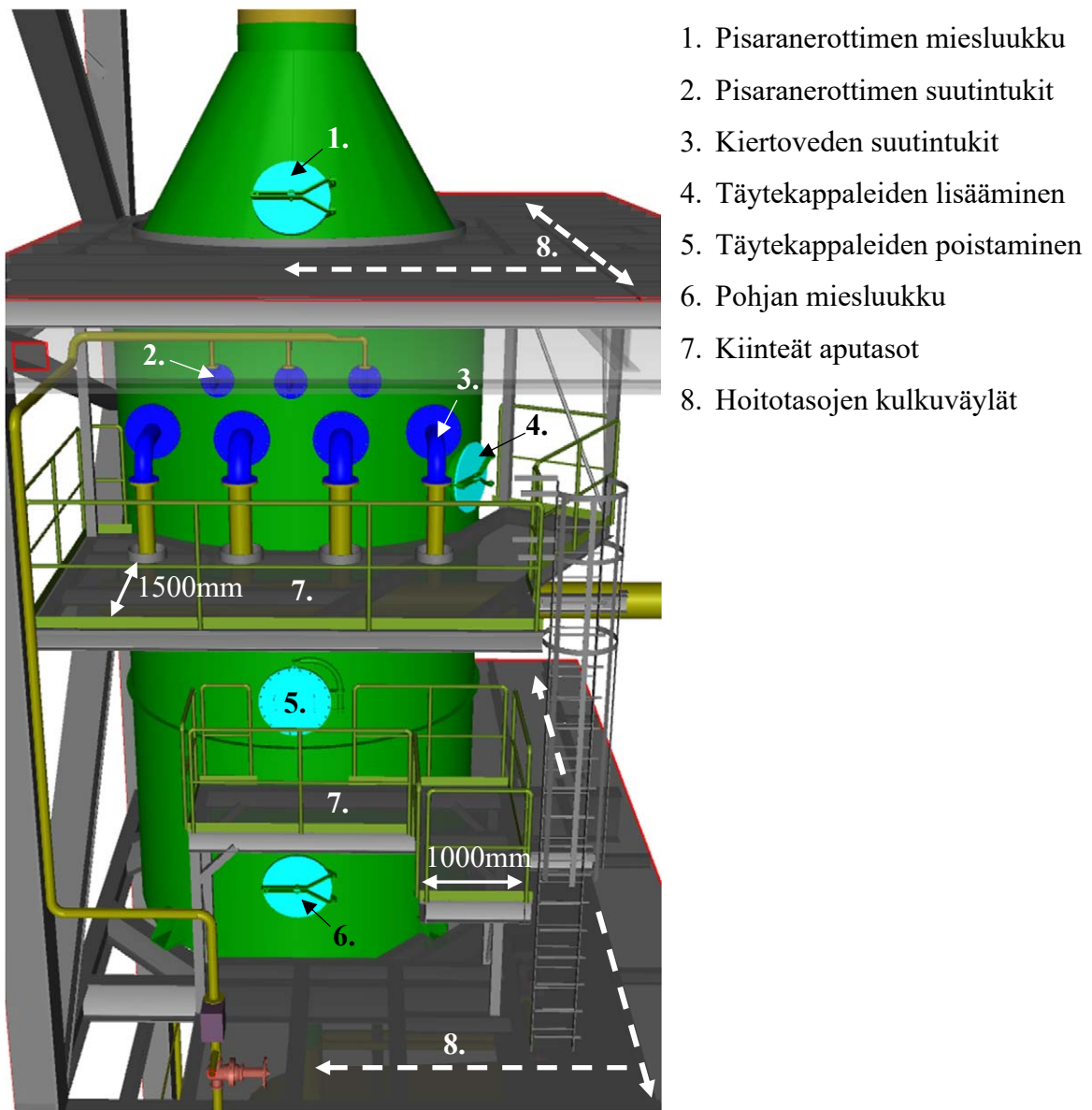


1. Liuotinsäiliö
2. Liuotinsäiliön huolto-ovi
3. Huoltoreitti
4. Pohjatasen kulkuväylä
5. Betonireunus
6. Ramppi

Kuva 47. Liuotinsäiliön huolto-oven huoltoreitti (Andritz)

7.1.4 Liuotinsäiliön hönkäpesuri

Liuotinsäiliön hönkäpesuri on yksi suurimmista soodakattilarakennuksen komponenteista ja se vaikuttaa useaan päällekkäisen hoitotason tilojen käyttöön, koska pesuri sijoitetaan liuotinsäiliön hönkäkaasujen virtaussuunnan mukaisesti vertikaaliasentoon. Kuvassa 48 on esitetty liuotinsäiliön hönkäpesuri ja sen layoutjärjestelyt.



Kuva 48. Liuotinsäiliön hönkäpesuri (Andritz)

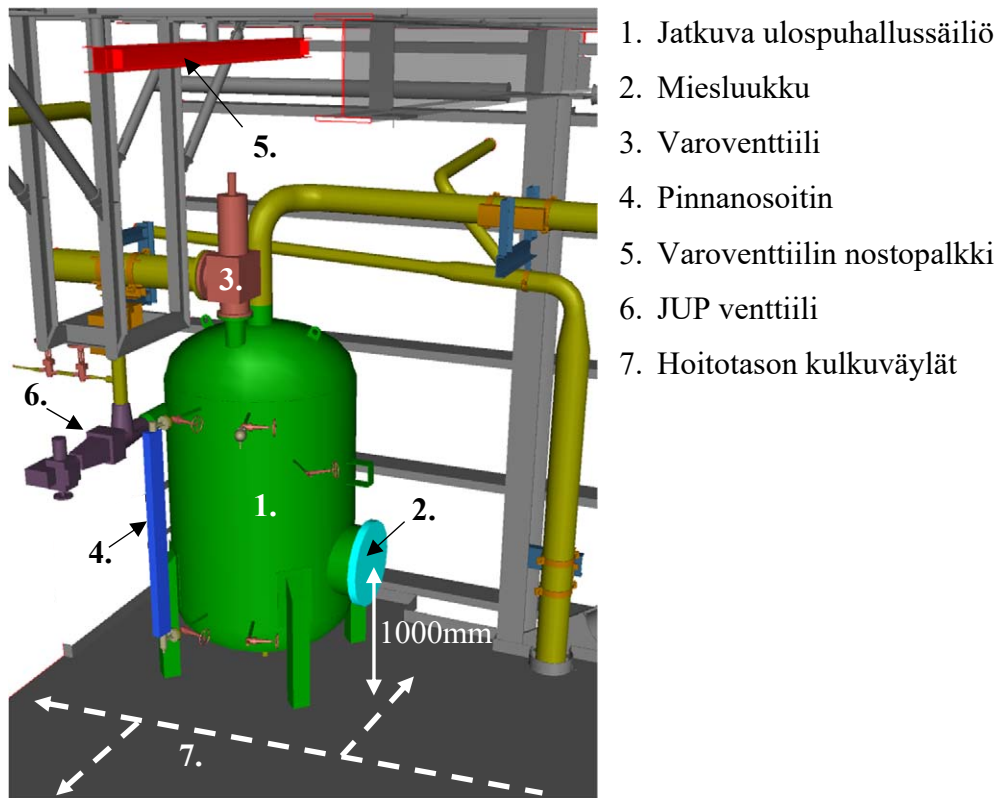
Hönkäpesurissa on eri korkeudella olevat demisterin ja kiertoveden suutintukit sekä miesluukut. Miesluukuille täytyy olla hoitotasoilta tai kiinteiltä aputasoilta pääsy, koska pesurin sisäpuolen täytekappaleiden lisäys ja poisto tapahtuvat miesluukkujen kautta. Pesurin yläosan pisaranerottimien asennus ja huolto tehdään ylimmän miesluukun kautta, jolle on oltava vapaa haalausreitti nostokuilulta. Suutintukkien taakse on jätettävä suutintukin pituinen ulosvetotila. Täytekappalesäkit voidaan nostaa nostopalkilla alemmalta hoitotasolta tai laskea ylemmältä hoitotasolta irrotettavien ritilöiden aukon läpi täyttötasolle.

7.1.5 Ulospuhallussäiliö ja Jatkuva ulospuhallussäiliö

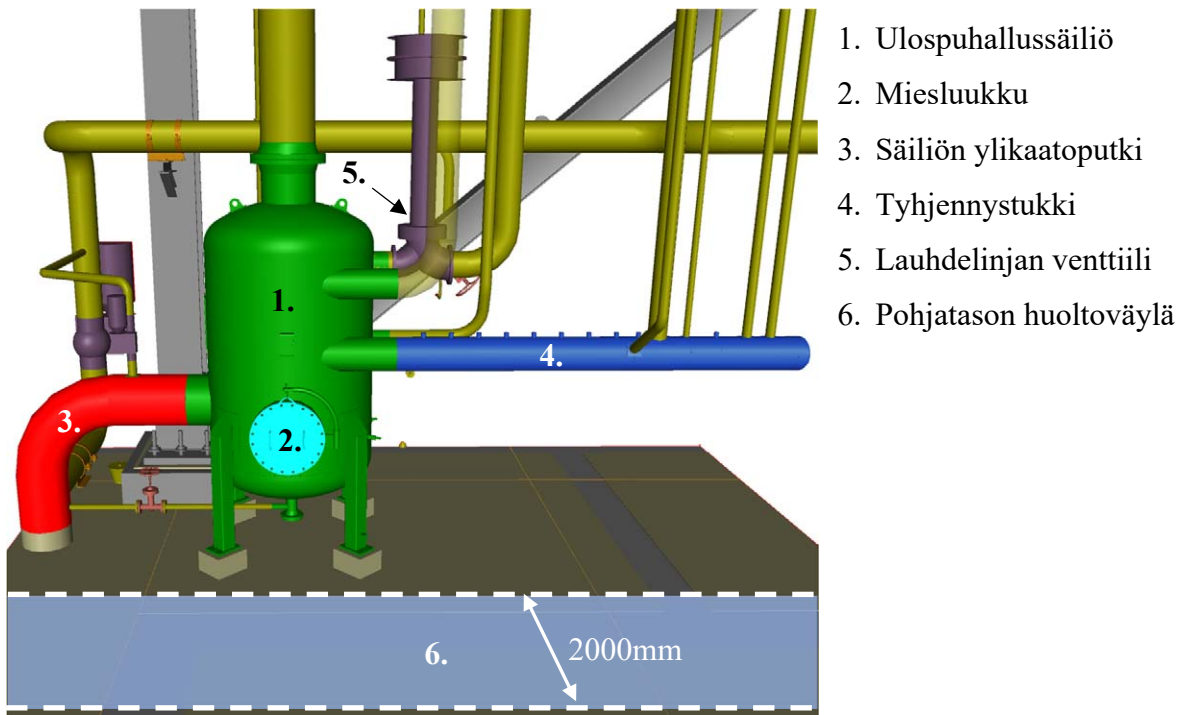
Kattilaveden epäpuhtauksien rikastumisen estämiseksi pieni osa kattilavedestä puhalletaan lieriöstä koko ajan pois jatkuvan ulospuhalluksen säiliöön (Andritz, 2019b). Jatkuva ulospuhallussäiliö (JUP) sijoitetaan syöttövesisäiliön yläpuoliselle tasolle. JUP-säiliössä on yli-painevaroventtiili, joka on sijoitettu säiliön yläkalottiin. Venttiilin huoltoa varten on venttiilin yläpuolelle varattava nostotila ja venttiilin irrottamisen helpottamiseksi on yläpuolisen tason teräsrakenteeseen lisättävä nostokorvake tai nostopalkki. Lieriöltä tulevan jatkuvan ulospuhalluksen putken venttiili sijoitetaan suoraan säiliön yhteeseen. JUP-venttiilille, paikalliselle pinnanmittaukselle ja miesluukulle on oltava pääsy hoitotason kulkuväylältä. Kuvassa 49 on näytetty 3D-mallista JUP-säiliön tarkastus- ja huoltokohteet.

Ulospuhallussäiliöön johdetaan vesi- ja höyrykammioiden tyhjennykset, kuten kattilan, nuohoushöyryn, ekonomaiserien ja keittopinnan tyhjennykset sekä syöttövesisäiliön ylikaadot. Lisäksi ulospuhallussäiliöön johdetaan jatkuvan ulospuhallussäiliön ja Recbo-säiliön lauhdet. (Andritz, 2019b.)

Ulospuhallussäiliö sijoitetaan syöttövesisäiliön sijoituksesta riippuen samalle puolelle pohjatasolle soodakattilarakennuksen nurkkaan huoltoreitin viereen (kuva 50). Tyhjennystukkien suunnat tulee tarkastaa, että ne eivät estä pohjatason huoltoreittejä eivätkä estä syöttövesipumppujen huoltotöitä. Miesluukulle tulee olla vapaa pääsy pohjatason kulkuväylältä. Miesluukun korkeus pohjatasosta on yleensä yli 1000 mm, mutta säiliön miesluukulle pääsyä varten ei lisätä kiinteää aputasoa, koska aputaso estäisi pohjatason huoltoreitin vapaata leveyttä. Tarvittaessa käytetään siirrettävää huoltoaputasoa. Recbo-lauhdesäiliöltä tulevan lauhdelinjan venttiilille on oltava pääsy.



Kuva 49. Jatkuvan ulospuhallussäiliön tarkastus- ja huoltokohteet (Andritz)

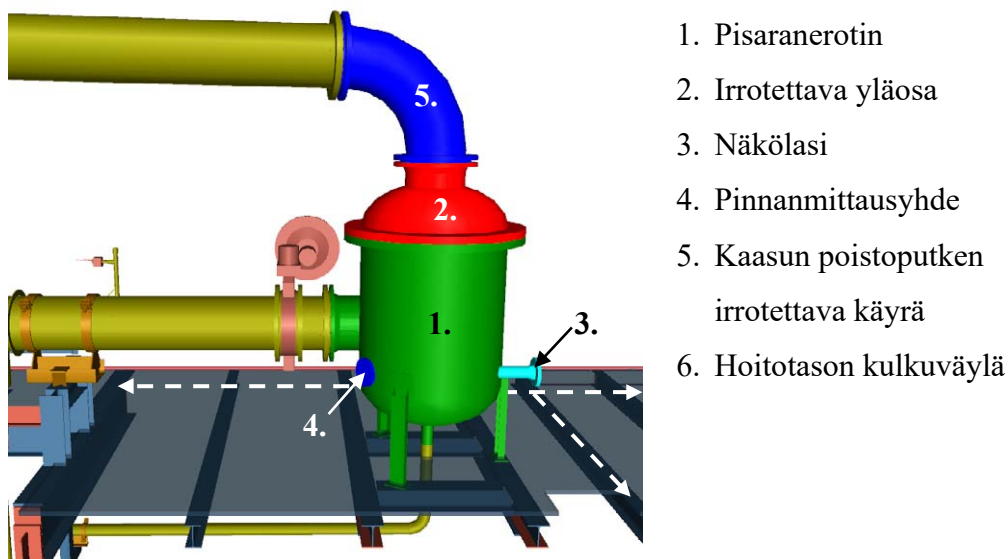


Kuva 50. Ulospuhallussäiliön huoltokohteet (Andritz)

7.1.6 Pisanerotin ja likaisen lauhteen säiliö

Väkevien hajukaasujen (CNCG) järjestelmässä käytetään ejektorin jälkeen pisanerotinta ennen hajukaasupoltinta. Pisanerotinsäiliön sisässä on demisterielementti, joka poistaa elementin läpi virtaavasta kaasusta kosteuden ja pisarat. Demisterielementti asennetaan ja vaihdetaan säiliössä laippaliitoksella olevan kannen kautta. Säiliön kansi on varustettu nostokorvakkeilla.

Layoutsuunnittelun on huomioitava luoksepäästävyys pisanerottimen näkölasille sekä pinnanmittaukselle (kuva 51). Näkölasista voidaan tarkastaa pinnanmittauksen asento ja pinnan korko, jolloin näkölasi tulee sijoittaa aina pinnanmittauksen vastapuolelle. Pisanerottimesta lähtevään kaasuputken käyrään on lisättävä laippaliitos, josta putki voidaan katkaista, kun säiliön yläosa irrotetaan. Pisanerottimen yläpuolisiin teräksiin tulee lisätä nostokorvake kannen pois nostamista varten.

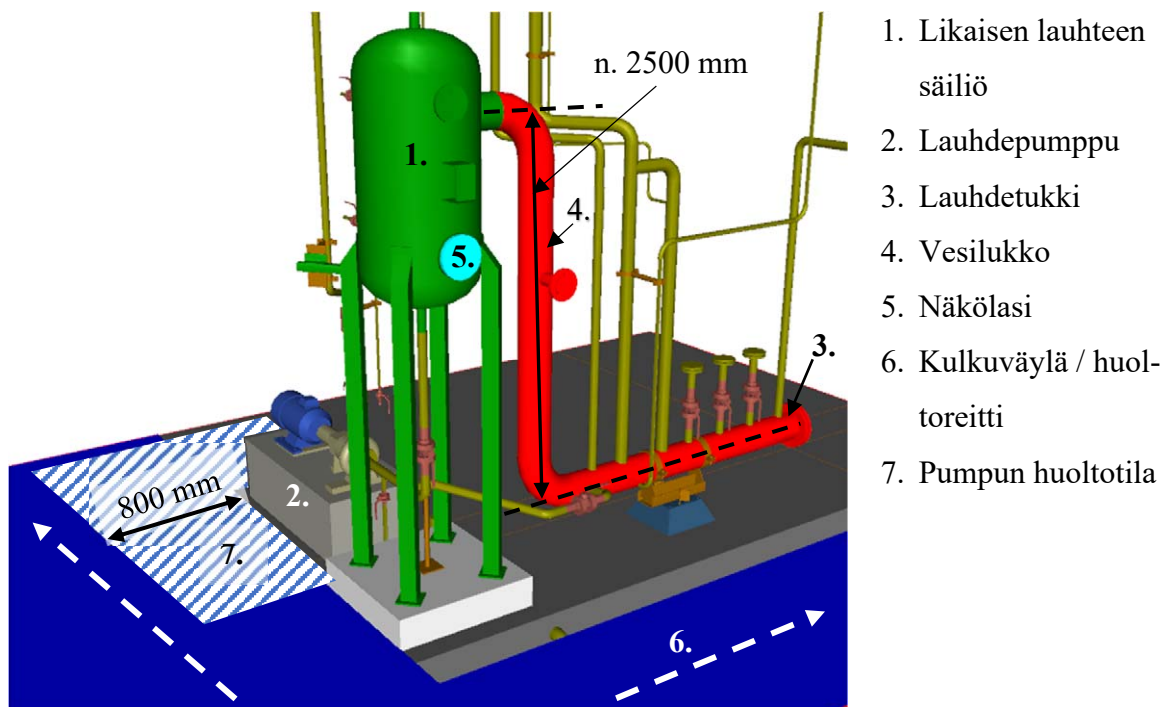


Kuva 51. Väkevän hajukaasujärjestelmän pisanerotin (Andritz)

Likaisen lauhteen säiliöön johdetaan lauhteet pisanerottimelta ja muualta väkevien hajukaasujen järjestelmästä. Säiliö on järjestelmässä alimpana ja sijoitetaan soodakattilarakennuksen pohjatasolle. Järjestelmän lauhteet tuodaan putkistolla säiliön lauhdetukille, josta lauhteet johdetaan säiliöön vesilukon kautta. Säiliön sijoituksessa on huomioitava

lauhdetukin vaatima tila ja tukin venttiileiden luoksepäästävyys. Lisäksi säiliön vieressä on oltava tila lauhdepumpulle ja pumpun huoltotilalle.

Vesilukon toimivuuden kannalta säiliön täyttöyhte on noin 2500 mm lauhdetukin keskilinjän yläpuolella, jolloin säiliölle ei ole suoraa pääsyä lattiatasosta. Korkealla sijaitseva säiliön näkölasi tulee suunnatta pohjatason kulkuväylän puolelle, jotta sille voidaan järjestää pääsy siirrettävällä huoltoaputiasolla. Kuvassa 52 on esitetty likaisen lauhteen säiliön layout järjestely.

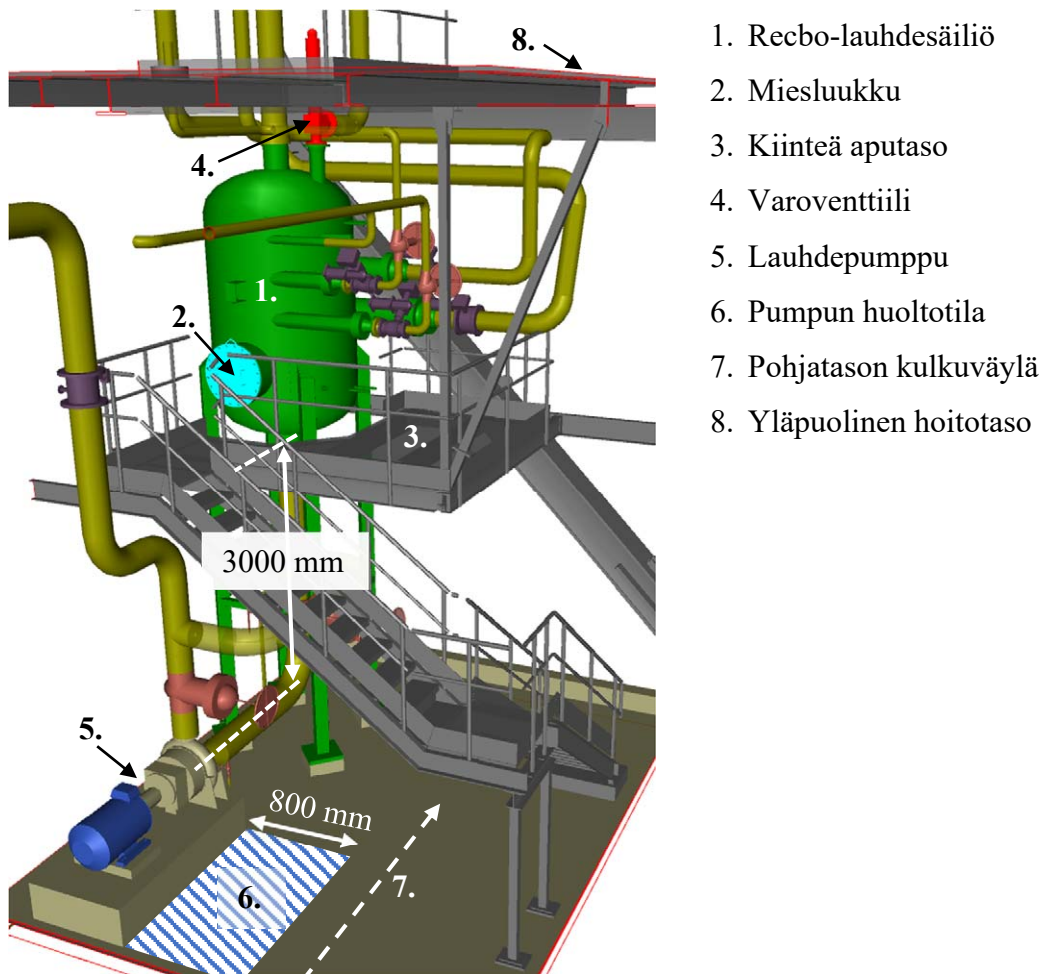


Kuva 52. Likaisen lauhteen säiliö (Andritz)

7.1.7 Recbo-säiliö

Soodakattilan höyryjärjestelmän lauhdesäiliöiden määrä riippuu kattilan kapasiteetista ja kuinka monessa tasossa ilman esilämmittimiä on. Välipainehöyryn lauhteet kerätään samassa paineessa olevaan paisuntasäiliöön, josta lauhde johdetaan matalampipaineiseen paisuntasäiliöön ja sieltä edelleen Recbo-säiliöön. Recbo-säiliöstä höyry johdetaan matalapainehöyryverkkoon ja säiliön lauhde johdetaan lauhdepumpulla syöttövesisäiliöön tai ulospuhallussäiliöön. (Andritz, 2019b.) Kuvassa 53 on esitetty Recbo-lauhdesäiliön järjestelyt.

Recbo-säiliön ja pohjatasolla olevan lauhdepumpun imulaipan ja säiliön pohjayhteen korkeusero tulee olla vähintään 3000 mm, jotta imuputki on aina täynnä lauhdetta. Säiliön miesluukulle ja säiliöön liittyvien putkien venttiileille tulee järjestää pääsy kiinteillä aputasoilla. Aputasolle pääsy voi olla tikkailla tai portailla riippuen tilasta ja mahdollisista asiakasvaatimuksista. Recbo-säiliön varoventtiili sijaitsee säiliön yläkalotissa, jonka nostotila on huomioitava ja varoventtiilille tulee olla pääsy ylemmältä hoitotasolta.



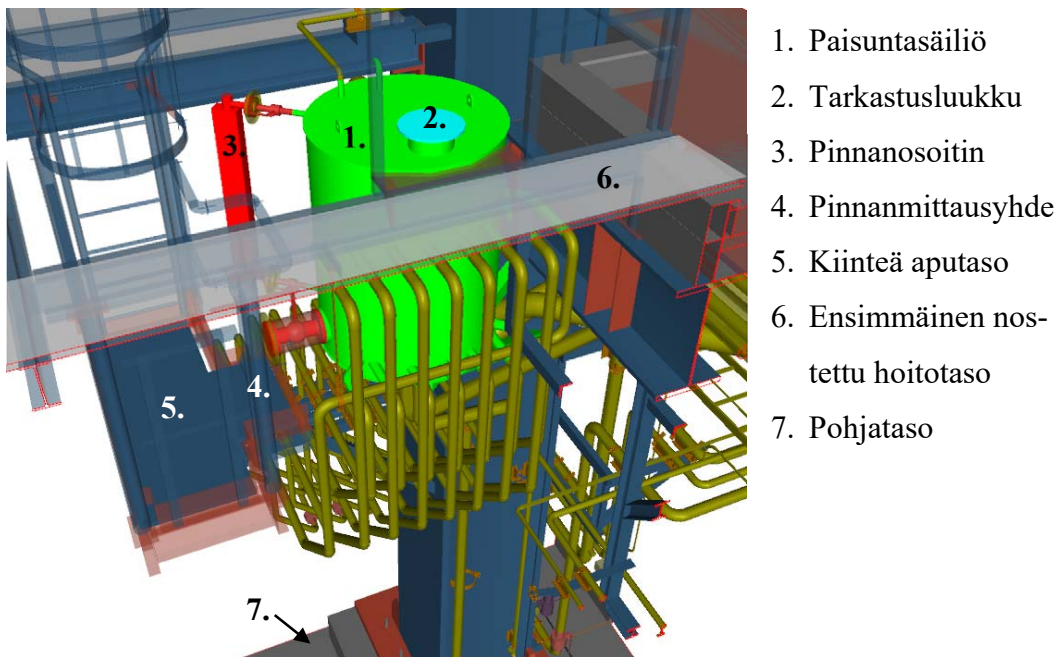
1. Recbo-lauhdesäiliö
2. Miesluukku
3. Kiinteä aputaso
4. Varoventtiili
5. Lauhdepumppu
6. Pumpun huoltotila
7. Pohjatason kulkuväylä
8. Yläpuolinen hoitotaso

Kuva 53. Recbo-lauhdesäiliön huoltokohteet (Andritz)

7.1.8 Sulakourujen jäähdytyskierron paisuntasäiliö

Soodakattilan pohjalta valuva sula johdetaan vedellä jäähdytettyjä sulakouruja pitkin liuotinsäiliöön. Sulakourujen jäähdytysjärjestelmän paisuntasäiliössä varastoidaan jäähdytyskierron vesi. Paisuntasäiliö sijoitetaan ensimmäisen nostetun hoitotason, eli sulakourujen

hoitotason alapuolelle liuotinsäiliön sivulle. Säiliön katossa olevalle tarkastusluukulle tulee järjestää pääsy hoitotasolta. Säiliö on varustettu tarkastusluukun lisäksi pinnanmittauksella ja pinnanosoittimella, mitkä tarvitsevat pääsyn. Pääsyä varten on hoitotason alapuolelle lisättävä tikkailla kuljettava kiinteä aputaso. Kuvassa 54 on esitetty tavanomainen paisuntasäiliön layout sijoittelu.



Kuva 54. Sulakourujen jäähdytyskierron paisuntasäiliö (Andritz)

7.2 Pumput

Kaikki korkeapainepumput ja pääosa prosessipumpuista sijoitetaan kattilarakennuksen pohjatasolle, mutta osa prosessipumpuista voidaan sijoittaa nostetuille betonisille hoitotasoille. Pumppujen alle valetaan betoniperustus, koska perustus vaimentaa pumpusta tulevaa värähtelyä ja perustuksen korkeus estää pesuvesien tai muiden nestevalumiin joutumisen pumppuille. Pumppujen perustustapaa ja perustusten vähimmäiskorkeutta määrittävät toisinaan myös toimitusprojektin asiakasvaatimukset. Jos pumppujen perustuksiin ei ole erillisiä asiakasvaatimuksia käytetään prosessipumpuissa 400 mm korkeita perustuksia. Syöttövesipumpun perustuksen koko ja korkeus tehdään pumpputoimittajan piirustuksien mukaisesti.

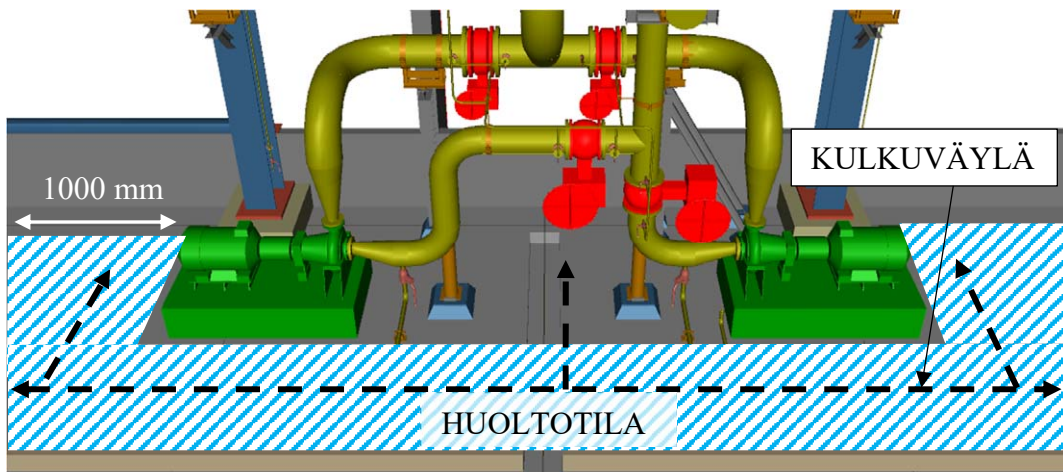
Lattiatasolla olevat pumput tulee järjestää layoutissa siten, että pumput ovat pohjatason huoltoreitiltä luoksepäästävässä. Kattilarakennuksen koosta ja layoutista riippuen saman järjestelmän pumput voidaan sijoittaa vierekkäin samalle perustukselle tai toisistaan irti. Pumput voivat olla myös vastakkain, jolloin putkiston venttiilit ovat operoitavissa samasta paikasta. Yksittäiset pumput sijoitetaan prosessin kannalta edulliseen paikkaan, missä putkimetrit säiliön ja pumpun välillä voidaan minimoida, huomioiden lattiatason kulkuväylät ja pumpun vaatimat huoltotilat.

7.2.1 Prosessipumppujen huoltovaatimukset

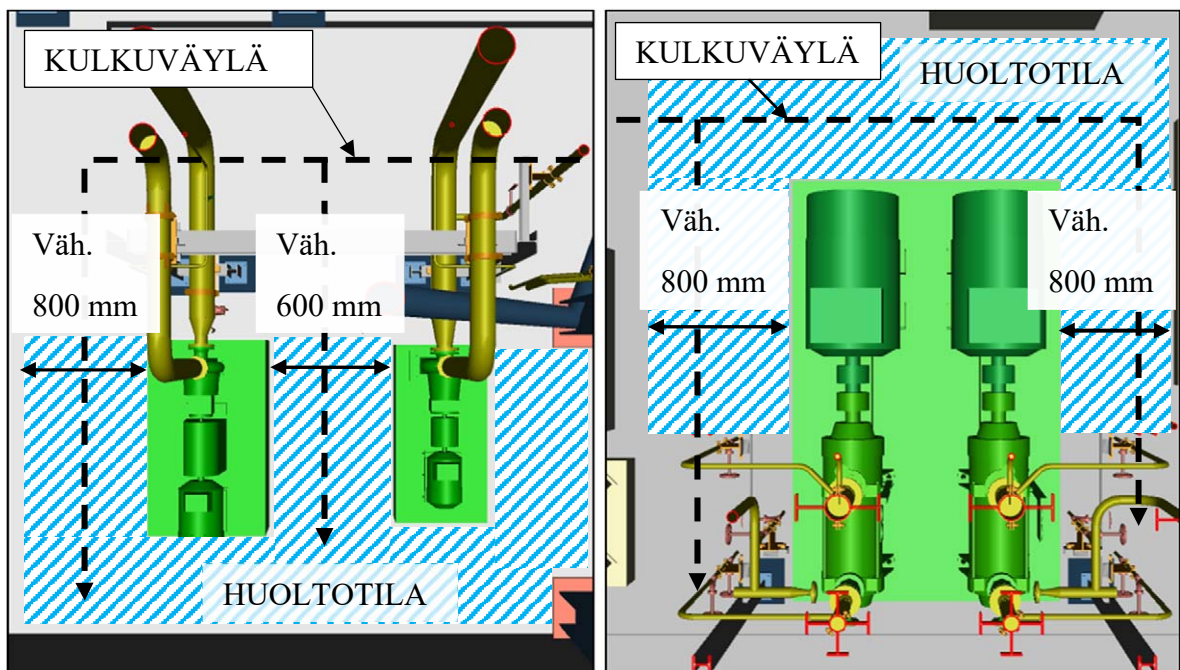
Pumpun moottori ja pumppuosa tulee olla vaihdettavissa, jolloin pumpuille tulee järjestää vapaa kulkuväylä osien haalausta varten ja tarvittavat huoltotilat pumppukärryjä tai trukkia varten. Pumpun moottori vaihdetaan joko suoraan takaa tai sivulta, ja pumppuosa vaihdetaan edestä tai sivulta. Pumppuihin liittyvät putkistot ja tiivistevesityhjennykset tulee sijoittaa layoutissa siten, että vähintään pumpun toiselta puolelta päästään suorittamaan huoltotoimenpiteitä. Tiivisteveden viemäriyhde sijoitetaan pumpun perustuksen viereen 100 mm etäisyydelle perustuksesta.

Prosessipumppujen koosta ja luoksepäästäväyydestä riippuen moottoreiden ja pumppuosan yläpuolelle tulee lisätä nostopisteet, joiden avulla komponenttien vaihtotyö voidaan tehdä pumpun vierestä tai takaa. Pumpun sivulle on pumppukärryä tai siirrettävää korjaamonosturia varten jätettävä vähintään 800 mm leveä vapaa tila ja taakse 1000 mm.

Prosessipumppujen putkistojen venttiilit tulee olla luoksepäästävässä suoraan lattiatasolta tai ylemmiltä hoitotasoilta. Yli 1800 mm korkeudella tason pinnasta olevat venttiilit tulee laskea alemmas muuttamalla putkireititystä tai sijoittamalla venttiili putkilinjalla eri paikkaan, kuitenkin prosessikaaviota noudattaen. Kuvissa 55 ja 56 on esimerkkejä pumppujen sijoituksesta ja huoltotiloista. Kuvissa on myös esitetty pumpuille tulevat kulkuväylät, joita pitkin osat voidaan haalata.



Kuva 55. Prosessipumppujen vastakkainen sijoitus ja huoltotilat. Venttiileille on pääsy pumppujen välistä (Andritz)



Kuva 56. Pumppujen vierekkäisen sijoituksen vaihtoehdot ja huoltotilat (Andritz)

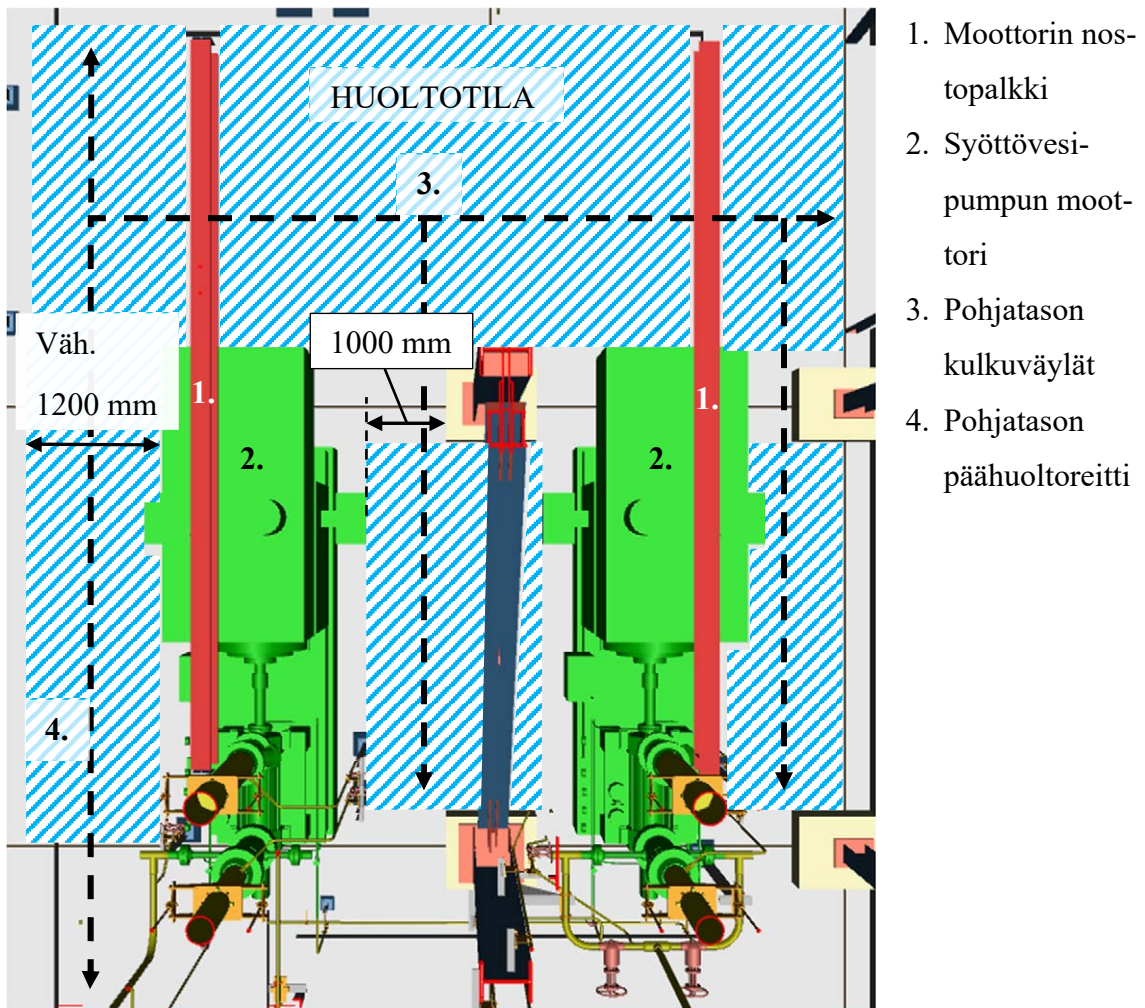
7.2.2 Syöttövesipumppujen huoltovaatimukset

Syöttövesipumppujen etu- ja takapuolelle tulee järjestää huoltoja varten vapaa pääsy. Syöttövesipumppujen imu- ja paineputkistojen tyhjennykset ja tiivistevesilinjat on reititettävä pumpun sivuilla, jotta putkistot eivät estä pumpun edestä tehtävää huoltoa. Viemärit on sijoitettava pumpun perustuksen sivulle, johon tyhjennysputket reititetään.

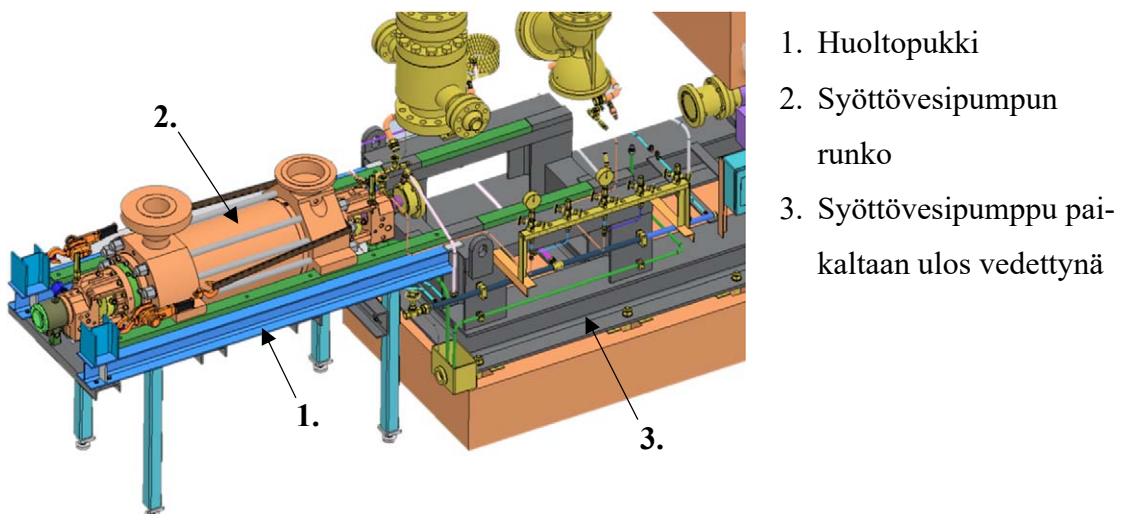
Syöttövesipumpun sivuttaisissa kulkuväylissä on huomioita moottorin kaapelointi, joka usein koteloidaan perustuksen sivuun. Syöttövesipumpun mukana tulevat paikalliset painemittaukset sijaitsevat pumpun sivulla ja ne on oltava pohjatasolta luoksepäästävässä. Syöttövesipumppu voidaan varustaa öljyvoitelukoneikolla, joka sijoitetaan pumpun sivulle. Öljykoneikon vaatima tila tulee huomioida, jotta pumpun sivulle jää vapaa kulkuväylä.

Syöttövesipumppujen moottorin vaihtoa varten tulee pumpun yläpuolelle lisätä nostopalkki, jolla moottori voidaan siirtää lattialle. Syöttövesipumpuille tulee järjestää min. 1200 mm leveä kulkuväylä trukille. Lämpimissä maissa soodakattilarakennuksen seinät ovat yleensä alhaalta auki, jolloin trukille voidaan järjestää huoltokulku suoraan moottorille rakennuksen ulkopuolelta tai siirtää moottori nostopalkin avulla seinälinjan ulkopuolelle.

Kuvassa 57 on esitetty syöttövesipumppujen tyypillinen sijoitus ja pumppujen yläpuolella olevat nostopalkit moottorin huoltoa varten. Syöttövesipumppujen pumppuosan yläpuolelle ei voida nostopalkkeja laittaa pumppujen suuntaisesti koska imu- ja painepuolen putkistot lähtevät pumpulta suoraan ylöspäin. Ensisijaisesti pumppuosan vaihto pitäisi pystyä tekemään trukilla, koska pumput ovat sijoitettu lattiatasolle, mutta jos se ei ole mahdollista, niin pumpun päälle tulee lisätä poikittainen nostopalkki pumppuosan irrottamista varten. Nostopalkin avulla pumppuosa voidaan nostaa perustuksen sivulle. Pumppu voidaan myös irrottaa ja vetää pois paikaltaan pumpun aksiaalisuunnassa, mutta se vaatii erillisen huoltopukin (kuva 58), jonka päälle pumppu vedetään taljoilla ja siitä edelleen voidaan nostaa trukin kyytiin. Huoltopukki tuodaan trukilla paikalle. Pumpun etupuolella tulee olla tarpeeksi tilaa huoltopukin paikalleen asentamista varten. Huoltopukin koko riippuu syöttövesipumpun koosta, jolloin pumpun eteen jätettävä vapaa tila on oltava vähintään pumppuosan pituus + 500 mm.



Kuva 57. Syöttövesipumpujen sijoitus ja huoltotilat (Andritz)



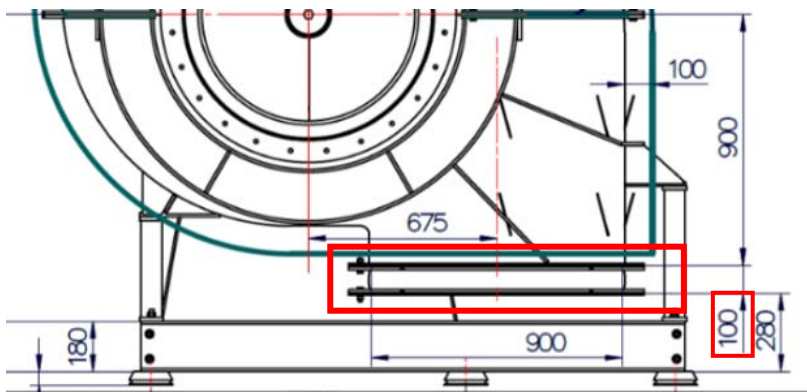
Kuva 58. Syöttövesipumpun huoltopukki (Andritz)

Syöttövesipumpun imu- ja paineputkiston venttiilit sijoitetaan yleensä syöttövesipumppujen yläpuolelle päähoitotasolle, jolloin venttiileitä päästään käyttämään suoraan hoitotasolta. Pumpun imuputken sihti sijaitsee pumpun päällä ja se tulee olla luoksepäästävässä. Sihti tulee olla käännettynä kulkuväylän puolelle, jolloin voidaan käyttää siirrettävää huoltotasoa. Riippuen layoutista ja asiakasvaatimuksista syöttövesipumpun yläpuolisille minimikiertoventtiileille ja instrumenteille pääsyn takia joudutaan lisäämään kiinteät aputasot. Aputasot voivat olla tikkailta varustettu. Kiinteiden aputasojen tapauksessa tilantarve tulee huomioida pumpun ympärillä olevien kulkuväylien leveyksissä ja huoltotiloissa.

7.2.3 Puhaltimet

Soodakattilatoimituksen puhaltimet sijoitetaan kattilarakennuksen sisään ja ainoastaan savukaasupuhaltimet sijoitetaan rakennuksesta erilleen sähkösuodattimien jälkeen. Projektin kohdemaasta ja soodakattilan kapasiteetista riippuen ilmapuhaltimet sijoitetaan lattiatasolle tai nostetuille hoitotasolle.

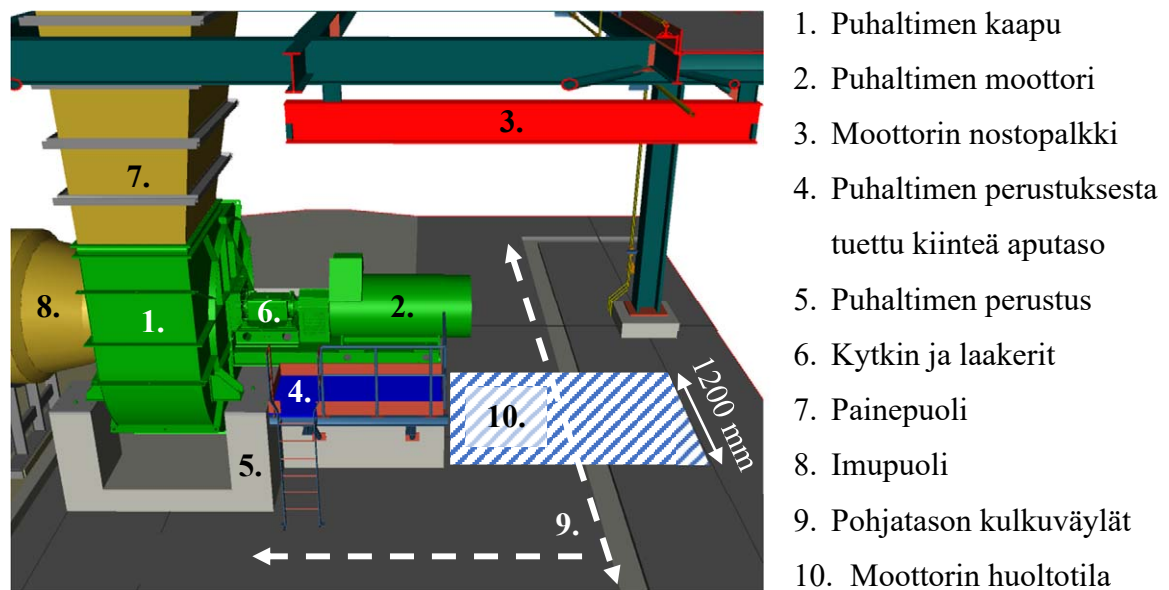
Puhaltimen painepuoli ja imupuoli varustetaan palkeilla ja ne kuuluvat puhallintoimittajan toimituslaajuuteen. Palkeet vähentävät puhaltimen kaapuun tulevia kanavakuormia ja puhaltimesta tulevien värinöiden johtumista kanavistoon. Kuvassa 59 on esitetty näkymä puhallintoimittajan piirustuksen painepuolen palkeesta. Palkeet on oltava vaihdettavissa ja se on huomioitava erityisesti nostetuilla hoitotasolla, jos puhallussuunta on tasoa kohti. Palkeen laippakiinnityksen pultit on pystyttävä aukaisemaan hoitotasolta käsin, jolloin palkeen korkeussijainti ei saa olla hoitotason yläpinnan alapuolella.



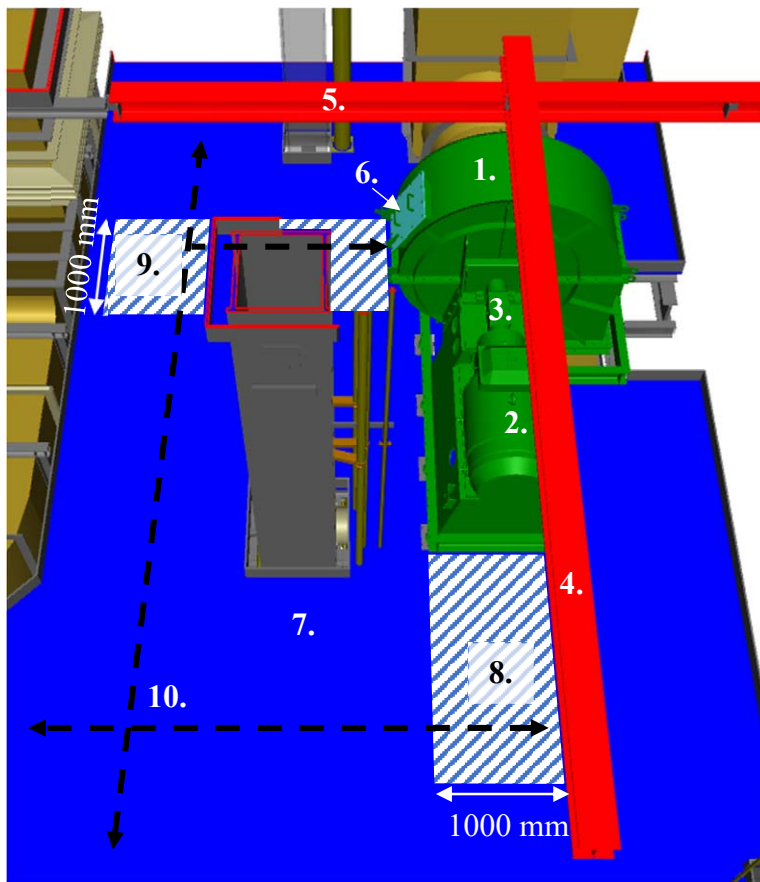
Kuva 59. Puhaltimen painepuolen palje (Andritz)

Puhaltimien päähuoltokohteet ovat puhaltimen siipipyörä, moottori ja akselin laakerit. Nostetuilla hoitotasolla tai paikoissa, mihin ei päästä suoraan trukilla tai muulla huoltoajoneuvolla, pitää puhaltimen siipipyörän ja moottorin huoltoja varten lisätä nostopalkit. Nostopalkkien suunnat tulee olla kulkuväylien puolelle ja hoitotasolla on oltava komponenteille riittävä laskutila. Siipipyörän vaihtoa varten on osa kaavusta irrotettava ja siirrettävä pois edestä, jotta siipipyörä saadaan kaavun sisältä ulos ja laskettua puhaltimen viereen. Irrotettava kaavun osa täytyy mahtua olemaan hoitotasolla siipipyörän vaihtotyön ajan. Kaavun katkaisukohta voi olla sektori, kaavun yläpuolisko tai kaavun aksiaalinen etulevy riippuen puhallintoimittajasta ja siipipyörän mitoista.

Siipipyörän ja moottorin välisen akselin laakereiden ja kytkimen tarkistusta ja huoltoa varten tulee järjestää vapaa pääsy tasolta tai aputasolta. Savukaasupuhaltimille ja muille korkealla betoniperustuksilla oleville puhaltimille pääsy järjestetään kiinteällä aputasolla. Aputaso voidaan kiinnittää puhaltimen perustukseen. Siipipyörän kaapu varustetaan huoltoluukulla, jonka korkeus lähimmältä tasolta tulee tarkastaa ja pääsy luukulle järjestettävä. Asiakasvaatimuksista riippuen korkealla sijaitseva huoltoluukku voi tarvita kiinteän aputason, muussa tapauksessa siirrettävä huoltoaputaso riittää. Kuvissa 60 ja 61 on esitetty puhaltimien sijoitukset lattiatasolle ja nostetulle hoitotasolle.



Kuva 60. Sekundääri-ilmapuhaltimen järjestelyt pohjatasolla (Andritz)



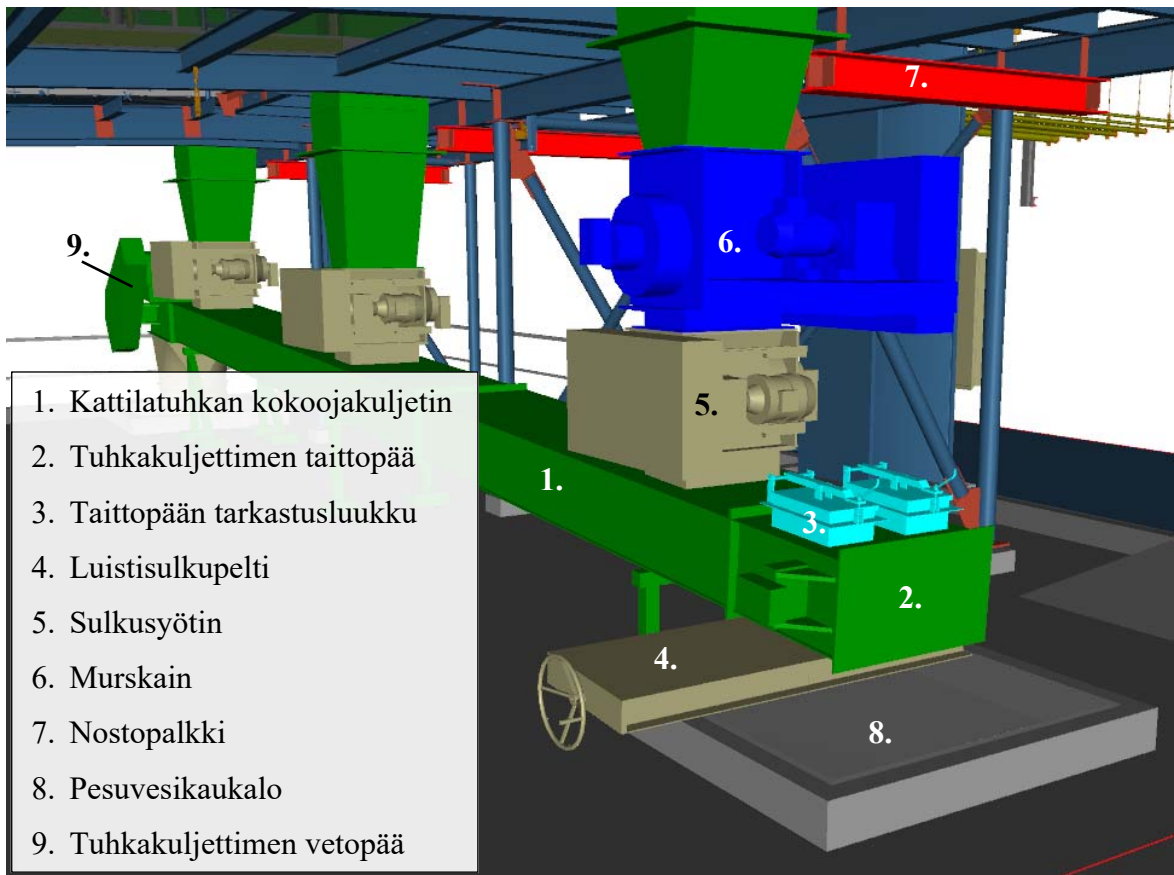
1. Puhaltimen kaapu
2. Puhaltimen moottori
3. Kytkin ja laakerit
4. Moottorin nostopalkki
5. Siipipyörän nostopalkki
6. Huoltoluukku
7. Ritolätaso
8. Moottorin huoltotila
9. Siipipyörän huoltotila
10. Hoitotason kulkuväylä

Kuva 61. Primääri-ilmapuhaltimen järjestelyt ritolätasolla (Andritz)

7.2.4 Tuhkakuljettimet

Soodakattilassa lentotuhka kerätään keittopinnan ja ekonomaisereiden tuhkasuppiloista sekä sähkösuodattimien pohjalta. Tuhkakeräilyn pääperiaate on aina sama, mutta kuljettimien lukumäärä voi vaihdella kattilakapasiteetin, layoutin ja sopimuksen mukaan.

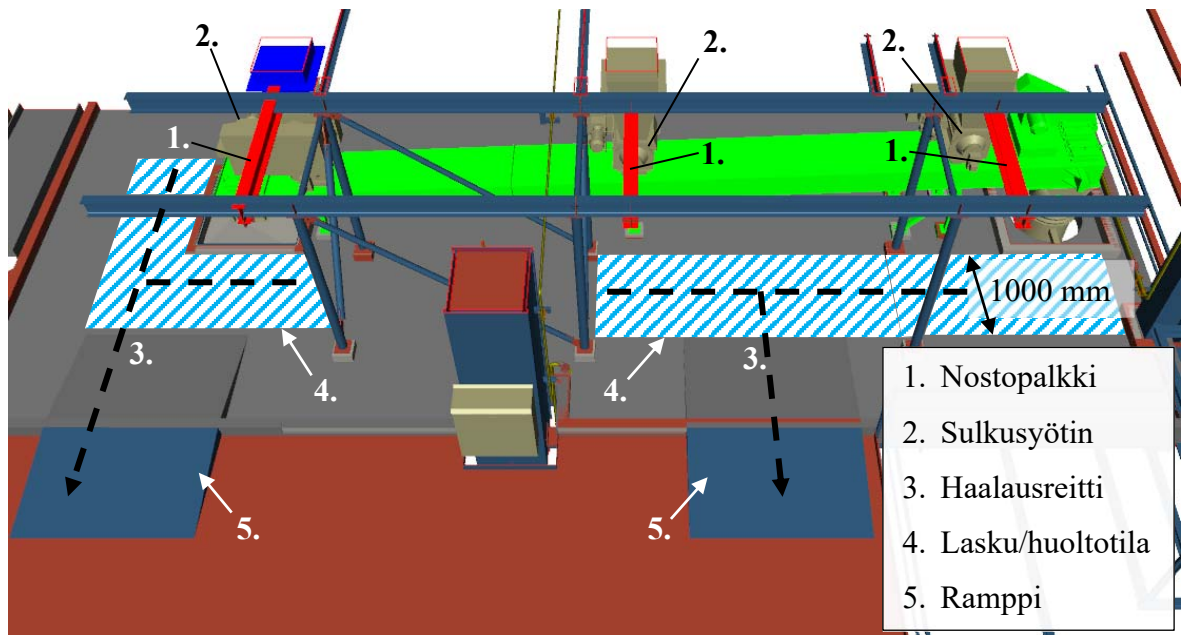
Kuljettimien vesipesua varten taittopään alla on oltava pesuvesikaukalot. Vetopästä syötetty vesi valuu kuljetinta pitkin ja poistuu taittopästä luistisulkupellin kautta betonitasolla oleviin pesuvesikaukaloihin. Tuhkakuljettimen ulostulopään luistisulkupellin käyttöpyörälle tulee olla pääsy. Käyttöpyörän vaatima tila tulee ottaa huomioon, ettei sulkupelti törmää ympäröiviin laitteisiin tai teräksiin eikä pelti tuki kuljettimen ympärillä olevilla kulkuväylillä. Kuljettimen ketjun vaihtoa varten on jätettävä taittopään taakse noin 2000 mm vapaa tila. Kuvassa 62 on esitetty kattilatuhkan kokoojakuljettimen järjestelyt ja pääosat.



Kuva 62. Kattilatuhkan kokoojakuljettimen järjestelyt (Andritz)

Tuhkakuljettimien ja sulkusyöttimien tarkastusluukuille tulee järjestää pääsy joko siirrettävällä hoitotasolla tai kiinteällä aputasolla. Tuhkasuppiloiden pohjassa olevien kuljettimien viereen tulee suunnitella kuljettimen pituudelta hoitotasot, koska kuljettimissa on yleensä tarkastusluukut toisella sivulla. Kokoojakuljettimilla voidaan käyttää siirrettäviä hoitotasoja tai tarvittaessa kiinteitä aputasoja. Tuhkakuljettimien syöttösuppiloissa on myös näytteenottoyhde, jolle tulee järjestää pääsy tarvittaessa siirrettävällä huoltoaputasolla.

Sulkusyöttimille ja murskaimille on oltava hoitotasolla riittävät laskutilat, joille ne voidaan huoltojen aikana laskea. Laskutiloista on järjestettävä vapaa huoltoreitti nostokuilulle. Huoltoreitillä on oltava rampit betonikynnyksen yli. Vaihtotyötä varten tarvitaan yläpuolisiin teräksiin nostopalkit. Kuljettimien ja sulkusyöttimien moottoreiden vaihto tulee myös huomioida tarvittavilla laskutiloilla ja moottorille on päästävä vähintään siirrettävällä hoitotasolla. Kuvassa 63 on esitetty kokoojakuljettimen sulkusyöttimien laskutilat ja haalausreitit. Laskutilojen koko määräytyy sulkusyöttimen mittojen mukaan.

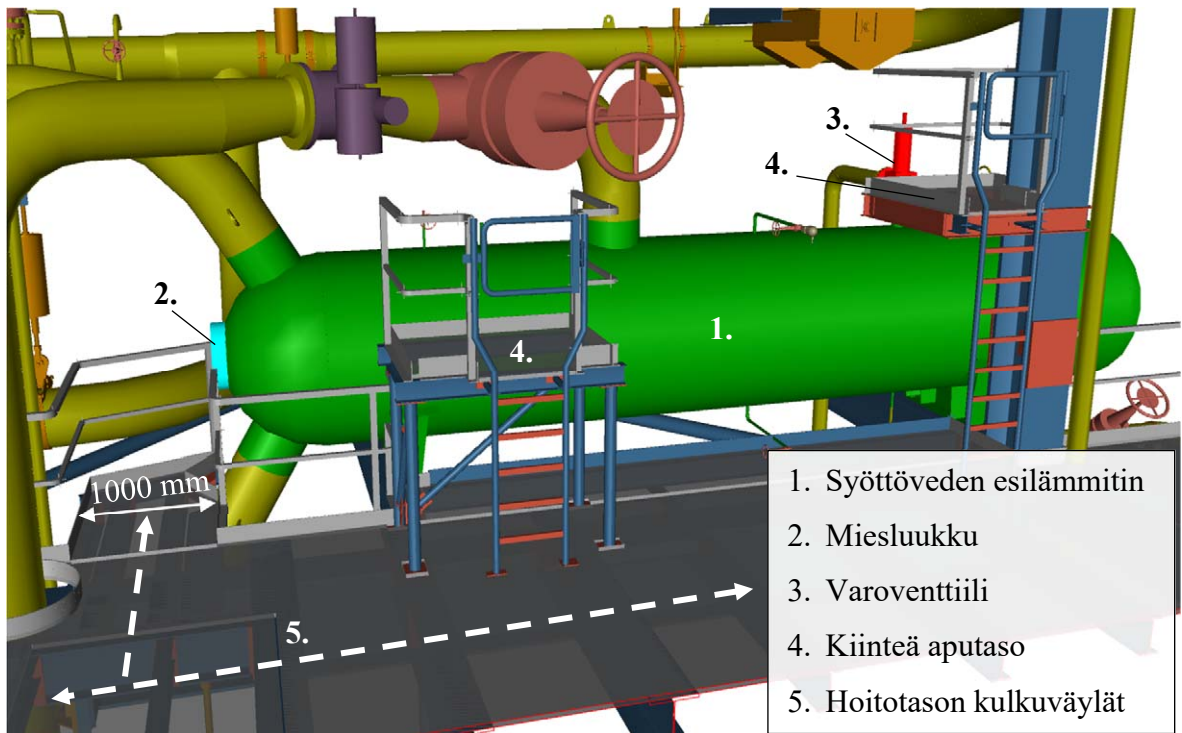


Kuva 63. Sulkusyöttimien ja murskaimen huoltotilat ja haalausreitit (Andritz)

7.3 Lämmönsiirtimet

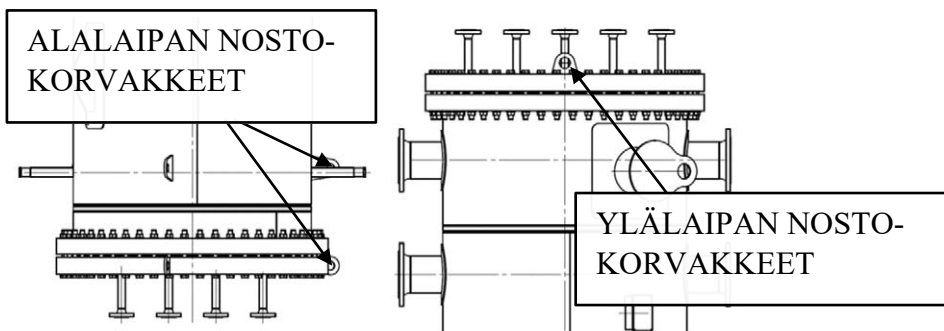
Soodakattilaprosessissa käytetään lämmönsiirtimiä hyötysuhteen parantamiseksi. Lämmönsiirtimillä jäädytetään tai esilämmitetään mediaa riippuen järjestelmän käyttökohteesta. Yleisimmät lämmönsiirintyytit ovat putkilämmönsiirtimet ja levylämmönsiirtimet.

Korkeapaineiset putkilämmönsiirtimet ovat syöttöveden esi- ja välilämmittimet sekä dolezal. Ne ovat yleensä vaakamallisia ja sijoitetaan tasoterästen päälle. Putkilämmönsiirtimien miesluukuille, tarkastusluukuille ja mittauksille on oltava pääsy hoitotasolta. Jos putkilämmönsiirtimessä on irrotettava päätylevy tai puolipallopäätty, sille on varattava tarvittaessa yläpuolelle nostokorvake. Syöttöveden esi- ja välilämmittimet (kuva 64) on varustettu varoventtiileillä, jotka on oltava huollettavissa. Varoventtiilille on järjestettävä pääsy joko siirrettävällä hoitotasolla tai kiinteällä aputasolla. Kytkeytyvien putkistojen käsiventtiilit on oltava käytettävissä ja automaattiventtiileiden toimilaitteille tulee olla pääsy.



Kuva 64. Syöttöveden esilämmittimen huoltokohteet (Andritz)

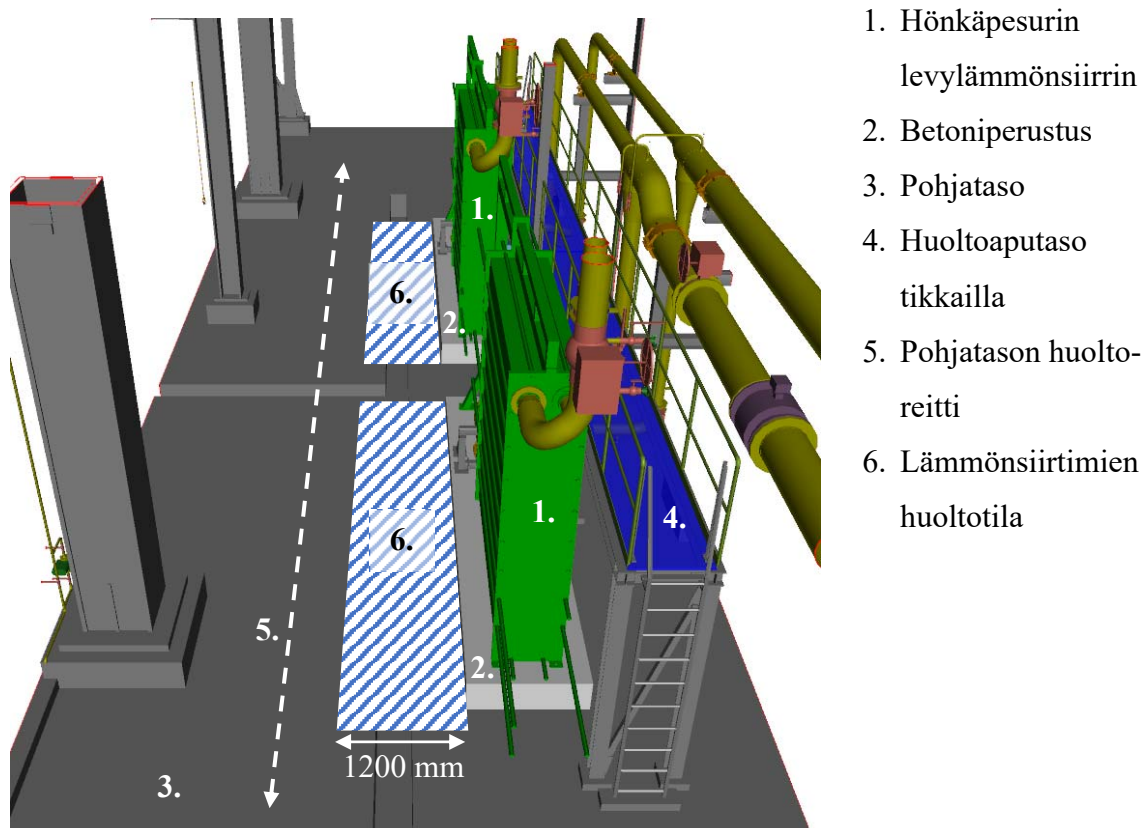
Matalapainepuolen putkilämmönsiirtimet ovat pääasiassa vertikaalimallisia, jolloin lämmönsiirrin roikkuu hoitotason läpi kannatuskonsoleistaan. Matalapaineisissa putkilämmönsiirtimissä voi olla tarkastuksia ja huoltoja varten irrotettavat ylä- ja alapään laipat tai puoli-pallopäädät. 3D-malliin on varattava lämmönsiirtimen ylä- ja alapuolelle tarvittavat nosto- ja laskutilanvaraukset. Yläpäädyn irrottamista varten tarvitaan yläpuolelle nostokorvake. Ala-pääty lasketaan lämmönsiirtimen rungossa olevasta nostokorvakkeesta. Kuvassa 65 on esitetty liuotinsäiliön hönkäpesurin putkilämmönsiirtimen irrotettavat laipat ja nostokorvakkeet huolto varten.



Kuva 65. Hönkäpesurin putkilämmönsiirtimen irrotettavat ala- ja ylälaipat (Andritz)

Levylämmönsiirtimet sijoitetaan pääasiassa lattiatasolle ja nostetuille betonihoitotasolle. Levylämmönsiirtimien perustuskorkeus tulee olla lattiatasolla projektissa sovittu minimi perustuskorkeus, kuitenkin vähintään 200 mm, jotta lämmönsiirrin on lattian pesuvesien yläpuolella.

Levylämmönsiirtimien sivulle on järjestettävä vähintään toiselle puolelle huoltotila, josta siirtimen levypakan levyjä voidaan tarvittaessa vaihtaa. Huoltotilan tulee olla vähintään 800 mm leveä ja tarvittaessa leveämpi riippuen levylämmönsiirtimen leveydestä ja levyn korkeudesta. Korkeiden levyjen irrottamista varten tarvitaan sivulle tila siirrettävälle huoltotasolle tai trukille. Lämmönsiirtimeen kytkeytyvien putkistojen venttiileille on oltava pääsy tasolta, joka on huomioitava venttiilien sijoittelussa. Korkeiden levylämmönsiirtimien venttiilit voivat sijoittua liian korkealle lattiatasosta käsiteltäviksi, jolloin venttiileitä varten on lisättävä kiinteä aputaso. Lämmönsiirtimen levypakan pinnapultit täytyy myös mahtua vetämään kokonaan ulos etu- tai takapuolelta. 3D-mallissa pinnapultit voidaan mallintaa ulosvetopituuteen. Kuvassa 66 on esitetty liuotinsäiliön hönkäpesurin suurikokoisten lämmönsiirtimien järjestelyt ja huoltotilat. Venttiileille pääsyä varten on lisätty kiinteä aputaso.

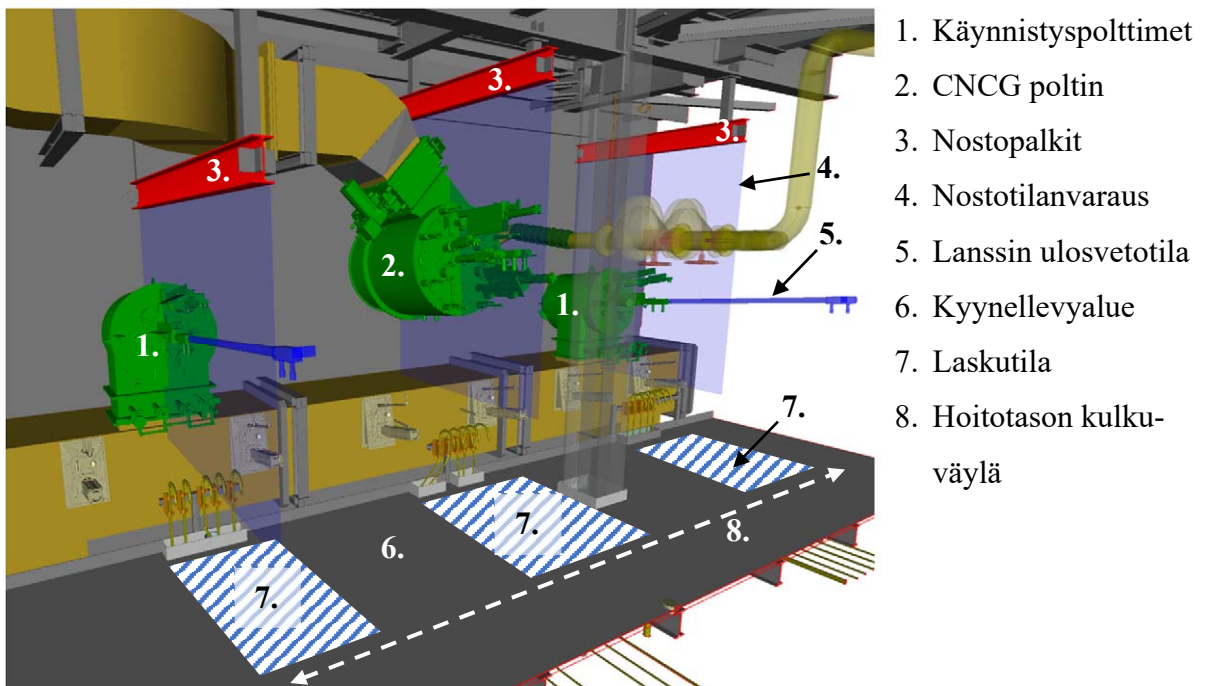


Kuva 66. Levylämmönsiirtimien huoltotilat ja kiinteä aputaso (Andritz)

7.4 Polttimet ja venttiiliryhmät

Soodakattilassa käytetään kattilan kapasiteetin mukaisesti tietty määrä apupolttimia, joita ovat käynnistyspolttimet ja kuormapolttimet sekä väkevien hajukaasujen (CNCG) poltin. Apupolttimissa voidaan käyttää useita eri polttoaineita. (Andritz, 2019b.)

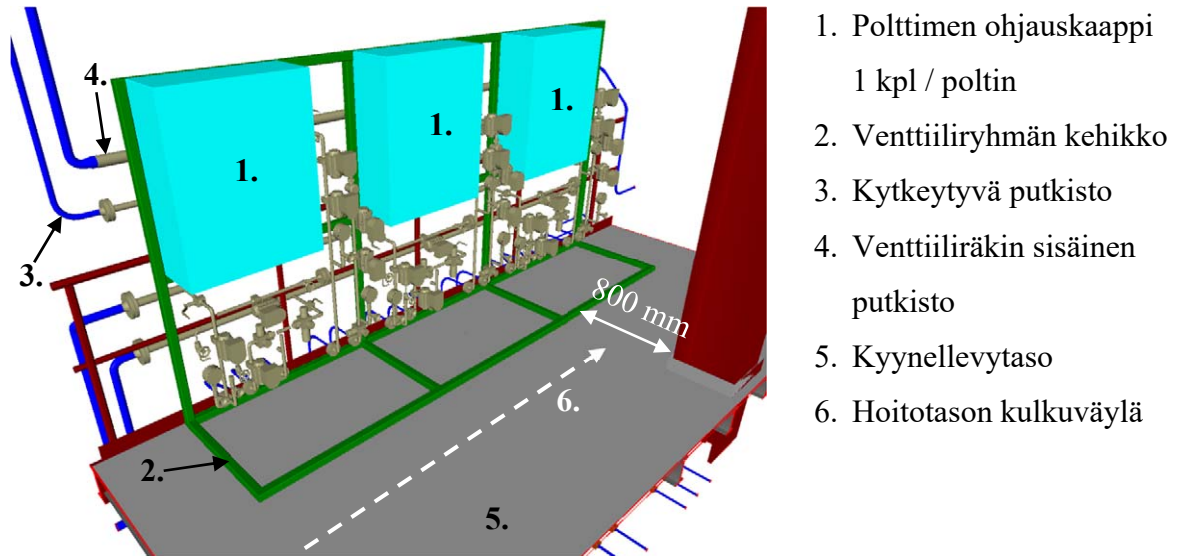
Apupolttimien yläpuolelle on sijoitettava teräsrakenteesta kannakoidut nostopalkit ja hoitotasolla on oltava polttimen edessä tarvittava laskutila. Polttimelle tulevat putkistot tulee sijoittaa yhtenä ryhmänä polttimen eteen hoitotason reunaan tai polttimen sivulle tason yläpuolelle. Polttimen lansseille on varattava ulosvetotila. Kuvassa 67 on esitetty käynnistyspolttimien ja väkevien hajukaasujen polttimen huoltotilat.



Kuva 67. Apupolttimet ja huoltotilat (Andritz)

Jokaisella apupolttimella on oma venttiiliryhmä. Venttiiliryhmät on yleensä sijoitettu samaan teräshekkoon vierekkäin, jolloin ryhmää varten on hyvä tehdä poltintasolle suunnittelun alkuvaiheessa tilanvaraus. Apupolttimille syötettävät polttoaineet ja hajotusaineet, kuten paineilma ja höyry, tuodaan siirtoputkistolla venttiiliryhmille ja niistä edelleen

pienputkistolla polttimille. Kuvassa 68 on esitetty yhteisessä räkissä olevat käynnistyspolttimien (3 kpl) venttiiliryhmät.



Kuva 68. Käynnistyspolttimien venttiiliryhmän kehikko (Andritz)

Venttiiliryhmät sijoitetaan apupoltintasolle lähelle polttimia. Venttiiliryhmän sijoituksessa täytyy huomioida luoksepäästävyys venttiileille ja ohjauskaapille. Venttiiliryhmän edessä tulee olla tilaa työskennellä ja ohjauskaapin oven täytyy mahtua aukeamaan siten, että kulkuväylä pysyy vapaana. Ahtaissa tiloissa venttiiliryhmä tulee sijoittaa lähelle tason reunaa, jotta se ei tuki kulkuväyliä ja etupuolelle saadaan tarvittava työtila. Venttiiliryhmän räkin pohjalevyn tulee olla umpinainen tai hoitotasolla on oltava kyynellevyalue estämään nesteiden valumista alemmille tasoille.

8 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella soodakattilalaitosten toimitusprojektien yleiset huoltovaatimukset ja määrittää huoltovaatimuksia vastaavat laitesijoitusratkaisut. Tutkimustyö tehtiin laitossuunnittelun näkökulmasta. Sen vuoksi sekä teoria- että käytännön osuuksissa keskityttiin kokonaisuuksiin ja soodakattilaprosessin pääjärjestelmiin.

Soodakattilan prosessirajapintojen selvittämiseksi ja kokonaisuuden ymmärtämisen vuoksi teoriaosuudessa käsiteltiin kirjallisuuslähteiden pohjalta sulfaattiselutehtaan perusprosessi sekä kemikaalien talteenotto-prosessin osalta lipeäkierto ja kalkkikierto. Teoriaosuudessa käsiteltiin lisäksi soodakattilan tehtävät, rakenne ja järjestelmiin kuuluvien laitteiden toiminta.

Tutkimuksen käytännön osuuden ensimmäinen vaihe oli löytää soodakattilalaitoksesta huollettavuuteen ja käytettävyyteen vaikuttavat tekijät. Tämä vaati soodakattilaprosessiin kuuluvien järjestelmien lisäksi prosessin ulkopuolisten osatekijöiden, kuten kattilarakennuksen ja siihen liittyvien rajapintojen tutkimisen. Toisessa vaiheessa määritettiin laitekohtaisesti keskeiset huoltovaatimukset, jotka perustuvat projekteista kerättyihin asiakaspalautteisiin, asiakkaiden huoltovaatimuksiin sekä yrityksen asennus- ja käyttöönottohenkilöstön palautteisiin.

Tällä hetkellä käytössä oleva laitossuunnittelumanuaali käsittelee prosessivaatimusten ja teknologian kannalta optimaaliset ratkaisut ja säännöt. Tutkimuksessa tehdyn huollettavuustarkastelun pohjalta manuaaliin voitiin lisätä huoltovaatimusten mukaiset yleiset ja laitekohtaiset säännöt sekä ohjeistukset. Kehitystyössä pystyttiin osoittamaan kattilalaitoksen layoutin perusratkaisujen vaikutus käytettävyyteen ja huollettavuuteen sekä suunnitteluvaiheessa huomioitavat tärkeimmät huollettavuuden osatekijät kuten nostopalkit, laskutilat, huoltotilat, kohteelle pääsy ja huoltoreitit. Työssä käytettiin paljon esimerkkikuvia, joissa huolto-kohteet, kulkuväylät ja laitteiden pääosat oli havainnollistettu ja esitetty numeroin ja selite-tekstein. Työn keskeinen tavoite oli parantaa laitossuunnittelun laatua lisäämällä laitossuunnittelijoiden huoltotietoisuutta ja yhdenmukaistamalla laitesijoitusratkaisut.

8.1 Laitesijoitussääntöjen määrittäminen

Työssä käsiteltyjen järjestelmien ja niihin liittyvien laitteiden huoltotarpeet perustuvat useasta projektista saatuihin palautteisiin ja asiakkaiden vaatimuksiin. Työssä pyrittiin määrittämään laitteiden ja ympäristön välisiä vähimmäisetäisyyksiä, joita komponenttien huoltamiseen vaaditaan ja joita yleisesti käytössä olevat huoltoapuvälineet tarvitsevat. On kuitenkin tärkeää ymmärtää, että huollettavuuden kannalta optimaaliset tilat ovat tavoitteita, joita ei välttämättä laitoslaitosten layoutissa voida aina saavuttaa. Laittekohtaisesti pyrittiinkin osoittamaan tärkeimmät huoltotilat ja huoltokohteet, jotka vähintään on huomioitava layoutsuunnittelussa.

Tutkimusta tehtäessä pohdittiin mahdollisuutta automatisoida laitesijoitussääntöjä, jossa laitteiden sijoitus suhteessa ympäristöön perustuisi muuttujiin. Havaittiin kuitenkin, että toimitusprojektissa laitekohtaisten sijoitussääntöjen määrittäminen muuttujaperusteisiksi lukuarvoiksi olisi hyvin vaikeaa, koska soodakattilaprojektien asiakaskohtainen räätälöintiaste on korkea. Toimitusprojektien laitesijoittelu riippuu soodakattilan kapasiteetista, kattilarakennuksen koosta, projektin maantieteellisestä sijainnista, kattilalaitoksen tontin koosta ja tontin sijainnista tehtaalla. Lisäksi soodakattilatoimitukseen saattaa sopimuksesta riippuen kuulua myös muiden tuoteryhmien tai prosessialueiden laitteita. Nämä laitteet eivät kuulu soodakattilalaitoksen peruslayoutiin, jolloin laitteiden sijoittaminen kattilalaitokseen vaatii aina kokonaislayoutin kannalta erityistarkastelun. Muuttujiin perustuvissa sijoitussäännöissä pitäisi huomioida kaikki variaatiot, joista vähintään laitteen koko, sijainti laitoksella, laitteen asento sekä ympäristön rajoitteet tulisi arvottaa. Pelkästään näillä muuttujilla määrittäminen olisi erittäin suuritöistä ja todellinen hyöty olisi kyseenalainen, koska yksityiskohtaista layoutsuunnittelua ei voi loppujen lopuksi tehdä vain numerotaulukkoa seuraamalla. Tutkimuksessa keskityttiin tästä syystä osa-alueittain käytettävyyteen ja huollettavuuteen vaikuttaviin keskeisiin tekijöihin. Teknistä-, huollettavuus- ja prosessitietoutta soveltamalla laitossuunnittelijan on suunniteltava laitesijoitus ja välillä ratkaisu on edellä mainittujen osa-alueiden kompromissi. Parametrissa mallia voisi ehkä hyödyntää myyntivaiheen peruslayoutia tehdessä, mutta sitä ei lopputyön aikana enempää tutkittu.

Tutkimuksen tavoitteena oli antaa perusteet laitteiden huolloille ja luoksepäästävyydelle. Tavoite saavutettiin tehtävänannon mukaisesti. Laitesijoitussäännöt antavat hyvän lähtökohdan toiminnallisen ja turvallisen laitoksen suunnittelulle, mutta toimitusprojekteissa

asiakkaan asettamiin tavoitteisiin pääseminen vaatii edelleen asiakkaan ja Andritzin välistä kommunikointia ja yhteistyötä. Layoutsäännöstö on jatkuvasti kehittyvä ja päivittyvä prosessi, jossa säännöstöä päivitetään teknologian kehityksen ja vaatimusten muuttumisen myötä. Se vaatii suunnittelijoilta kehittymishalua ja avoimuutta uuden oppimiselle.

8.2 Nostoapulaitteiden tarkastelu

Raskaiden taakkojen hallitut ja turvalliset nostotyöt ovat huoltotehtävien kannalta merkittäviä. Nostotyöt ovat työsuojelulainsäädännön piirissä ja niiden suorittamiseen liittyy paljon riskejä. Tämä on todennäköisesti yksi tekijä, miksi huollettavuusvaatimusten painottuminen kattilatoimittajien suuntaan on lisääntynyt. Asiakkaan suorittamat nostotyöt tilapäisnostoapuvälineillä sekä telineillä vaativat asiakkaan organisaatiolta nostotöiden organisointia, kustannuksia ja aikaa. Telineityöt ovat luvanvaraisia, jotka asiakkaan täytyy tilata ulkopuoliselta urakoitsijalta tiettyyn tehtävään tietyksi ajaksi. Nostotyössä käytettävät tilapäiset tarraimilla kiinnitettävät nostoketjut tai -liinat ovat lisäriskitekijöitä, koska teräsrakenteeseen saa lähtökohtaisesti kiinnittää nostolaitteita vain niille osoitettuihin pisteisiin, kuten nostokorvakkeisiin tai nostopalkkeihin. Kattilalaitoksen toimitukseen sisältyy teräsrakenteeseen kiinnitettävät laitekohtaisille kuormille mitoitetut nostopalkit ja huoltotehtävissä tarpeelliset kiinteät aputasot. Nämä mahdollistavat komponenttien turvallisen vaihtotyön suorittamisen asiakkaan oman huoltohenkilöstön toimesta juuri huoltotarpeen hetkellä.

Myyntisopimukseen on haastavaa määrittää projektissa toimitettavien nostopalkkien kokonaislukumäärää, koska nostopisteiden tarve riippuu hyvin paljon laitesijoittelusta. Tutkimuksessa tehdyn huollettavuustarkastelun ja laitesijoitussääntöjen avulla voimme budjetoida tulevaisuudessa hyvinkin tarkkaan projekteissa tarvittavat laitekohtaiset nostopalkit. Nostokorvakkeiden tarve pienemmille komponenteille joudutaan siltikin tarkastamaan projekti-kohtaisesti, koska esimerkiksi venttiileiden sijoitus riippuu putkistoreitityksistä. Nostokorvakkeiden hankintakustannukset projektille ovat kuitenkin hyvin alhaiset.

8.3 3D-mallin hyödyntäminen

Lopputyössä käsiteltiin yleisten sääntöjen ja laitekohtaisten sääntöjen osioissa 3D-mallin käyttöä, koska 3D-mallin merkitys on selvästi korostunut viimeaikaisissa projekteissa.

Perinteisesti laitossuunnittelun tehtävä on ollut suunnitella prosessivaatimukset täyttävä ja teknisesti toimiva laitos. Suunnittelun lopputuotteena ovat olleet 2D-piirustukset, joista kolmiulotteinen tilan hahmotus on vaikeampaa ja siksi suunnitteluvaiheessa huollettavuutta on vähemmän tutkittu. Nykyiset 3D-suunnittelutyökalut antavat mahdollisuuden tarkastella tulevaa kattilalaitosta monesta eri näkökulmasta. Samassa kolmiulotteisessa mallissa on nähtävissä laitoksen fyysinen koko ja ulkonäkö, materiaalit, tilankäyttö, laitteet, kanavistot, putkistot, tiestö ja tarvittaessa ympäröivä maasto. Asiakaskunnan vaatimukset 3D-mallin käytöstä ja mallinnustarkkuudesta ovat vuosien varrella lisääntyneet ja asiakkaiden layout-katselmoinnit ovat selvästi painottuneet laitoksen huollettavuuden tarkasteluun. Ei riitä, että laite ja siihen liittyvät komponentit on esitetty, vaan halutaan nähdä myös laitteiden huolto-kohteet, ympäröivät huoltotilat, huoltoapuvälineiden käyttömahdollisuus ja jopa niiden varastointipaikat.

Kattilalaitoksen kokonaissuunnittelusta vastaa yrityksen sisäisesti usea suunnitteluosasto ja ulkopuoliset suunnitteluyritykset. Andritzin laitossuunnittelijoilta saatujen palautteiden pohjalta on havaittavissa, että projektien työn luonne on selvästi muuttunut suunnittelutyöstä katselmointi- ja ohjaustyöhön. Projektien laitossuunnittelutunnit ovat myös keskimääräisesti lisääntyneet. Tämä johtuu osittain siitä, että ulkopuolisten suunnitteluyritysten toimintakulttuurissa on tapahtunut muutos suuntaan, jossa vastuu yrityksiltä ostetusta työstä on siirtynyt enemmän ja enemmän tilaajalle. Laitosmallin ohjaus- ja tarkastusvastuu on laitossuunnittelijalla, joka seuraa kokonaissuunnittelua ja kommunikoi kaikkien suunnitteluosa-puolien kanssa. Työmäärän ja suunnittelumuutosten vähentämisessä korostuu erityisesti 3D-mallin oikeanlainen hyödyntäminen ja suunnittelukuri.

Työssä tutkittiin 3D-mallin hyödyntämistä suunnittelun lisäksi ohjaavana työkaluna. Työssä tarkasteltiin tilanvarausmallinnusten toimivuutta ja käyttökelpoisuutta laitosmallin eri osalualueilla. Erilaisia tilanvarausmallinnuksia on viimeaikaisissa projekteissa jo käytetty ja niiden toimivuudesta on saatu kokemuksia. Nostotila-, kulkuväylä-, ulosvetotila- ja huoltotilavaraukset ovat osoittautuneet erittäin käyttökelpoisiksi. Samaten projektin alkuvaiheessa putkistoa ja kaapelihyllyjä varten tehdyt tilanvaraukset auttavat hahmottamaan tilankäyttöä ja ohjaamaan suunnittelua oikeaan suuntaan. Tilanvarauksilla voidaan hyvin tehokkaasti estää vapaana säilytettävien tilojen käyttäminen tai ohjata tilankäyttö tietylle alueelle. Tämä vaatii tietenkin viitseliäisyyttä ja kurinalaisuutta suunnittelijoilta, jotta 3D-mallinnuksen hyödyt saadaan maksimoitua.

Tilanvarausmallinnuksen käyttäminen on viime kädessä laitossuunnittelijan vastuulla ja projekteista havaittiin, että mitä aiemmin ja enemmän tilanvarauksia on tehty, sen vähemmän turhaa muutossuunnittelua on tarvinnut tehdä. Laitesijoitusta ja hoitotasojen käyttöä suunniteltaessa tilanvarauksien tekeminen pakottaa suunnittelijaa miettimään laitekohtaisen huoltokonseptin ja ympäröivien tilojen käytön. 3D-mallin hyödyntämistä havainnollistettiin työssä pääasiassa esimerkkikuvina ilman ohjelmistoteknisiä ohjeita, koska 3D-malli on visuaalinen työkalu ja vastaavia visuaalisia keinoja voidaan käyttää riippumatta, mitä 3D-suunnitteluohjelmaa käytetään.

8.4 Jatkotutkimusaiheet

Tutkimuksen aikana tuli esille projektien huollettavuusvaatimuksissa suuria eroja. Projekteissa on jouduttu tekemään huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten lisäsuunnittelua, toimitamaan lisää huoltoapulaitteita ja hoitotasoneliöitä. Huoltotarpeissa on ollut variaatioita ja huoltotoimia varten toteutetut ratkaisut ovat poikenneet toisistaan. Soodakattilalaitoksen huoltamiseen ja huollettavuuden huomioimiseen löytyi ristiriitoja sopimusten, asiakasstandardien ja asiakkaiden esittämien vaatimusten välillä. Kaikki tämä aiheuttaa projekteissa lisätöitä ja haasteita projektin edistymälle.

Soodakattilalaitoksen huoltamiseen liittyen käytetään projekteissa termejä kuten kunnossapito, huoltotoimenpiteet, määräaikaishuoltaminen, korjaustoimet ja remontti. Terminologia on varsinkin englannin kielessä hyvin vakiintunutta ja termeille löytyy selkeät määritteet, mutta termejä ei välttämättä aina haluta erottaa eikä niitä ole sopimuksissa selkeästi määriteltä. Asiakasstandardeissa voidaan käyttää sekalaista terminologiaa, jolloin vaatimusten kattavuus voidaan perustella tarvittaessa suuremmaksi. Tämä on tietenkin asiakkaan suuntaan edullinen tilanne, mutta kattilatoimittajalle ei toivottava.

Huoltovaatimusten puuttuminen sopimuksesta tai epämääräiset huoltomääritykset antavat asiakkaille mahdollisuuden projektin aikana vaatia kattilatoimittajaa huomioimaan laajamittaisesti kohteita, joista asiakkailta on kokemuksia aiemmilta laitoksilta. Tietyissä laitteissa on voinut olla vikoja ja niitä on jouduttu korjaamaan paljon. Tästä johtuen asiakas haluaa tuoda kokempohjaiset vaatimukset uuteen projektiin, jolloin kyseisen laitteen tai komponentin korjaaminen vaaditaan huomioitavaksi perussuunnittelussa, eli saada ne käsiteltyksi niin sanotusti perushuoltotoimenpiteenä. Kattilatoimittajalle ja asiakkaalle syntyy

näissä tilanteissa helposti näkemysero, sillä aiempien laiterikkojen juurisyitä ei tiedetä tarkasti eikä mahdollisia syitä uskota olevan uudella toimitettavalla laitoksella. Lisäksi laitteiden rakenteet ja prosessit ovat yleensä ajan mittaan kehittyneet. Tällöin joudutaan yleisesti miettimään huoltojen huomioimisen laajuutta, joka johtaa huoltamisen ja korjaamisen käsite-ero pohdiskeluun ja kattilaprojektin perustoimituslaajuuden tarkasteluun.

Korjaustoimenpiteet ovat usein erityistilanteita, jotka on käsiteltävä sen mukaisesti. Laitoksen layoutin kannalta ei ole kannattavaa eikä mahdollista huomioida jokaista laiterikkoa. Korjaus- ja remonttitoimenpiteiden vaatimukset ylittävät pääasiassa aina huoltamisen vaatimukset tilojen käytön ja luoksepäästävyuden osalta. Esimerkkinä voidaan pitää tuhkakuljettinta: tuhkakuljettimen ketjun ja vetopään moottorin vaihdot huomioidaan huoltotiloissa ja tarvittaessa nostoapulaitteilla, mutta koko kuljettimen vaihtaminen ei ole layoutissa huomioitava normaali huoltotoimenpide. Näissä tilanteissa näkemyserosta johtuva ristiriita aiheuttaa paljon ylimääräistä työtä ja asian selvittäminen voi kestää projektissa ajallisesti pitkään. Erilaiset esitykset, selvitystyöt, mahdolliset lisäsunnittelut ja palaverit vievät projektiryhmältä aikaa ja lopputulos voi olla siltikin Andritzin kannalta ei toivottava.

Yrityksen kannattaisikin tehdä kehitystyö, jossa määriteltäisiin Andritzin huoltokonsepti. Huoltokonseptin tulisi sisältää soodakattilatoimituksen standardilaitteet, laitteiden huoltotarpeet, huoltoapulaitteet ja laitesijoitussuunnitteluun liittyvät erityishuomiot. Tämä huoltokonsepti voitaisiin esittää huoltotehtävätaulukkona, jossa laitteet olisivat esimerkiksi listattuna riveille allekkain ja sarakkeissa olisivat huoltotoimenpiteet sekä huollon lisätarpeet kuten nostopalkit. Jokaiselle laitteelle tehtäisiin määrittäminen rastittamalla laitetta koskevat sarakkeet. Osalle komponenteista ei välttämättä tulisi huoltotoimenpiteitä lainkaan. Huoltokonseptin ei tarvitsisi olla ainoastaan määräaikaishuoltotehtävien mukainen vaan siinä voitaisiin käsitellä kaikki laitteet, jotka kokemukseräisesti tiedettäisiin tarvitsevan usein eritasoista kunnossapitoa tai joiden kunnossapito on vaativaa, eli huoltotarpeet olisi huomioitava laitoksen layoutissa.

Huoltotehtävätaulukko olisi näin liitettävissä sopimukseen, jolloin huoltokonseptista voitaisiin asiakkaan kanssa avoimesti keskustella ja sisällöstä sopia myyntineuvotteluissa. Toimitusprojektivaiheessa huoltotehtävien mukaiset vaatimukset voitaisiin viedä tarvittavilta osin laitetoimittajien ostosopimuksiin ja lisäksi laitossuunnittelulla olisi käytössään lista kyseisen projektin huoltovaatimuksista. Huoltokonseptin ansiosta molemmille, niin asiakkaalle kuin kattilatoimittajalle, huoltotehtävät olisivat selkeät ja yhteisesti sovitut. Projektin aikana

huollettavuuskatselmoinneissa voitaisiin tarkastella huoltotehtävälistan mukaisesti, että kaikki vaatimukset olisivat suunnittelussa täytetty. Kaikki puutteet tulisi suunnittelussa täydentää ja lisävaatimukset voitaisiin projektissa avoimesti käsitellä lisätöinä ja näin laskuttaa asiakkaalta.

9 Lähteet

Adams, T., 1997. General Characteristics of Kraft Black Liquor Recovery Boilers. In: Kraft Recovery Boilers. New York: Tappi Press, pp. 3-38.

Alapuranen, S. 2008. Pohto Oy. Soodakattilat peruskurssi. Soodakattilavirtaukset apulaitteineen. Lappeenranta.

Andritz. 2011(a). RB manual. Sisäinen materiaali.

Andritz. 2011(b). Structural analysis and design of steel structures. Design criteria. Sisäinen materiaali.

Andritz. 2014. KRP/Civil & Structural. P_KRP_EX20_111_1_Steel standard details.PDF. Sisäinen materiaali.

Andritz. 2019(a). Engineering Terminology descriptions. Sisäinen materiaali

Andritz. 2019(b). KRP-RB Manuals. RB Engineering Manual. Sisäinen materiaali.

Andritz. 2020. KRP / Recovery boilers. Kraft recovery boilers for beginners. Basics of black liquor combustion. Sisäinen materiaali.

Andritz. 2022. KRP / Recovery boilers. RB Process Training. Recovery Boiler. Sisäinen materiaali.

Damasceno, A., Carneiro,L., Andrade, N., Vasconcelos, S., Brito, R., Brito, K. 2020. Simultaneous prediction of steam production and reduction efficiency in recovery boilers of pulping process. Journal of Cleaner Production, Volume 275. pp. 1-14

Forest Bio Facts. 2022. Kraft pulping. [Viitattu 12.2.2022]. Saatavilla: <https://forestbio-facts.com/pulping-and-biorefining/kraft-pulping/>

Grace, T.M. 2004. A review of char bed processes (What goes on in the char bed). 40 Years recovery boiler co-operation in Finland. International recovery boiler conference: Porvoo, Haikko Manor. Helsinki: Suomen Soodakattilayhdistys r.y. pp. 21-29

Gustafsson, J., Alen, R., Engström, J., Korpinen, R., Kuusisto, P., Leavitt, A., Olsson, K., Piira, J., Samuelsson, A., Sundquist, J. 2011. In: Fardim, P. ed. Papermaking science and

technology. Book 6, Chemical pulping. Part 1, Fibre Chemistry and Technology. 2nd edition. Porvoo: Paper Engineers' association/Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-41-7.

Huhtinen, M., Hotta, A. 2008. In: Tikka, P. ed. Papermaking science and technology. Book 6, Chemical pulping. Part 2, Recovery of Chemicals and Energy. 2nd edition. Jyväskylä: Paper Engineers' association/Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-26-4.

KLTK. Kattilalaitosten turvallisuusohjeet. Kattilalaitosten turvallisuuskomitea. 2007

KnowPulp 20.0 – Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Prowledge Oy. [Viitattu 12.2.2022]. Saatavilla: <https://www.knowpulp.com/> (vaatii lisenssin)

Llamas, P., Dominguéz, T., Vargas, J.M., Llamas, J., Franco, J.M., Llamas, A. 2006. A novel viscosity reducer for kraft process black liquors with a high solids content. *Chemical Engineering and Processing* 46. pp. 193-197.

Parviainen, K., Jaakkola, H. Nurminen, K. 2008. In: Tikka, P. ed. Papermaking science and technology. Book 6, Chemical pulping. Part 2, Recovery of Chemicals and Energy. 2nd edition. Jyväskylä: Paper Engineers' association/Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-26-4.

Räisänen, A. 2004. Andritz Oy. KR-divisioona. Laitossuunnittelu ohje. Sisäinen materiaali

Räisänen, A. 2005. Andritz Oy. KR-divisioona. Laitossuunnittelu käsikirja. Sisäinen materiaali.

SFS-EN ISO 14122-2. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 2016

SFS-EN ISO 14122-3. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 2016.

SFS-EN ISO 14122-4. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 2016.

SFS-EN ISO 14122-1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 2016.

Skrifvars, B-J., Hupa, M. 2010. PCC Åbo Akademi Turku. In: Pohto. Soodakattilat peruskurssi I - keittokemikaalien talteenotto, Soodakattilan kemia. Lappeenranta.

Smook, Gary, A. 2016. Kocurek, M. ed. Chemical recovery. Handbook for Pulp and Paper technologists, Fourth Edition. Tappi Press. ISBN: 978-159-5102-45-4. pp. 144-153

Suomi-Tikas Oy. 2022 [Viitattu 7.5.2022]. Saatavilla: <https://www.suomi-tikas.fi/>

Taranenko, A., Bussmann, M., Honghi, T. 2013. A Laboratory Study of Recovery Boiler Smelt Shattering. Tappi Peers Conference: Green Bay, Wisconsin. pp. 1-12

Theliander, H. 2009. In: Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. Pulp and Paper chemistry and Technology. Volume 2, Pulping chemistry and technology. Berlin: De Gruyter. ISBN 1-5231-1652-8. pp. 298-333, 336-362

Tran, H., Vakkilainen E. K. 2008. "The kraft chemical recovery process". TAPPI

Kraft recovery course. USA. pp. 1.1-1 – 1.1-8

Vakkilainen, E. K. 2005. Kraft Recovery Boilers - Principles and practice. Helsinki: Suomen Soodakattilayhdistys r.y. ISBN 952-91-8603-7.

Vakkilainen, E. 2008. In: Tikka, P. ed. Papermaking science and technology. Book 6, Chemical pulping. Part 2, Recovery of Chemicals and Energy. 2nd edition. Jyväskylä: Paper Engineers' association/Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-26-4.

Vakkilainen, E.K., Ahtila, P. 2011. Modern method to determine recovery boiler efficiency. In: O Papel vol. 72, num. 12, pp. 58–65. [Viitattu 7.3.2022]. Saatavilla: www.revistaopapel.org.br/edicoes_impresas/49.pdf.

Vakkilainen, E., Kivistö, A. 2014. Forest industry energy consumption: trends and effect of modern mills. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUT Energia. ISBN 978-952-265-649-0