



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AUTOMAATTIRASSAIN SOODAKATTILAN SEKUNDÄÄRI JA TERTIÄÄRI ILMA-AUKOILLE

TEKIJÄ: Tomi Kähkönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Tomi Kähkönen			
Työn nimi Automaattirassain soodakattilan sekundääri ja tertiääri ilma-aukoille			
Päiväys	6.12.2020	Sivumäärä/Liitteet	36/7
Ohjaaja(t) Teija Honkanen, Arto Brask			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) ANDRITZ OY			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Automaattirassain on soodakattilan ilma-aukkojen valusuuttimien puhtaanapidossa käytetty laite. Opinnäytetyössä on käyty läpi rassaimen toimintaperiaatetta, pyritty selvittämään sen eri osien ja osakokonaisuuksien tarkoitusta sekä mitoitusperiaatteita.</p> <p>Työn aikana kartoitettiin lukuisten erilaisten rassainratkaisujen toimivuutta sekä niiden vahvuuksia ja heikkouksia. Tämän pohjalta määriteltiin rassaimelle oleelliset osat sekä niihin vaikuttavat rajoitteet.</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja on Andritz Oy. Andritz Oy:n olemassa olevien ratkaisujen perusteella on pyritty rakentamaan joustava automaattirassainkokonaisuus sekundääri- ja tertiääritason 250 cm² – 1400 cm² kokoisille ilma-aukkojen standardivalusuuttimille.</p> <p>Työn tuloksena automaattirassaimen osille on laadittu yleispätevät valmistuspiirustukset.</p>			
Avainsanat Soodakattila, Automaattirassain, Sekundääri, Tertiääri, Ilma-aukko, valusuutin,			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Tomi Kähkönen			
Title of Thesis Automatic Rodder for Secondary and Tertiary Air Openings in a Recovery Boiler			
Date	6 December 2020	Pages/Appendices	36/7
Supervisor(s) Teija Honkanen, Arto Brask			
Client Organisation /Partners Andritz Oy			
<p>Abstract</p> <p>An automatic rodder is a device used to clean the cast nozzles of air openings in a recovery boiler. In this thesis the operating principle of rodder is explained in order to clarify the functionality and dimensioning of different parts and subassemblies. The thesis was done for Andritz Oy. By reviewing Andritz Oy's existing solutions the aim was to build an adjustable automatic rodder assembly for secondary and tertiary level cast air nozzles from 250 cm² up to 1400 cm².</p> <p>The operability of numerous different rodder solutions as well as their strengths and weaknesses were surveyed during the work. Basing on this, the essential parts for the rodder and the restrictions affecting them were defined.</p> <p>As a result, universally applicable manufacturing drawings were created for the parts of automatic rodder.</p>			
<p>Keywords Recovery boiler, Automatic rodder, Secondary, Tertiary, Air opening, Cast nozzle,</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	SELLU- JA PAPERITEOLLISUUS	5
3	MASSAN JA PAPERIN VALMISTUSPROSESSIT	6
3.1	PUUNKÄSITTELY	6
3.2	KUIDUTUSPROSESSIT	6
3.2.1	MEKAANINEN KUIDUTUS	7
3.2.2	KEMIALLINEN KUIDUTUS	8
4	KEMIKAALIEN TALTEENOTTO	9
5	SOODAKATTILA	10
6	ILMAJÄRJESTELMÄ	12
6.1	PRIMÄÄRI-ILMA	13
6.2	SEKUNDÄÄRI-ILMA	14
6.3	TERTIÄÄRI-ILMA	14
6.4	ILMA-AUKKOJEN SÄÄTÖPELLIT	15
6.5	SÄÄTÖAKSELI	15
6.6	VALUSUUTTIMIT	15
7	AUTOMAATTINEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄ	15
7.1	LÄHTÖKOHDAT	16
8	PUHDISTUSLAITTEEN OSAT	18
8.1	TIIVISTELAATIKKO	19
8.2	NÄKÖLASI	21
8.3	KÄSIRASSAUSYHDE	21
8.4	KIINNITYSLEVY	22
8.5	TERÄ	25
8.6	TUKIRAUDAT	29
8.7	SYLINTERI	30
9	SEKUNDÄÄRI- JA TERTIÄÄRITASOJEN ILMAREKISTERIEN PUHDISTIMEN OHJAUS	32
9.1	RASSAIMEN OHJAUKSEN RAKENNE	32
9.2	RASSAIMEN OHJAUS	33
9.3	PUHDISTUSSEKVENSSI	33
10	TULOKSET	34

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tuotteistaa olemassa olevia ratkaisuja hyödyntämällä soodakattilan sekundääri ja tertiääri ilma-aukkojen valusuuttimien puhdistuksessa käytettävä laite eli ns. ilma-aukkojen rassain ja rakentaa sille standardikonaisuus, joka on muokattavissa lopullisen käyttökohteen vaatimusten perusteella.

Ilmasuuttimeen kertyvän lian poistaminen on soodakattilan ilmajärjestelmän toiminnan kannalta olennainen toimenpide. Hiiltynyt mustalipeä ja epäorgaaniset suolat aiheuttavat kerrostumia soodakattilan alaosan seiniin, jolloin ilma-aukot voivat supistua tai jopa tukkeutua. Riittävän palamisilmavirtauksen saavuttamiseksi tulipesään on ilma-aukot puhdistettava säännöllisesti. [Wessel, 6-7]

Nykyisen tilanteen mukaan ilma-aukkorassit Andritz Oy:n soodakattiloihin hankitaan pääsääntöisesti ulkopuoliselta toimijalta, vaikka Andritz Oy:lla on kattava kirjo omia ratkaisuja. Laajasta valikoimasta johtuen, hyvistä ja huonoista ratkaisuista opittua informaatiota ei ole koottu systemaattisesti, eikä näin ollen päästy hyödyntämään tarpeeksi tehokkaasti. Rassain on kuitenkin tärkeä osa soodakattilan ilmajärjestelmää ja siksi on loogista, että se halutaan osaksi tuoteperhettä.

2 SELLU- JA PAPERITEOLLISUUS

Paperi on välttämätön hyödyke ja se on vaikuttanut merkittävästi ihmiskunnan kehitykseen ja edistykseen. Se on tarjonnut mahdollisuuden dokumentoida ja säilyttää informaatiota sekä ideoita sukupolvelta toiselle. Joissakin osissa maailmaa paperin kulutus on saavuttanut kaikkien aikojen korkeimman tason ja suuri osa siitä on tarpeetonta. Sellun ja paperin valmistuksesta on tullut yksi maailman suurimmista toimialoista tämän seurauksena. Vuonna 2013 globaali paperin ja kartongin tuotanto kasvoi 0,8 % saavuttaen uuden ennätystason, 403 miljoonaa tonnia vuodessa. Graafisen paperin tuotannon supistumista Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa tasapainottaa globaali pakkauskartonkien ja pehmopaperien tuotannon kasvu. [Bajpai 2016, 1.]

Sellu- ja paperiteollisuus tuottaa erityyppisiä sellumassoja. Massaa valmistetaan puusta sekä kierrätysmateriaaleista, joka jatkojalostetaan paperiksi. Ensiömassan (virgin pulp) tuotanto voidaan integroida paperituotannon rinnalle, mutta vain markkinamassaa tuottavia sellutehtaita sekä vain paperia tuottavia paperitehtaita on olemassa. Paperitehtaat ostavat erityyppisiä markkinamassoja erilaisten paperituotteiden valmistamiseksi. Noin 18 % kaikista sellu- ja paperiteollisuuden tehtaista Euroopassa on integroituja, jotka tuottavat sekä ensiömassaa että paperia. Monet näistä tehtaista myös myy sellun tuotantoa markkinoille, muutamaa siistattua massaa (deinked pulp) tuottavaa sellutehdasta lukuun ottamatta. [Bajpai 2016, 1.]

Sellun ja paperin tuotanto vaatii sähkön ja höyryn käyttöä. Paperitehtaiden sähkön ja höyryn käyttösuhte mahdollistaa tehokkaan lämmön ja sähkön yhteistuotannon (CHP), ja siksi sitä hyödynnetään laajalti paperiteollisuudessa. [Bajpai 2016, 1.]

3 MASSAN JA PAPERIN VALMISTUSPROSESSIT

Massan ja paperin valmistuksen päävaiheet ovat, raaka-aineiden (puu, kasvit, kierrätysmateriaalit) esikäsittely, massan valmistus, massan valkaisu ja paperin valmistus. Paperin tuotanto on kaksivaiheinen prosessi. Kuitupitoinen raaka-aine muutetaan ensin massaksi, jonka jälkeen massa muutetaan paperiksi. Ensin kuidut erotetaan puun käyttökelvottomasta aineksesta (lingiinistä). Kuiduista valmistetaan sellua mekaanisesti tai kemiallisesti. Valmis massa valkaistaan ja käsitellään tuotettavan paperin tyyppistä ja laadusta riippuen, jonka jälkeen se kuivataan ja puristetaan paperitehtaalla paperiarkiksi. Kasvava osuus paperista ja paperituotteista kierrätetään käytön jälkeen. Kierrättämättömän osa päätyy kaatopaikoille tai se poltetaan. [Bajpai 2016, 2.]

3.1 PUUNKÄSITTELY

Puunkäsittelyyn sisältyy raaka-aineiden varastointi, kuoriminen, haketus, hakkeen seulonta, hakkeen käsittely ja varastointi. Puu on paperituotteiden pääasiallinen selluloosakuidun lähde. Muita kuitulähteitä kuten bambua, olkia ja sokeriruokoa käytetään alueilla, joilla puun saatavuus on matala. Joitakin kasveja kuten hamppua, akabaa ja puuvillaa käytetään erikoisvalmistuksiin. [Bajpai 2016, 2.]

Puuta on saatavilla eri muodoissa kuten tukkina, hakkeena ja sahanpuruna. Raakapuun (tukin) tapauksessa tukit leikataan hallittavissa olevaan kokoon ja kuoritaan. [Bajpai 2016, 2.]

Kuorimisen jälkeen tukit tai tukkien osat haketetaan massanvalmistukseen sopivaan muotoon. Haketukseen on olemassa useita eri menetelmiä, mutta yleisin on vauhtipyörämäinen kiekko, jonka terät on asennettu radiaalisesti pitkin pintaa. Tukit syötetään noin 45° kulmassa pyörivälle kiekolle pystysuoran ohjauskourun läpi. Myös vaakasuora syöttö on mahdollista, mutta sen soveltuvuus jätepuun haketukseen on huonompi. [Bajpai 2016, 4.]

Hakkeen yhdenmukainen palakoko on välttämätön massan laadun ja prosessin tehokkuuden kannalta. Hyväksyttävä hake erotellaan hienoista ja ylisuurista kappaleista monivaiheisen seulontajärjestelmän avulla. Ylisuuret kappaleet hylätään kuljettimelle, joka vie ne uudelleen hakettaviksi, kun taas liian pienet kappaleet poltetaan kuoren kanssa. 10 mm – 30 mm pitkää ja 2 mm – 5mm paksua haketta pidetään yleensä hyvälaatuisena. Hakkeen hylkäämisen aiheuttavia epäpuhtauksia ovat mm. ylisuuret tai liian pienet kappaleet, puun kuori, mädäntynyt tai palanut puu sekä liika ja muut vierasaineet. [Bajpai 2016, 4.]

3.2 KUIDUTUSPROSESSIT

Kasviperäinen materiaali koostuu pohjimmiltaan selluloosakuiduista, hemiselluloosasta ja lingiinistä. Lingiini on luonnollinen sidosaine, joka pitää puiden tai kasvien varsissa olevia selluloosakuituja yhdessä. Massan valmistuksessa raaka selluloosaa sisältävä materiaali, raaka kasviperäinen materiaali tai kierrätyspaperi hajotetaan erillisiksi kuiduiksi, joka tunnetaan selluna. Valmistusprosessit luokitellaan mekaanisiksi tai kemiallisiksi. [Bajpai 2016, 5.]

3.2.1 MEKAANINEN KUIDUTUS

Mekaaninen kuidutus sisältää usein puun esikäsittelyä höyrylämmityksellä ja/tai heikolla kemiallisella liuoksella, mutta pääasiassa puun kuitujen erottaminen tapahtuu mekaanisella laitteella hiomalla tai jauhamalla mikä puolestaan vaatii suuria määriä sähköenergiaa. Mekaanisia massoja käytetään yleensä painopaperien, korkean opasiteetin ja hyvän musteen imeytymisen omaavien paperien sekä joidenkin kartonkien valmistukseen. [Bajpai 2016, 8.]

KIERRÄTYSPAPERIN KUIDUTUS

Kierrätetystä paperista on tulossa yhä tärkeämpi paperiteollisuuden kuitujen lähde. Tällä hetkellä melkein 50 % paperinvalmistuksen kuituraaka-aineesta on kierrätettyä. Kierrätysprosessissa kierrätetty paperi tai pahvi kostutetaan ja muutetaan massaksi mekaanisesti. Epäpuhtaudet kuten musteet ja liimat voidaan poistaa kemiallisesti (siistaus) tai mekaanisesti. Kierrätetyn paperin ja kartongin kuiduilla on yleensä erilaiset fysikaaliset ominaisuudet kuin ensiömassalla, koska se on kuivunut kokonaan ja sitten uudelleen kostutettu. Talteen otettu paperi prosessoidaan ilman siistausta valmisteisiin, jotka eivät vaadi suurta kirkkautta, kuten aaltopahviin, pahvilaattoihin ja joihinkin pehmopaperihin. Siistausta käytetään mustehiukkasten poistamiseen, jotta massa muuttuu selkeämmäksi ja kirkkaammaksi. Joskus massa voidaan vielä valkaista siistauksen jälkeen. Siistattua massaa käytetään korkeampaa kirkkautta vaativien papereiden, kuten sanomalehtipaperin, pehmopaperin ja aikakauslehtipaperin valmistukseen. [Bajpai 2016, 10.]

MUIDEN RAAKA-AINEIDEN KUIDUTUS

Massaa voidaan valmistaa myös muista kuitulähteistä kuin puusta. Näihin kuuluvat oljet ja ruoho, esim. pellava, riisi, sokeriruoko, hamppu, rami, puuvilla, kenaf sekä lehtikuidut. Massan valmistus näistä kuiduista tapahtuu mekaanisilla menetelmillä korkeassa lämpötilassa tai käyttämällä modifioitua kraft- tai soodaprosessia. Maailmanlaajuisesti muiden kuin puuperäisten raaka-aineiden osuus kokonaiskuitutarjonnasta on noin 6 %. Näiden kuitujen kerääminen ja käsittely ovat kalliimpaa verrattuna puukuituun aluelilla, joilla on riittävät puuvarastot massan tuotannon tarpeisiin. Ei-puukuituja tuotetaan kuitenkin huomattavia määriä alueille, joilla puukuidun saatavuus on heikko. Useimmat ei-puukuidut ovat suhteellisen lyhyitä, samanlaisia kuin lehtipuista saadut kuidut, ja siksi ne soveltuvat valmisteisiin, kuten kirjoituspaperi. Niitä käytetään usein myös muihin paperilaatuihin, kuten sanomalehtipaperiin ja aaltopahviin, koska puuta ei ole käytettävissä massan valmistukseen. Tietyillä ei-puuperäisillä kuiduilla on erityisiä ja arvokkaita ominaisuuksia erikoisvalmisteille. Esimerkiksi puuvillan, pellavan, hampun ja akaban kuituja käytetään vesileimatun asiakirjapaperin, setelipaperin, suojamerkitteiden paperien ja teepussien valmistukseen. [Bajpai 2016, 10.]

3.2.2 KEMIALLINEN KUIDUTUS

Kemiallinen kuidutus nojautuu pääasiassa kemiallisiin reagensseihin ja lämpöenergiaan lingiin in pehmentämiseksi ja liuottamiseksi hakkeeseen, jota seuraa mekaaninen jatkojalostus kuitujen erottamiseksi. Alkalinen sulfaattikuidutus eli kraftkuidutus on hallitseva kemiallinen kuidutusmenetelmä ja sen osuus on noin 80% nykyisestä selluntuotannosta ja lähes 100% uusista tuotantolaitoksista. Muita kemiallisia kuidutusmenetelmiä on hapan sulfiittikuidutus ja semikemiallinen kuidutus. Kraft- ja sulfiittimassasta saadaan vahvempi paperiarkki tai pahvi kuin muilla valmistusprosesseilla. Niillä on myös korkeampi markkina-arvo ja korkeammat tuotantokustannukset kuin mekaanisissa massanvalmistusprosesseissa. Myös kuitujen laatu on parempi ja ne voidaan valkaista helpommin, mikä on toivottavaa useissa paperituotteissa. [Bajpai 2016, 5.]

SEMIKEMIALLINEN KUIDUTUS

Semikemikaalisessa kuidutuksessa puuhake keitetään ensin osittain kuitujen välisten sidosten heikentämiseksi, jonka jälkeen kuidut erotetaan mekaanisesti jauhamalla. Koska prosessiolosuhteet ovat vähemmän ankarat kuin kraft- tai sulfiittikuiduksessa ja koska semikemikaalimassoja ei yleensä valkaista korkean lingiinipitoisuutensa vuoksi, ovat valmistusprosessit huomattavasti yksinkertaisempia. Puolikemiallisella massalla on korkea jäykkyys ja sitä käytetään pääasiassa aaltopahvin valmistuksessa. [Bajpai 2016, 7.]

SULFIITTIKUIDUTUS

Sulfiittikeittomenetelmä perustuu rikkidioksidipitoisen vesiliuoksen ja emäksen käyttöön. Sulfiittimassat ovat kirkkaampia ja niitä on helppo valkaista, mutta ovat heikompia kuin sulfaattimassat. Sulfiittimassoja tuotetaan useissa laaduissa, mutta valkaistut lajit hallitsevat tuotantoa. Käytetty emäs (kalsium, magnesium, natrium ja ammonium) vaikuttaa prosessin tilaan, veden käyttöön, kemikaalien ja energian talteenottoon sekä massan ominaisuuksiin. Hallitseva sulfiittiprosessi on magnesiumsulfiittikuidutus. Kalsiumsulfiittimenetelmää pidetään ympäristön kannalta mahdollisena hyväksyä uusissa tuotantolaitoksissa. Natriumemäksen ja ammoniumemäksen käyttö useimmissa tuotantolaitoksissa on lopetettu korkeampien kustannusten vuoksi. Vaikka kalsiumpohja on halvempaa, keittokemikaaleja ei voida ottaa talteen. [Bajpai 2016, 7.]

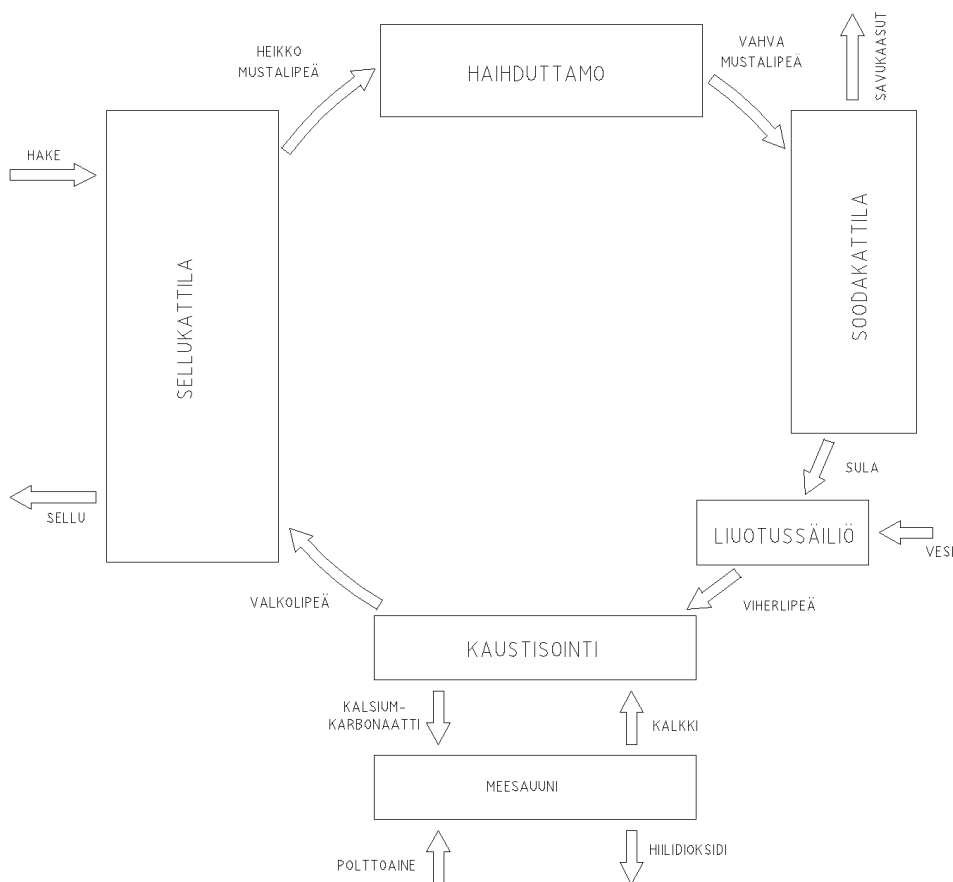
KRAFT

Kraftkuidutuksesta on tullut hallitseva massanvalmistusmenetelmä, koska sillä on parempi kuidun lujuus verrattuna sulfiittikuidukseen, se soveltuu kaikille puulajeille ja siinä pystytään hyödyntämään kemiallisia raaka-aineita tehokkaasti. Kraftkuidutuksessa hake yhdistetään keittimessä valkolipeän ja pääasiassa natriumhydroksidia sekä natriumsulfidia sisältävän vesiliuoksen kanssa. Keittämisen jälkeen syntynyt liuennet orgaanisia aineita sisältävä keittoliuos eli mustalipeä erotetaan massasta pesemällä. Lingiin in poistamista sellusta jatketaan happidelifigoinilla, jonka jälkeen se valkaistaan

lopullisen tuotteen lujuuden, kirkkautta ja puhtauden saamiseksi. Kemialliset raaka-aineet saadaan otettua talteen kemikaalikierrosta. [Bajpai 2016, 6.]

4 KEMIKAALIEN TALTEENOTTO

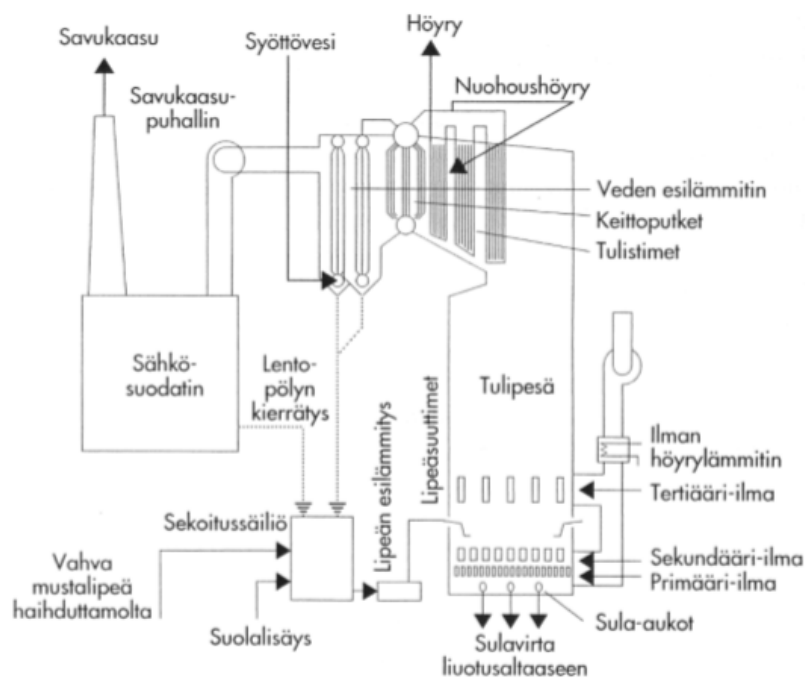
Kemikaalien talteenotto on tärkeä osa kemiallista kuidutusta. Hakkeen keittämiseen käytetyistä keittokemikaaleista jopa 98 % saadaan palautettua uudelleen käytettäväksi, minkä vuoksi kemikaalien talteenotolla on merkittäviä ympäristöllisiä ja taloudellisia etuja. Vaikka uudempia tekniikoita kehitetään jatkuvasti, sulfaattiprosessin kemikaalien talteenotto ei ole juurikaan muuttunut sen patentin myöntämisen jälkeen vuonna 1884.



Kuva 1. Kemikaalikierto sulfaattisellutehtaassa. [Bajpai 2016, 11.]

Hakkeen keittämisen jälkeen sellusta eroteltu heikko mustalipeä väkevöidään ensin haihduttamossa, jonka jälkeen se poltetaan soodakattilassa epäorgaanisia yhdisteitä sisältävän sulan tuottamiseksi. Soodakattilassa syntynyt kemikaalisula sekoitetaan veteen ja tästä muodostuva viherlipeä kaustisoidaan takaisin valkolipeäksi, mikä puolestaan käytetään uudelleen hakkeen keittämiseen. [Bajpai 2016, 11.]

5 SOODAKATTILA



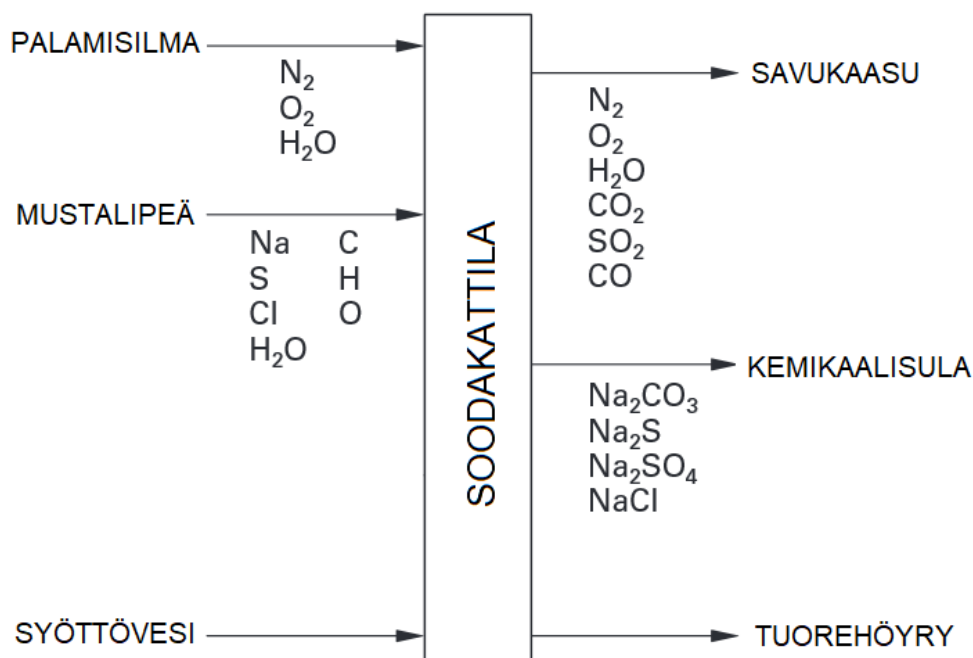
Kuva 2. Soodakattilan rakenne [Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., Urpalainen, S. 2008, 448]

Soodakattilalla on keskeinen rooli sulfaattisellun tuotannossa. Sulfaattisellun valmistuksessa puulastuja keitetään sellukattilassa vesipohjaisessa natriumhydroksidia (NaOH) ja natriumsulfaattia (Na_2S) sisältävässä liuoksessa, eli valkolipeässä. Keittämisen jälkeen sellu erotellaan ylimääräisestä lipeästä paperituotantoa varten. Ylimääräisen puun lingiiniä, orgaanisia aineksia ja epäorgaanisia yhdisteitä sisältävän lipeän kuiva-aine pitoisuutta nostetaan haihduttamossa. Korkean kuiva-aine pitoisuuden omaavaa lipeää kutsutaan mustalipeäksi. [Lai 2007, 359]

Soodakattila muodostuu kattilaputkista rakennetusta tulipesästä, konvektiopinnoista (tulistin, keittoputket ja veden esilämmitin), sähkösuodattimista ja sekoitussäiliöstä. Mustalipeä saapuu sähkösuodattimesta kerätyn pölyn ja mahdollisesti lisätyn suolan kanssa sekoitussäiliöön. Syntynyt seos kulkeutuu esilämmittimen kautta lipeäruiskuille, jotka ruiskuttavat sen pieninä pisaroina tulipesään. Pisaroiden pudotessa tulipesän pohjalle ne käyvät läpi kuivumisen ja pyrolyysin, josta muodostunut hiiltynyt materiaali palaa osittain tai kokonaan. Pisan sisältämät epäorgaaniset kemikaalit muodostavat natriumkarbonaattia (Na_2CO_3) ja natriumsulfaattia (Na_2S). Loput pisarasta putoaa tulipesän pohjalle, missä jäljellä oleva hiiltynyt materiaali hapettuu ja hapettuneet rikkiyhdisteet pelkistyvät sulfideiksi. Hiiltä käytetään siten pelkistimenä ja se poistuu tulipesästä hiilimonoksidina tai hiilidioksidina. Tulipesän pohjalle muodostunut kemikaalisula ohjataan sulakourujen kautta liuotusaltaaseen ja sekoitetaan veteen. Tästä syntyvä pääasiassa natriumkarbonaattia ja natriumsulfaattia sisältävä viherlipeä kaustisoidaan takaisin valkolipeäksi, joka ohjataan uudelleen kierto. [Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. 2009, 315]

Mustalipeä sisältää keittokemikaalien lisäksi orgaanisia puusta liuenneita jäännöksiä. Orgaanisen aineksen palamisen vapauttamasta lämmöstä saadaan korkeapaineista tuorehöyryä, jota käytetään

sähkön tuottamiseen turbiinissa. Turbiinin pakokaasusta eli matalapainehöyrystä saadaan prosessi-höyryä teollisuuden tarpeisiin. Turbiinivaiheiden välistä keskipaineessa olevaa höyryä käytetään mm. nuohoimissa ja haihduttamossa. [Vakkilainen 2005, 1-1]



Kuva 3. Mustaliipeän polttamisen yhteydessä tapahtuvat kemialliset prosessit [Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. 2009, 314]

Olosuhteet soodakattilan alaosassa ovat pelkistävät, eli orgaanisten yhdisteiden palaminen ei ole täydellistä. Pelkistävät olosuhteet on mahdollista luoda, koska ilma-aukot sijaitsevat eri korkeuksilla. Primääri-ilma lisätään lähellä kattilan alaosaa. Sekundääri-ilma lisätään hieman korkeammalla, mutta kuitenkin lipeäsuutinten alapuolella. Tertiääri-ilma lisätään lipeäsuutinten yläpuolella. Tertiäärisuuttimien yläpuolella kattilan olosuhteet ovat hiilimonoksidin, metaanin ja vedyn palamisen takia hapettavat. [Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. 2009, 316]

Tulipesän seinät peitetään kattilaputkilla, jotka ovat osa lämmönvaihtojärjestelmää. Putkissa kiertävä vesi höyrystyy pitäen tulipesän lämpötilan riittävän matalana kemikaalisulan kiinteyttämiseksi. Kiinteä suolakerroks on välttämätön rakenteiden suojelemiseksi soodakattilan erittäin syövyttäviltilä olosuhteilta. [Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. 2009, 316]

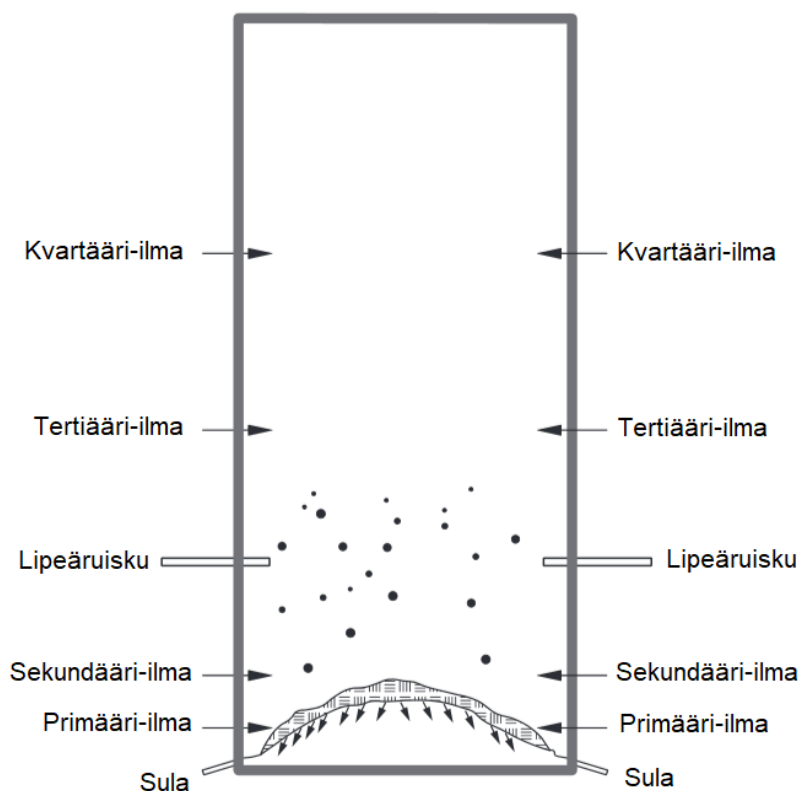
Tulipesästä poistuvat savukaasut ohjataan ensin tulistimeen. Tulistinputkissa kiertävä vesihöyry sitoo osan savukaasujen lämmöstä tulistetun höyryn tuottamiseksi. Tämän jälkeen osittain jäähtyneet savukaasut kulkevat keittoputkiston läpi, missä noin 25 % - 30 % syöttövedestä höyrystyy. Loput syöttövedestä höyrystyy tulipesän seinäputkistossa. Savukaasujen jäljelle jäänyt lämpö otetaan talteen syöttöveden esilämmittimessä, missä syöttövesi lämmitetään kiehumispisteeseen. Lopuksi savukaasut ohjataan sähkösuodattimeen, missä lentotuhka erotetaan kaasusta. [Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. 2009, 316]

6 ILMAJÄRJESTELMÄ

Koska mustalipeä sisältää palavia orgaanisia aineita sekä tulipesässä reagoivia epäorgaanisia yhdisteitä, tarvitaan ilmaa palamisen ylläpitämiseksi. Ilmajärjestelmän suunnittelun päätavoite on ylläpitää korkeaa ja tasaista lämpötilan sekä kaasun jakautumista soodakattilan alaosassa. Optimoidun ilmansyötön ansiosta päästöt ovat alhaiset ja pelkistystehokkuus on jatkuvasti korkea. Asianmukaisella suunnittelulla palaminen tapahtuu soodakattilan alaosassa, jolloin kattilan koko korkeutta käytetään tehokkaasti savukaasujen jäädyttämiseen ennen niiden pääsyä tulistimille. [Vakkilainen 2005, 7-2]

Palamisilma johdetaan tulipesään kolmelta tasolta, jotka ovat primääri, sekundääri ja tertiääri. Primääri ja sekundääri sijaitsevat lähellä tulipesän lattiaa lipeäsuuttimien alapuolella. Tertiääri-ilma johdetaan lipeäsuuttimien yläpuolelle. Tällä tavoin saadaan pelkistävät olosuhteet soodakattilan alaosaan lähelle sulapetiä ja yläosaan syntyy tehokas hapettava ympäristö. Tämä tarkoittaa, että 60 % - 70 % tarvittavasta palamisilmasta johdetaan primääri- ja sekundääri-ilmasuuttimien kautta ja loput tertiääri-ilmasuuttimien kautta. [Vakkilainen 2005, 7-2]

Ilmavirtaa kullekin tasolle mitataan tarkasti venturilla joko puhaltimen sisääntulossa tai puhaltimen ulostulossa. Ilmavirtausta säädetään tulipesän ilmaaukkojen säätöpelleillä ja ilmapuhaltimen ohjauksella. [Vakkilainen 2005, 7-6]



Kuva 4. Ilmatasojen sijainti soodakattilassa. [Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. 2009, 327]

Jokaisella ilmatasolla on erillinen puhallin. Koska kullakin tasolla on erilliset puhaltimet, jokaisen ilmarekisterin ilmanpainetta ja -virtausta voidaan säätää erikseen. Haluttua painetta säädetään muutamalla puhaltimen imusäleikön siipien asentoa tai puhaltimen moottorin kierrosnopeutta. [Vakkilainen 2005, 7-3]

Jokaisella ilmatasolla on myös omat ilmanakanavat. Ne sijaitsevat symmetrisesti tulipesän keskilinjan ympärillä. Ilmanakanavien suunnitteluun kiinnitetään paljon huomiota ja tavoitteena on ilmansyöttö useasta eri pisteestä matalalla suunnittelunopeudella. Tällä varmistetaan ilman tasainen jakautuminen kaikille seinille poistaen epätasaisen kuormituksen riskin kattilan yläosassa. Ilmasuuttimien laskennassa käytetty ilmavirta on teoreettisen ilman ja ylimääräisen ilman (2-3-%) summa, josta vuotoilma (5%) vähennetään. Mustalipeäanalyyseistä riippuen tyypillinen arvo ilmavirralla on $3,6 - 4,0 \frac{m^3n}{kgds}$. Laskettaessa todellista ilman tilavuusvirtaa on huomioitava lämpötila-, paine- ja korkeuskorjaukset. Suunnittelun parantamiseksi primääri- ja sekundääri-ilmatasolla käytetään 20 % - 30 % suunnittelumarginaalia. Suunniteltua kuormaa käytettäessä ilmasuuttimet ovat noin 80 % avoinna. Tertiääri-ilmatasolla suunnittelu marginaali on jopa 100 %. Suuri marginaali johtuu halusta hallita tertiääri-ilman osuutta laajassa mittakaavassa. Suunnittelumarginaalia tarvitaan myös mustalipeän koostumuksen aiheuttamien muutosten huomioimiseen. Jos annettu mustalipeän analyysi eroaa tyypillisestä arvosta, on syytä harkita laajempia suunnittelumarginaaleja. Ilmakaapin paine on soodakattilan kapasiteetin funktio. Erikokoisissa kattiloissa käytetään erilaisia suunnittelupaineita siten, että primääri- ja tertiääri-ilmasuihkut saavuttavat tulipesän keskipisteen. Suunniteltu staattinen paine primääri-ilmapuhaltimessa vaihtelee 800 Pa – 1500 Pa välillä. Alhaisempi arvo on vähimmäisarvo, jolla estetään sulan tunkeutuminen ilmanakavaan. Sekundääri- ja tertiääri-ilmapuhaltimien paineet vaihtelevat 3000 – 5000 Pa. Tulipesän vedon vuoksi painehäviö suuttimen yli on hiukan korkeampi (200 – 400 Pa). [Vakkilainen 2005, 7-4]

6.1 PRIMÄÄRI-ILMA

Primääri-ilma tulisi tuoda kattilaan vakioaineessa ja vakionopeudella palamisen vakauden ylläpitämiseksi. Se tulisi tuoda tasaisesti kattilaan symmetrian luomiseksi. Primääri-ilmalla on vähemmän vaikutusta tulipesän palamisessa kuin muilla ilmatasoilla. Primääri-ilmalla keko pidetään erillään seinistä lisäämällä palamista keon reunoilla. Primääri-ilman efektiivinen alue on vain noin 1 m seinästä.

Primääri-ilma-aukot sijaitsevat tasaisesti jaettuna jokaisella seinällä. Suurempi jako vaatii korkeamman paineen primääri-ilmalle. Enintään 624 mm suutinjakoa on käytetty menestyksekkäästi. Lähellä kattilan kulmia käytetään 300 mm – 700 mm jakoa. Tällä tavalla mustalipeän kertyminen kulmiin estetään. Tämä hiiltynyt kasa voi romahtaa ja virrata primääri-ilmasuuttimien kautta ilmanakavaan tai jopa kattilahuoneeseen. Ilmasuuttimet on suunniteltu siten, että korkeuden ja leveyden suhde on välillä 1,5 – 2. Leveiden aukkojen taipumus tukkeutua on matalampi kuin kapeiden aukkojen. Myös korkean paineen ja yksittäisen säätöpellin käyttö pienentää primääri-ilma-aukkojen mahdollisuutta tukkeutua. Primääri-ilma-aukot on suunnattu $10^\circ - 45^\circ$ kulmassa alaspäin. Tämän tarkoituksena on

estää sulan virtaaminen ilma-aukkoihin. Suurempi kulma voi johtaa kuoppien muodostumiseen sulapetiin ilma-aukon edessä jolloin sulia alueita voi olla näkyvissä, mikä johtaa matalaan reduktioon ja äärimmäisissä tapauksissa jopa ilmasuuttimen vaurioitumiseen. [Vakkilainen 2005, 7-4, 7-5]

6.2 SEKUNDÄÄRI-ILMA

Sekundääri-ilma tuodaan juuri keon yläpuolelle halutun lämpötilan ylläpitämiseksi kattilan alaosassa. Hallitsemalla tätä lämpötilaa voidaan pitää alhaiset päästöt ja korkea pelkistystehokkuus. Jos kattila käyttää korkeaa kuiva-ainepitoisuutta, haasteena on usein se, kuinka pitää riittävän korkea keko, ei kuinka kuuma. Asianmukaisella suunnittelulla palaminen tapahtuu tulipesän alaosassa. Tulipesän koko korkeutta käytetään siten tehokkaasti savukaasujen jäähdyttämiseen ennen niiden tulemista tulistimiin. Tämä parannettu lämpötilaprofiili (tulipesän poistolämpötilan vaihtelu) vähentää lämmityspintojen likaantumista ja tulistimen korroosion riskiä. Alemman tulipesän vakaa palaminen vaatii tehokasta sekoittamista suuren nopeuksien ilmasuihkulla. Säädettävät pellit ja tarkka virtauksen hallinta mahdollistavat toiminnan alhaisella kuormitustasolla. [Vakkilainen 2005, 7-5]

Sekundääri-ilmatasolla on suurin vaikutus soodakattilan tulipesän toimintaan. Sen päätarkoitus on polttaa keosta nousevia virtaavia kaasuja. Tämä palaminen säteilee lämpöä takaisin kekoon, mikä auttaa rajoittamaan keon kasvamista liian korkeaksi. Täydellinen palaminen tarkoittaa, että palavien aineiden ja ilman sekoittumisen tulee olla mahdollisimman tehokasta koko keon yläpuolella. Yläosan lämpöpinnan tukkeutumista voidaan vähentää lisäämällä sekundääri-ilma asianmukaisesti. [Vakkilainen 2005, 7-5]

Sekundääri-ilma-aukkojen järjestelyn tulisi olla mahdollisimman joustava, jotta voidaan käyttää erilaisia ilmanjakelumalleja kattilan käytön aikana. Ilma-aukot on sijoitettu koko seinän pituudelle. Etu- ja takaseinissä sijaitsevat ilma-aukot on sijoitettu seinän keskiosaan. Sivuseinille sijoitetuilla ilma-aukoilla on tarkoitus saada mahdollisimman korkea ilman peittävyys tulipesän vaakatason poikkipinta-alalle. Etu- ja takaseinän sekundääri-ilma eliminoi mahdollisen ilmapulan suihkun romahtamis- pisteessä. Tällä tavoin voidaan vähentää myös ilmasuihkujen törmäyksiä tulipesän kulmiin. [Vakkilainen 2005, 7-5]

6.3 TERTIÄÄRI-ILMA

Tertiääri-ilmatasolla poltetaan jäljellä olevat palavat aineet, jotka nousevat kattilan alaosasta. Tertiääri-ilman tehollisen alueen tulisi ulottua tulipesän keskikohtaan. Käytännössä tämä on melko helppoa, koska tertiääri-ilma on lämmittämätön ja varustettu suurella virtausnopeudella. [Vakkilainen 2005, 7-5]

Tertiääri-ilma-aukot sijaitsevat etu- ja takaseinissä. Ilma-aukkojen välinen etäisyys voi olla enintään 3500 mm. Tertiääri-ilma-aukkojen lukumäärä on pariton. Etuseinässä on yksi ilma-aukko enemmän kuin takaseinässä ja ne ovat toisiinsa nähden limittäin. Lisäämällä enemmän ilmaa etuseinän läpi,

virtaus pakotetaan takaseinän puolelle. Oikein suunniteltu ”nokka” voi siten toimia tehokkaana virtauksen kääntäjänä. [Vakkilainen 2005, 7-5]

6.4 ILMA-AUKKOJEN SÄÄTÖPELLIT

Kaikkien ilma-aukkojen virtauksen säätö tapahtuu säätöpellillä juuri ennen tulipesän seinää. Primääri-ilmatasolla ne ovat suojattu rengaskanavassa keon romahtamisen varalta. Ilmavirta primäärisuuttimien läpi säädetään kahden tai kolmen ryhmässä. Yhden ryhmän uloimpien porttien välinen etäisyys saa olla enintään 1200 mm. Kaikkia sekundääri- ja tertiääri-ilma-aukkoja voidaan säätää erikseen. [Vakkilainen 2005, 7-6]

Sekundääri- ja tertiääritasolla ilma-aukkojen tulisi olla mahdollisimman avoimia. Jos useita ilma-aukkoja on kuristettava, on parempi sulkea muutama ilma-aukko muiden avaamiseksi. Säätöpellit ovat välttämättömät primääritasolla. Niiden avulla matalampi ilmakaapin suunnittelupaine voidaan hyödyntää. Niiden poisjättäminen kokonaan johtaa ongelmiin matalan kuormituksen tilanteissa. [Vakkilainen 2005, 7-6]

Kattilan käytön aikana paineet vaihtelevat primääritasolla ± 200 Pa, sekundääri tasolla ± 500 Pa ja tertiääritasolla ± 700 Pa. Vaihtelu johtuu siitä, että ilma-aukot ovat likaantuneet. Tämä poikkeama voidaan pitää alle 100 Pa asentamalla automaattiset ilma-aukon puhdistajat. [Vakkilainen 2005, 7-6]

6.5 SÄÄTÖAKSELI

Sekundääri- ja tertiääri-ilma-aukkojen yksittäiset säätöpellit on kytketty säätöakseliin, joka kulkee jokaista seinää pitkin. Järjestelmä on varustettu toimilaitteella ja säätöpeltejä voidaan säätää etäältä seinä kerrallaan. Koska kytkentä akseliin on säädettävissä, on silti mahdollista säätää säätöpellit erikseen, vaikka ne olisivat kytketty pääakseliin. Säätöakselia voidaan tarvittaessa käyttää ilman ohjauksessa. [Vakkilainen 2005, 7-6]

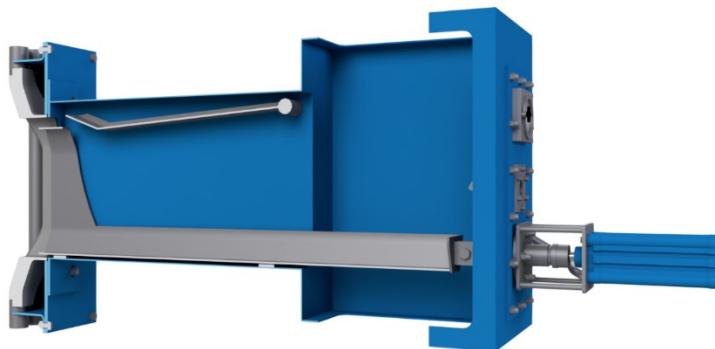
6.6 VALUSUUTTIMIT

Valusuutin on ilmajärjestelmän viimeinen osa ennen tulipesän seinää ja sen tarkoitus on ohjata ilmavirta tulipesään. Kattilaputket on taivutettu valusuuttimen geometriaa mukaillen asentamisen mahdollistamiseksi. Suutin kiristetään pulteilla tulipesän ulkopuolelle kattilaputkiin hitsattuihin kiinnityssosiin. Useat erikokoiset suuttimet käyttävät samaa aukon leveyttä, jolloin suuttimen avointa poikkipinta-alaa voidaan kasvattaa muuttamalla sen korkeutta. [Teittinen 2018, 14]

7 AUTOMAATTINEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄ

Rassilla tarkoitetaan yleensä putkimaisen esineen sisäpuolen puhdistamiseen käytettävää työkalua. Automaattirassaimen ainoa tarkoitus on siis puhdistaa soodakattilan ilma-aukot itsenäisesti, ilman jatkuvaa säätöä tai ohjausta ja pitää ilma-aukot avoimina mahdollisimman suuren osan ajasta. En-

nen automaattirasseja ilma-aukot puhdistettiin käsin. Käsin tehty puhdistus on kuitenkin usein epä-säännöllistä johtaen polttoilman virtauksen ja paineen vaihtelun vuoksi epästabiliin palamiseen. Kun ilma-aukot puhdistetaan säännöllisesti, saavutetaan tasaisempi palamisilman syöttö ja siitä johtuen parempi keon hallinta sekä vähemmän päästöjä. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]



Kuva 5. Leikkauskuva paikoilleen asennetusta automaattirassaimesta.

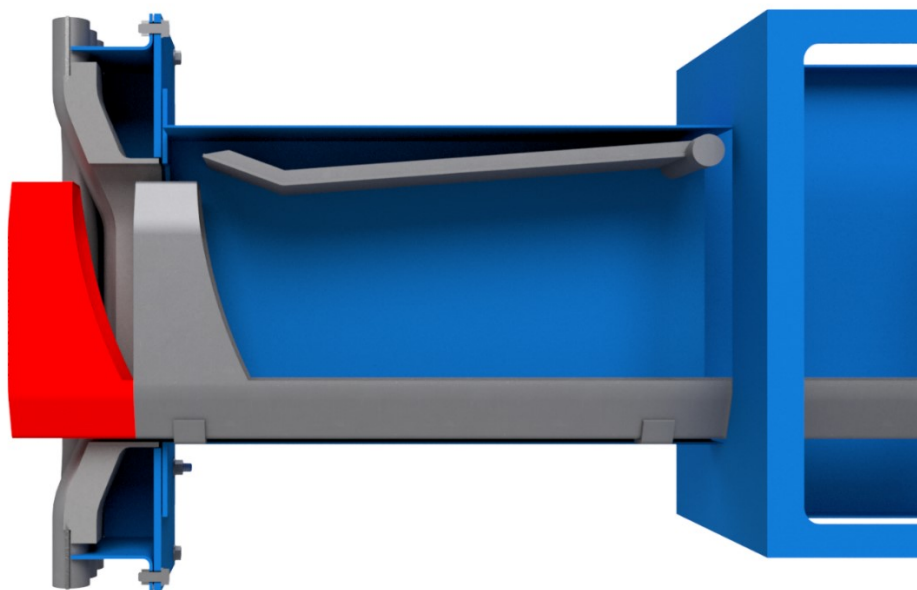
Automaattirassain koostuu puhdistuslaitteesta, ajastinohjauksesta (jos ei kytketä suoraan tehtaaseen automaatioon) ja mahdollisesta integroidusta ilmansäätölaitteesta. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]

7.1 LÄHTÖKOHDAT

10.02.2020 käydyssä palaverissa läpikäytyjen olemassa olevien ratkaisujen perusteella saatiin kartoitettua rassaimen toiminnan kannalta oleellisia ongelmakohtia:

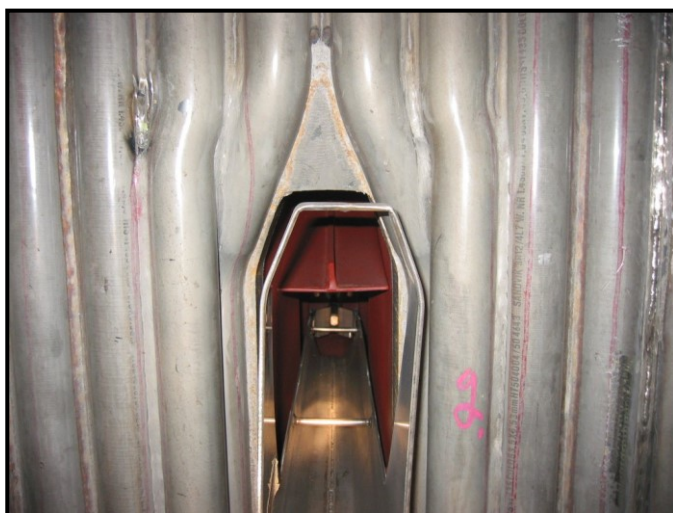
- Terän kallistuminen
- Terän palaminen
- Terän jumiutuminen valusuuttimeen tai siihen kertyneeseen likaan
- Terän varren vaikutus ilman virtaukseen
- Liikkuvien osien hankaus ja kitkan aiheuttama kuluminen

Koska valusuuttimen sijainnissa voi asennuksen johdosta olla useidenkin millimetrien heitto piirustuksiin nähden, on terä perusasennossaan noin 25 mm valusuuttimen sisäpuolella. Tällä varmistetaan terän isku valusuuttimen läpi ja estetään törmäminen tai jumittuminen valusuuttimen reunoihin. Terän iskun pituudeksi on määritetty 200 mm, jolloin tulipesän olosuhteet eivät ehdi vahingoittamaan terää. Liian pitkälle tulipesään työntyvä terä myös kallistuu helpommin jolloin se voi jäädä kiinni ilmasuuttimeen palatessaan perusasentoon.



Kuva 6. Terän isku valusuuttimen läpi.

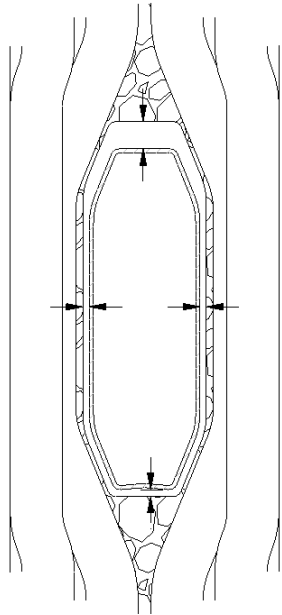
Terän kallistuminen ennaltaehkäistään riittävän tukevalla varrella ja ilmarekisterin pohjaan asennettavilla tukilevyillä. Joissain ratkaisuissa liian korkea varsi on estänyt ilmavirtauksen ilmarekisteriin, jolloin sitä on jouduttu asentamisen jälkeen leikkaamaan. Ilmakanavan avoimen pinta-alan suhde on valusuuttimen aukon pinta-alaan oltava vähintään 2,5-kertainen, mutta tyypillisesti kerroin on yli kolme. Erityisesti ilmaa sivulta syöttäessä varsi ei voi viedä tästä pinta-alasta kovin suurta osaa vaikuttamatta ilman virtaukseen. Olemassa olevien rassainterien perusteella varren korkeudeksi määriteltiin silmämääräisesti noin 20 % - 25 % terän korkeudesta.



Kuva 7. Vääntynyt terä tulipesän sisäpuolella. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]

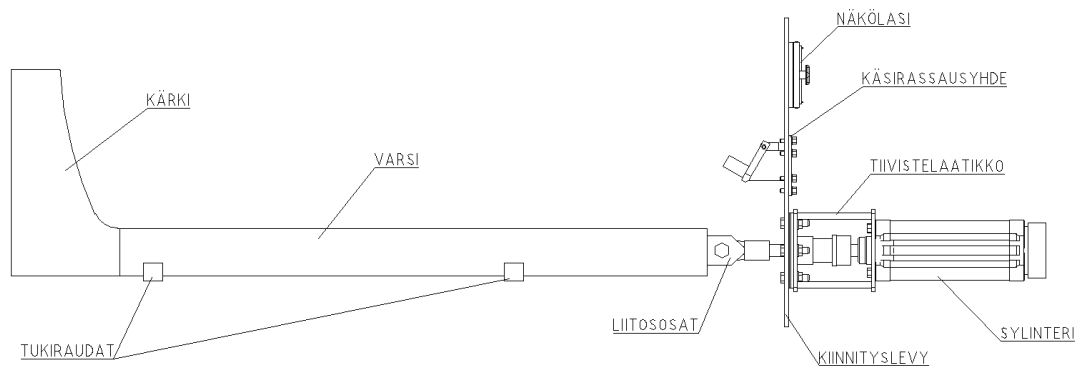
Terän jumittumista ennaltaehkäistään myös sen muotoilulla, joka mukaillee geometrialtaan valusuuttinta. Asianmukaisesti toimivan puhdistuslaitteen terä ei ole kontaktissa valusuuttimen kanssa. Terän mahdolliset vauriot lisäävät jumittumisen riskiä. Terän ulkopinnan ja valusuuttimen sisäpinnan väliin jätetään rako, jolloin terä ei pääse hankaamaan valusuuttinta tai tartu niin helposti valusuuttimeen.

kertyneeseen likaan. Tällä estetään myös terän lämpölaajenemisen tai vääntymien aiheuttama kii-
loutuminen valusuuttimeen. Terän sivuille ja alapuolelle jätetään n. 10 – 15 mm väli ja yläpuolelle n.
25 mm väli.



Kuva 8. Terän geometria tulipesän sisältä katsottuna.

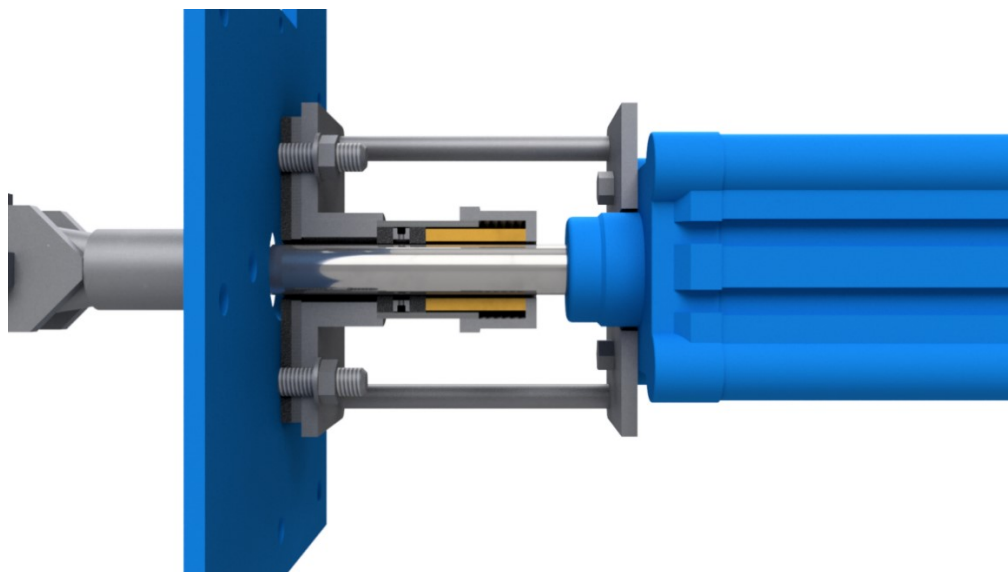
8 PUHDISTUSLAITTEEN OSAT



Kuva 9. Puhdistuslaitteen osat.

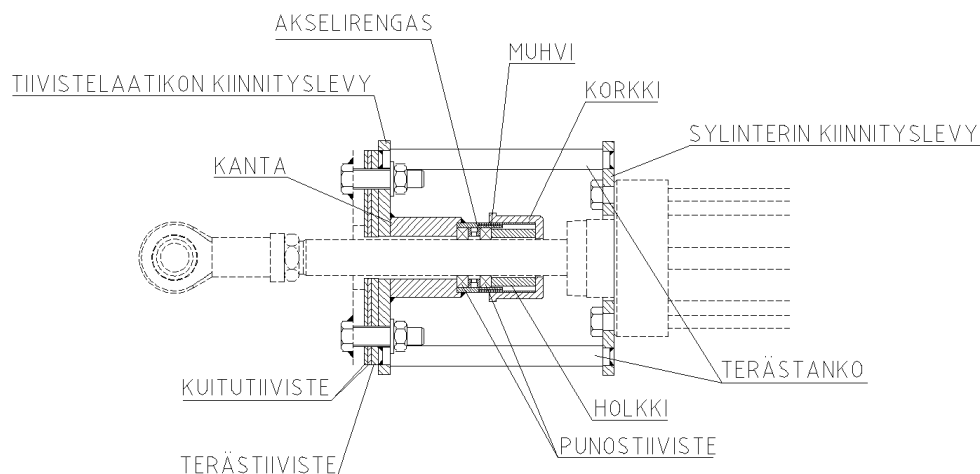
Puhdistuslaite rakentuu vakiokomponenteista ja käyttökohteen vaatimuksien mukaan mitoitetuista komponenteista. Vakiokomponentteja ovat työsylinteri, solenoidiventtiili, rajakytkin, tiivistelaatikko ja sen osat, näkölasia, terän kiinnitykseen tarvittavat osat sekä käsinrassaussyhde. Rassaimen terän muoto, terän varren pituus, terän alle asetettavat tukiraudat sekä puhdistuslaitteen kiinnityslevy vaihtelevat käyttökohteen tarpeiden mukaan.

8.1 TIIVISTELAATIKKO



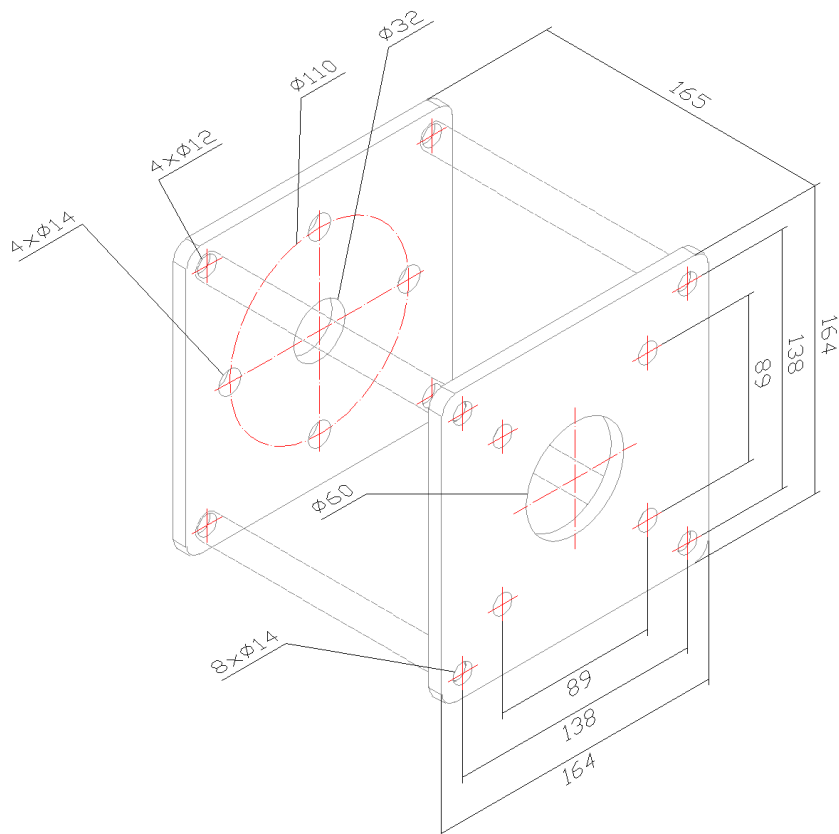
Kuva 10. Leikkauskuva tiivistelaatikon osista.

Tiivistelaatikko on välikappale millä sylinteri kiinnitetään rassaimen kiinnityslevyyn ja sen tarkoitus on suojata männän vartta sekä estää lian kulkeutuminen sylinterille. Laatikkoa pitelee kasassa laatikon päätylevyjen kulmiin sijoitetut terästangot. Joissain vanhemmissa ratkaisuissa tiivistelaatikko on ollut umpinainen teräslaatikko, mutta tämän on havaittu johtavan lämpöä sylinterille madaltaen toimintavarmuutta.

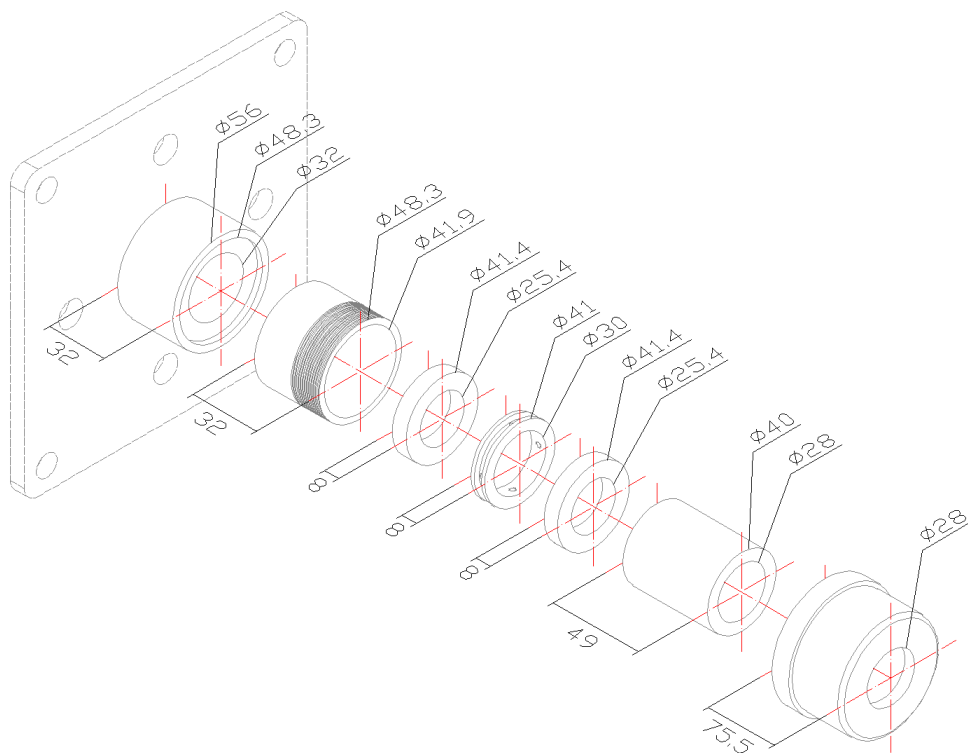


Kuva 11. Tiivistelaatikon osat.

Männänvarren tiivisteitä varten tiivistelaatioon etulevyyn kiinnitetään putkimainen kotelo. Tämän kotelon osia ovat kanta, muhvi ja korkki. Kanta kiinnitetään tiivistelaatikon etulevyyn hitsaamalla. Kantaan hitsataan muhvi, minkä sisälle asetetaan punostiivisteet ja akselirengas. Nämä osat puristetaan paikoilleen holkin avulla korkin kiinnityksen yhteydessä. Osat ovat tiivisteitä, akselirengasta ja holkkia lukuun ottamatta terästä. Holkki ja akselirengas valmistetaan messingistä, koska teräksestä valmistettuna ne kuluttavat männän vartta.



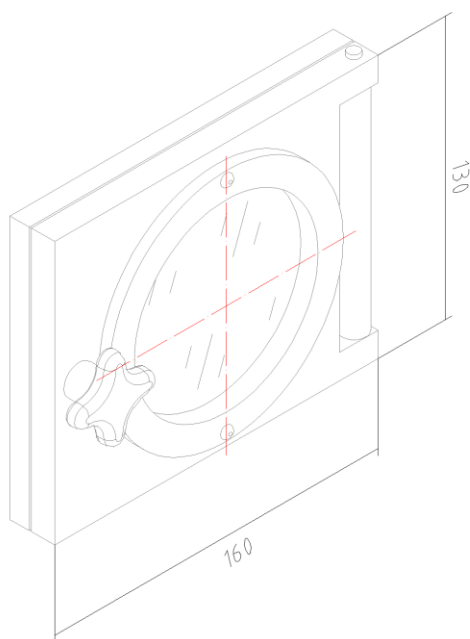
Kuva 12. Tiivistelaatikon mitat.



Kuva 13. Tiivistekotelon ja muiden osien mitat.

Kiinnitystä ja sylinterin varren läpivientiä varten rassaimen kiinnityslevyyn leikataan läpimitaltaan 50 mm reikä ja sen ympärille neljä läpimitaltaan 14 mm reikää pultteja varten. Tiivistelaatikon ja rassaimen kiinnityslevyn väliin asennetaan kaksi kappaletta kuitutiivisteitä ja terästiiviste.

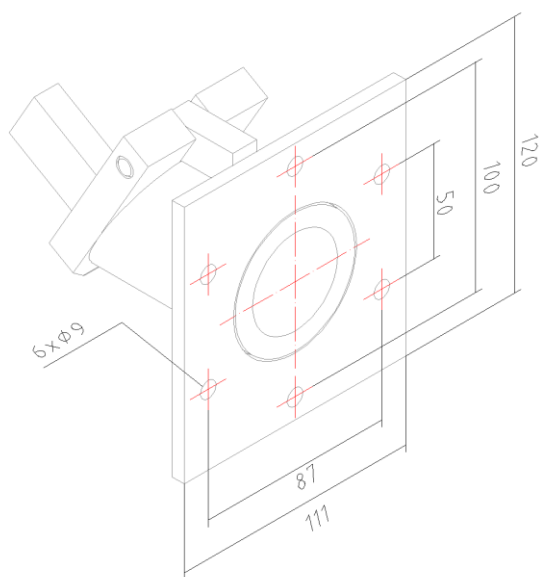
8.2 NÄKÖLASI



Kuva 14. Näkölasi mitat.

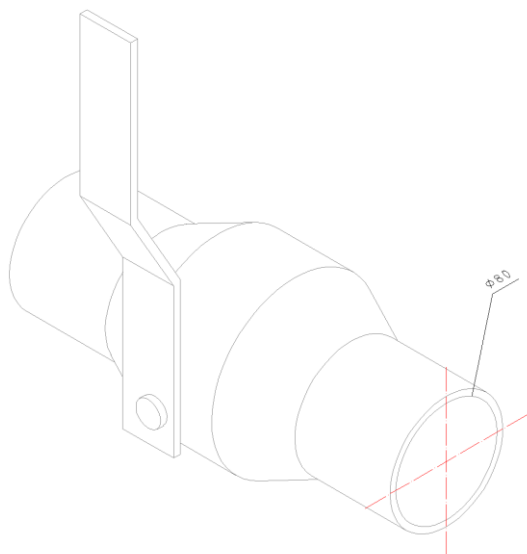
Käytettävä näkölasi on Andritzin standardimalli. Näkölasia varten rassaimen kiinnityslevyyn leikataan läpimitaltaan 100 mm reikä. Näkölasin kehysten ulkomitat ovat korkeus 160 mm x 130 mm ja se kiinnitetään hitsaamalla.

8.3 KÄSIRASSAUSYHDE



Kuva 15. Käsirassausyhteen mitat.

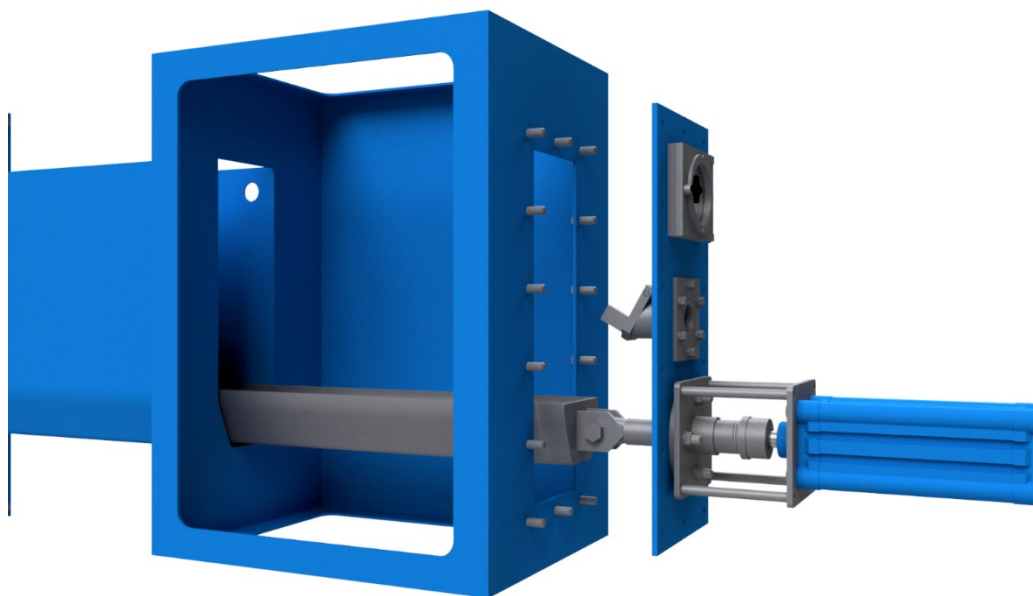
Myös käsirassausyhde on standardimalli. Käsirassausyhdetä varten kiinnityslevyyn leikataan 85 mm korkea ja 73 mm leveä aukko sekä kuusi läpimitaltaan 8 mm reikää pultteja varten. Käsirassausyhteen kiinnityskappale on mitoiltaan 120 mm x 111 mm.



Kuva 16. Venttiili.

Terriäritasolla (mikäli laimeat hajukaasut tai liuottajan höngät ovat tertiääri-ilmassa) käsirassausyhde on korvattu kiinnityslevyyn hitsattavalla DN80 venttiilillä. Venttiiliä varten kiinnityslevyyn on leikattava läpimitaltaan 80 mm reikä.

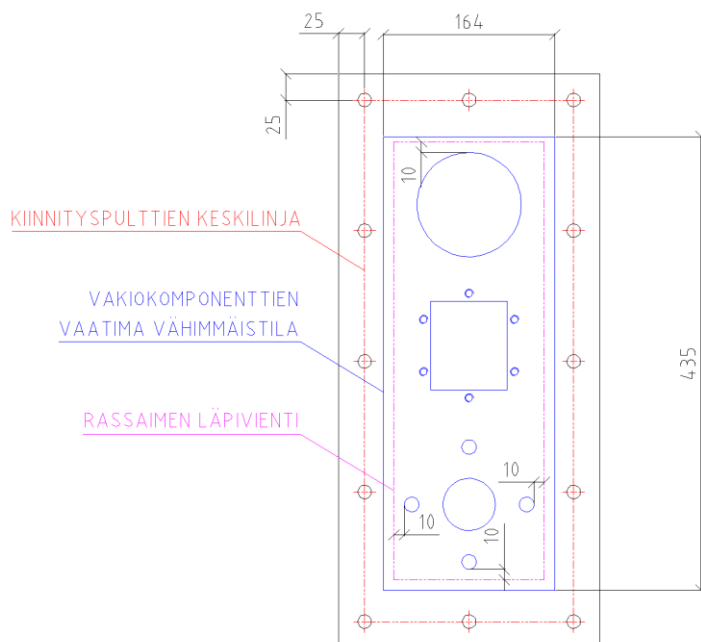
8.4 KIINNITYSLEVY



Kuva 17. Puhdistuslaitteen kiinnitys ilmanavaan.

Puhdistuslaitteen kiinnityslevyn mitoituksessa on huomioitava vakiokomponenttien vaatima tila, sekä terän koko. Puhdistuslaite kiinnitetään ilmanakanavan seinään pulteilla. Seinään leikattavan aukon on oltava riittävän suuri, että terä mahtuu kulkemaan sen läpi. Koska puhdistuslaitteen terän koko muikalee käytettävän valusuuttimen muotoa ja koska standardivalusuuttimen merkittävin muuttuja on

korkeus, voidaan saman kokoista kiinnityslevyä käyttää useammassa eri tapauksessa. Andritzin standardivalusuuttimien leveydet ovat 90 mm, 120 mm, 150 mm, 305 mm ja 461 mm. Esimerkiksi 250 cm² ja 350cm² valusuuttimen leveys on sama, mutta 350 cm² suuttimen korkeus on hieman yli 100 mm korkeampi. Tämä tarkoittaa, että molempien suuttimien puhdistuslaitteen kiinnitys voi tapahtua saman kokoisella levyllä, ainoastaan ilmarekisteriin leikattava läpivienti on erikokoinen.



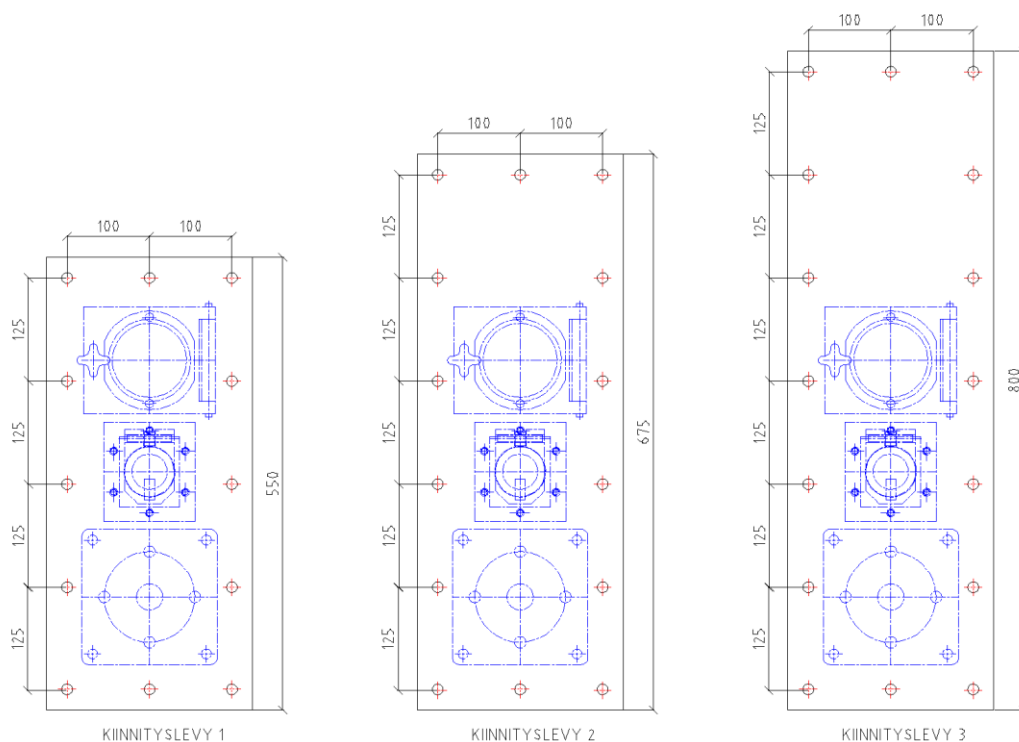
Kuva 18. Kiinnityslevyn vakiomitat

Kiinnityslevyn ulkoreunojen ja rassaimen läpiviennin reunojen välinen etäisyys on n. 50 mm, jolloin asentamiselle on riittävästi tilaa. Kiinnityslevyn kiinnityspulttien keskilinja kulkee 25 mm etäisyydellä kiinnityslevyn ulkoreunoista. Vakiokomponenttien vaatima vähimmäistila on korkeudeltaan 435 mm ja leveydeltään 164 mm. Kuten kuvasta 12 voimme huomata, kiinnityslevyn mitoituksen tärkein muuttuja on rassaimen läpiviennin koko, mutta vähimmäismitat määrittää vakiokomponenttien vaatima tila. Läpiviennin vähimmäismitat määrittävät puolestaan vakiokomponenttien aukot kiinnityslevyssä.

Taulukko 1. Sekundääri- ja tertiärivalusuuttimien standardimitat.

PUTKIJAKO (mm)	VALUSUUTIN (cm ²)	AVOIN LEVEYS (mm)	AVOIN KORKEUS (mm)
51,6	250	90	309
52	350	120	305
80	300	90	366
76,2	500	150	372
76,2	700	142	504
78	250	90	309
78	350	90	421
78	450	120	398
78	500	150	371
78	550	150	404
78	600	150	437
78	650	150	470
78	700	150	504
78	800	150	571
78	900	150	637
78	1000	305	441
78	1200	305	507
78	1400	305	572
78	1600	305	637
78	2000	305	769
84	450	150	344
84	650	150	467
84	800	200	450

Tällä tavalla kiinnityslevyn vähimmäiskorkeudeksi saatiin määritettyä 550 mm ja -leveydeksi 250 mm sekä läpiviennin vähimmäiskorkeudeksi 420 mm ja -leveydeksi 144 mm. Taulukosta 1 näemme, että pienin mahdollinen kiinnityslevy on mitoiltaan riittävä jo 5:lle eri standardivalusuuttimelle. Kun huomioidaan terän leveys, joka on parikymmentä millimetriä kapeampi kuin valusuuttimen avoin leveys huomataan pienimmän mahdollisen kiinnityslevyn soveltuvan 8:lle eri valusuuttimelle. Tämä olisi myös leveydeltään riittävä kaikille 90 mm – 150 mm valusuuttimille, jolloin isomprien rassainterien etulevyn mitoituksen ainoaksi muuttujaksi jää korkeus.



Kuva 19. Kiinnityslevyvaihtoehdot 90 mm - 150 mm leveille valusuuttimille

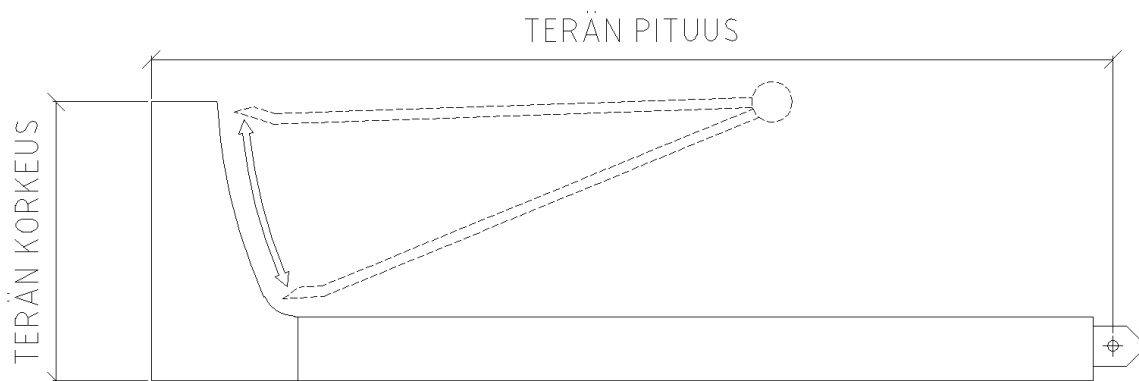
Kiinnityslevyn kiinnityspulttien vertikaalinen pulttijako on 125 mm ja niiden etäisyys levyn keskilinjassa ylä- ja alareunassa sijaitsevista kiinnityspulteista on 100 mm. Kiinnityslevyn korkeutta muutetaan lisäämällä yksi pulttirivi, kunnes saadaan riittävän kokoinen kiinnityslevy 90 mm – 150 mm leveyden suutinten terille. Kuten kuvasta 20 voidaan nähdä, 90 mm – 150 mm leveyden suutinten automaattirassaimet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään korkeuden mukaan. Taulukossa 2. on esitetty kiinnityslevyjen soveltuvuus kullekin suutinleveydelle tarkemmin.

Taulukko 2. Kiinnityslevyvaihtoehtojen soveltuvuus eri valusuuttimille

PUTKIJAKO (mm)	VALUSUUTIN (cm ²)	AVOIN LEVEYS (mm)	AVOIN KORKEUS (mm)	
51,6	250	90	309	Kiinnityslevy 1
52	350	120	305	
80	300	90	366	
76,2	500	150	372	Kiinnityslevy 2
76,2	700	142	504	
78	250	90	309	
78	350	90	421	Kiinnityslevy 3
78	450	120	398	
78	500	150	371	
78	550	150	404	
78	600	150	437	
78	650	150	470	
78	700	150	504	
78	800	150	571	
78	900	150	637	
78	1000	305	441	
78	1200	305	507	
78	1400	305	572	
78	1600	305	637	
78	2000	305	769	
84	450	150	344	
84	650	150	467	
84	800	200	450	

8.5 TERÄ

Puhdistuslaitteen terä muodostuu kolmesta osasta, valusuutinta puhdistavasta kärjestä, siihen kiinni hitsattavasta varresta ja varren toiseen päähän hitsattavasta liitoskappaleesta.



Kuva 20. Integroidun ilmansäätölaitteen liikerata ilmarekisterin sisällä.

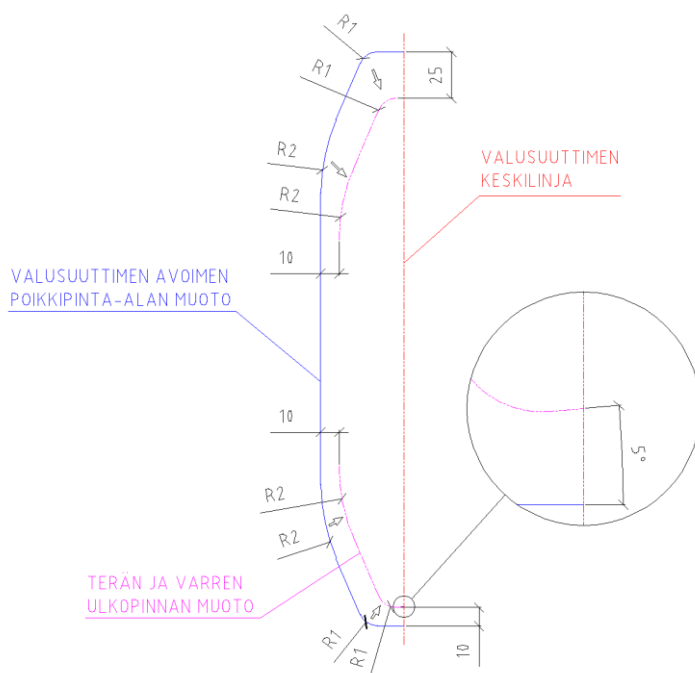
Kokonaispituus määritetään liitoskappaleen kiinnityspultin keskilinjasta terän päähän. Terän geometrian määrittää käyttökohteessa käytettävän valusuuttimen muoto ja pääasiassa sekundääritasolla käytetyn säätöpellin liikerata ilmarekisterin sisällä. Säätöpellin liikerata vaikuttaa terän sivuprofiiliin

muotoon vain silloin, jos rassain sijoitetaan säätöpellillä varustettuun ilmarekisteriin. Muissa tapauksissa terän sivuprofiili voi olla lähes millainen tahansa. Varren geometria mukailee terän muotoa ja sen pituus on kärkiosan pituuden ja kokonaispituuden erotus.



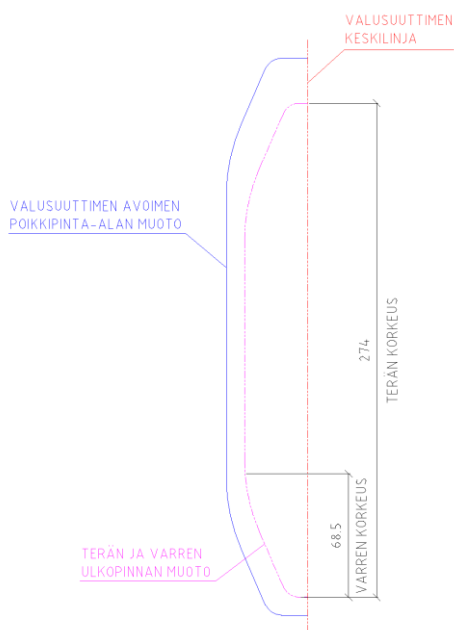
Kuva 21. Terän osien hitsaukset.

Sekä terän kärki, että varsi muodostuvat kahdesta puolikkaasta, jotka ovat toistensa peilikuvat. Puolikkaat valmistetaan teräslevystä taivuttamalla ja ne kiinnitetään toisiinsa hitsaamalla. Kärkiosan materiaalivahvuus on 6 mm ja varren materiaalivahvuus on 5 mm. Materiaalina käytetään tulenkestävää terästä.



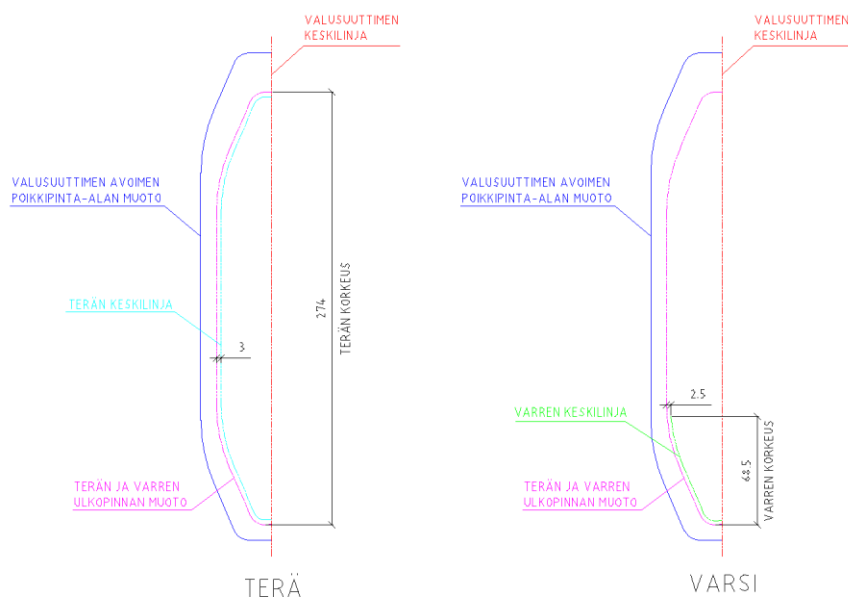
Kuva 22. Kärkiosan sekä varren ulkopinnan muotoon vaikuttavat tekijät.

Terän muoto mukaillee valusuuttimen muotoa. Koska varren materiaalivahvuus on pienempi kuin kärkiosan materiaalivahvuus, määritetään sekä kärjen että varren muoto niiden ulkopinnasta valusuuttimen sisäpintaan. Kärjen ja varren taivutuksien säteet ovat samat kuin valusuuttimen avoimen poikkipinta-alan muodon määrittävät säteet. Taivutusten paikat määrittävät puolestaan valusuuttimen ja terän väliin jäävä tila. Ainoa eroavaisuus valusuuttimen muodon ja terän muodon välillä on terän alaosassa, mistä terän osia taivutetaan 5° sisäänpäin. Tällä vähennetään hankauksen aiheuttamaa kulumista terän alaosan hitsaussaumaan, mutta se parantaa myös terän jäykkyyttä sekä vähentää valusuuttimen palamista terän alta.



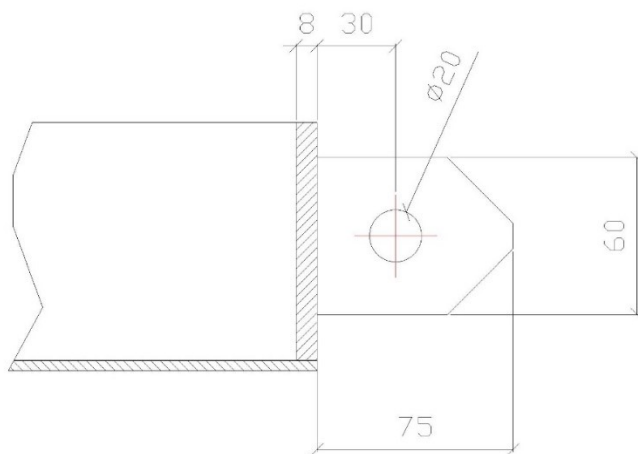
Kuva 23. Kärkiosan sekä varren ulkopinnan muoto.

Koska kärkiosan materiaalivahvuus on 6 mm ja varren materiaalivahvuus on 5 mm, eivät niiden mitat ole täysin identtiset. Varren materiaalivahvuus on pienempi, koska tulipesän vahingolliset olosuhteet vaikuttavat pääasiassa terän kärkeen. Keskilinja saadaan määritettyä vähentämällä puolet materiaalivahvuudesta terän ulkopinnan mitoista. Tällä tavalla rassaimen puhdistusosan kappaleiden ulkopinnasta saadaan yhtenäinen ja saumaton kokonaisuus.



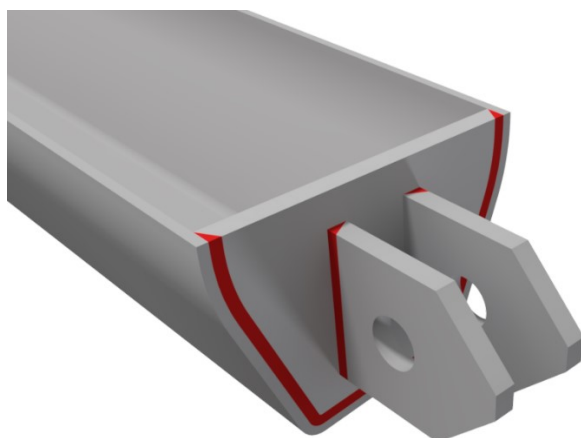
Kuva 24. Kärkiosan sekä varren keskilinjan määrittäminen.

Rassain kiinnitetään sylinteriin varren päähän hitsattavalla kiinnitysosalla. Kiinnitysosa koostuu kolmesta kappaleesta. Varteen hitsattava kappale on muodoltaan identtinen varren pään avoimen pinta-alan kanssa. Tähän kappaleeseen kiinnitetään hitsaamalla sylinterin männän kiinnityksessä tarvittavat kappaleet. Kiinnitysosat valmistetaan 8 mm vahvuisesta teräslevystä.



Kuva 25. Kiinnitysosien mitat.

Männän varren kiinnitystä varten tarvittavat kappaleet ovat kooltaan 60 mm x 75 mm. Näihin porataan läpimitaltaan 20 mm reikä pulttiliitosta varten. Etäisyys reiän keskilinjasta rassaimen varren päähän on 30 mm.



Kuva 26. Terän kiinnitysosien hitsaukset.

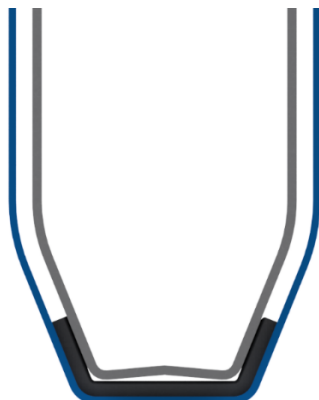
Rassaimen puhdistusosan kokonaispaino on kärjen, varren ja kiinnityskappaleen yhteispaino. Terän painoon vaikuttavia tekijöitä ovat valusuuttimen leveys, korkeus sekä mahdollisen integroidun säätöpellin liikerata ilmarekisterin sisällä. Varren painoon vaikuttavat terän korkeus ja sen muoto. Kiinnityskappaleen varteen hitsattavan osan painoon vaikuttavat varren korkeus ja sen muoto. Sylinterin männänvarren kiinnittämistä varten tarvittavien kappaleiden paino on vakio.

Taulukko 3. Rassaimen osien poikkileikkauksien pinta-alat ja painot eri valusuuttimille.

PUTKIJAKO (mm)	VALUSUUTIN (cm ²)	A _{terä} (mm ²)	A _{varsi} (mm ²)	m _{terä} (kg/m)	m _{varsi} (kg/m)	A _{levy} (mm ²)	m _{levy} (kg)
51,6	250	3510	785	27,5	6,2	2616	0,2
52	350	3898	957	30,6	7,5	4962	0,3
80	300	4189	926	32,9	7,3	3404	0,2
76,2	500	4795	1162	37,6	9,1	6855	0,4
76,2	700	6365	1488	50,0	11,7	10591	0,7
78	250	3505	783	27,5	6,1	2553	0,2
78	350	4849	1064	38,1	8,3	4229	0,3
78	450	4946	1162	38,8	9,1	6495	0,4
78	500	4788	1163	37,6	9,1	6927	0,4
78	550	5184	1246	40,7	9,8	7904	0,5
78	600	5580	1328	43,8	10,4	8892	0,6
78	650	5976	1411	46,9	11,1	9882	0,6
78	700	6384	1496	50,1	11,7	10902	0,7
78	800	7188	1663	56,4	13,1	12912	0,8
78	900	7980	1826	62,6	14,3	14895	0,9
78	1000	6318	1523	49,6	12,0	12274	0,8
78	1200	7110	1729	55,8	13,6	15780	1,0
78	1400	7890	1930	61,9	15,2	19639	1,2
78	1600	8670	2111	68,1	16,6	23835	1,5
78	2000	10254	2446	80,5	19,2	32825	2,1
84	450	4358	1075	34,2	8,4	6043	0,4
84	650	5958	1410	46,8	11,1	10027	0,6
84	800	6005	1473	47,1	11,6	12194	0,8

Taulukossa 3 on esitetty eri valusuuttimille mitoitettut terät sekä niiden varret. Pinta-alat on määritetty Autodesk Inventor ohjelmiston avulla luotujen 3D-mallien pohjalta. Tämän jälkeen terille ja varseille on laskettu paino metriä kohti, koska rassaimen pituus vaihtelee tapauskohtaisesti. Levyjen materiaalivahvuuden ollessa 8 mm on niille laskettu vain kappaleen paino. Osien painojen määrittämisessä on käytetty teräksen tiheyttä ($7850 \frac{kg}{m^3}$).

Rassaimen alapuolelle kiinnitettävät tukilevyt mitoitetaan rassaimen alaosan ulkopinnan muodon mukaan. Tukilevyt kiinnitetään ilmarekisteriin hitsaamalla ja niiden tarkoitus on ohjata sekä tukea rassainta. Tukilevyn materiaalivahvuus on 8 mm ja se valmistetaan teräslevystä taivuttamalla.



Kuva 27. Tukirauta.

8.7 SYLINTERI

Terän liikuttamiseen käytettävä työsylinteri on kaksitoiminen pneumaattinen toimilaite. Sylinterin männän halkaisija on 80 mm, männän varren halkaisija on 25 mm, iskun pituus 200 mm ja käyttöpaine 6 - 7 baria. Käyttöpaineen katsotaan olevan riittävä sekundääritason rassaimille ja pienemmille teritääritason rassaimille. Sylinterin hyötysuhteeksi valmistaja on ilmoittanut 90 %.

Sylinterin työntövoima saadaan määritettyä kaavalla $F_{työntö} = \mu * \frac{1}{4} * \pi * p * d_m^2$, missä p on käyttöpaine, d_m on männän halkaisija ja μ on sylinterin hyötysuhde.

Työntövoimaksi saadaan 6 barin käyttöpaineella $F_{työntö} = 0,9 * \frac{1}{4} * \pi * 600\,000 \text{ Pa} * 80^2 \text{ mm}^2 = 2,7$ kN ja 7 barin käyttöpaineella 3,2 kN.

Koska terä liikkuu ilmarekisterin sisällä eteen- ja taaksepäin, on sylinterin työntövoiman lisäksi teidettävä sen vetovoima.

Sylinterin vetovoima saadaan kaavasta $F_{veto} = \mu * \pi * p * \frac{d_m^2 - d_v^2}{4}$, missä d_v on männänvarren halkaisija.

Vetovoimaksi saadaan 6 barin käyttöpaineella $F_{veto} = \mu * \pi * 600\,000 \text{ Pa} * \frac{(80 \text{ mm} - 25 \text{ mm})^2 \text{ mm}^2}{4} = 2,4$ kN ja 7 barin käyttöpaineella 2,8 kN.

Koska sylinterin vetovoima on pienempi kuin työntövoima, käytetään sitä sylinterin teoreettisen maksimikuorman määrittämiseen.

Sylinterin teoreettinen maksimikuorma saadaan kitkakertoimen kaavasta $\mu = \frac{F}{N}$, missä μ on kitkakerroin, F on kappaleen liikuttamiseen tarvittava voima ja N on kappaletta pintaa vasten kohtisuoraan puristava voima. Tukivoima N voidaan ilmaista myös massan m ja painovoiman kiihtyvyyden tulona $N = m * g$. Materiaaliparin teräs – teräs lepokitkakertoimenä käytetään arvoa 0,15.

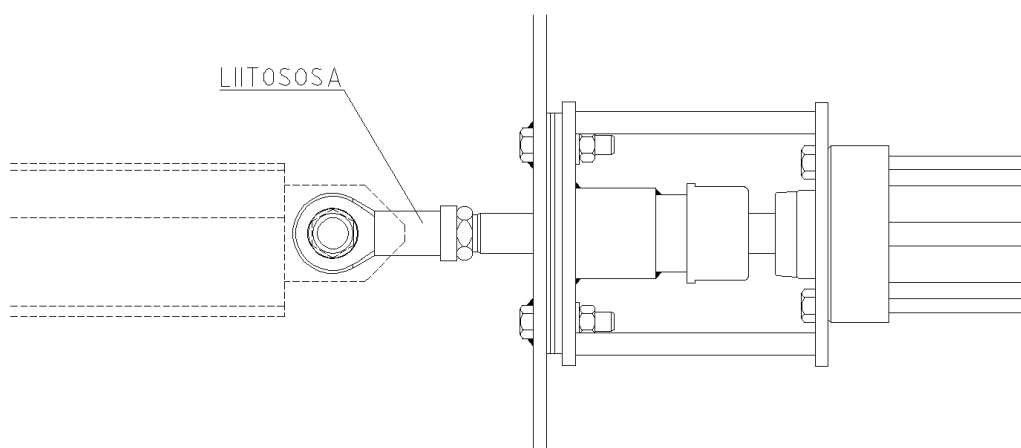
Sylinterin maksimikuormaksi saadaan 6 barin käyttöpaineella $\mu = \frac{F}{m * g} \rightarrow m = \frac{F}{\mu * g} = \frac{2400 N}{0,15 * 9,81 \frac{m}{s^2}} \approx$

1631 kg ja 7 barin käyttöpaineella ~ 1903 kg.

Koska teräs on pystyttävä liikkumaan ilmarekisterissä, sekä irrottamaan ilma-aukon pintaan kertynyt suolakerrostuma on teräs maksimipainon oltava huomattavasti sylinterin maksimikuormaa matalampi.

Teräs maksimipaino saadaan määritettyä voiman peruskaavalla $F = m * a$. Koska maksimipainossa on huomioitava myös kitka on käytettävä laskukaava $F = m * a - \mu * m * g$, missä a on sylinterin aikaansaama kiihtyvyys. Kiihtyvyyden laskennallisena arvona käytetään $20 \frac{m}{s^2}$. Käytetty kiihtyvyyden arvo on huomattavasti suurempi kuin todellisuudessa. Tällä varmistetaan, että sylinteriin jää riittävästi voimaa suolakerrostuman irrottamista varten. [ANDRITZ, rassainpalaverit]

Teräs maksimipainoksi saadaan 6 barin käyttöpaineella $F = m * a - \mu * m * g \rightarrow m = \frac{F}{a - \mu * g} = \frac{2400 N}{20 \frac{m}{s^2} - 0,15 * 9,81 \frac{m}{s^2}} \approx 129,5$ kg ja 7 barin käyttöpaineella ~ 151 kg.



Kuva 28. Teräs kiinnitys männänvarteen.

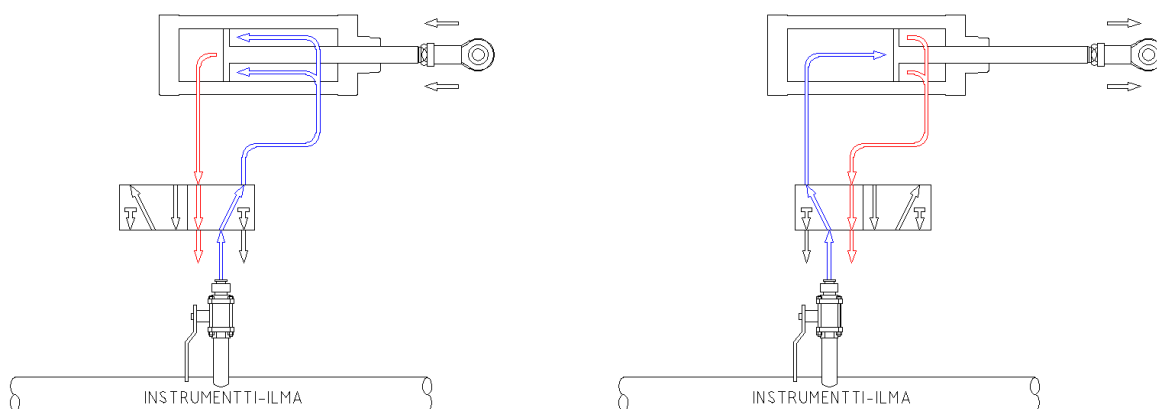
Teräs kiinnitystä varten männänvarteen kiinnitetään männänvarren silmukka.

9 SEKUNDÄÄRI- JA TERTIÄÄRITASOJEN ILMAREKISTERIEN PUHDISTIMEN OHJAUS

Rassainten ohjaus voidaan toteuttaa joko laitoksen olemassa olevasta järjestelmästä (DCS, Distributed Control System) tai erillisellä logiikalla (PLC, Programmable Logic Controller). Molemmista tapauksissa niihin ohjelmoidaan jokaisen rassaimen omakohtainen toiminta ja kaikkia rassaimia ohjaavat sekvenssit. Ohjelmoinnissa huomioidaan laitoskohtaiset vaatimukset ja operaattoreiden toiveet toiminnan suhteen. Myös ohjauskomponentit, niiden tyypit ja valmistajat, määräytyvät usein laitoskohtaisesti. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]

Rassainten voimanlähteenä käytettävä paineilma tuodaan venttiilille kattilan instrumentti-ilmaverkon putkistosta DN15 juuriventtiiliin kautta. Mikäli instrumentti-ilmaa ei ole käytettävissä, käytetään työilmaa. Instrumentti-ilman käyttö on suositeltavaa, sillä se on kuivattua ja suodatettua (ilmassa olevien partikkeleiden määrä ja koko eivät aiheuta tukkeutumista, komponenttien osien ennenaikaista kulumista tai rikkoontumista). Juuriventtiililtä paineilma kuljetetaan solenoidiventtiilille paineilmaletkua pitkin. Letku kiinnitetään sekä juuriventtiiliin että solenoidiventtiiliin työntöliittimellä. [ANDRITZ, Automaatiopalaveri]

9.1 RASSAIMEN OHJAUksen RAKENNE



Kuva 29. 5/2-suuntaventtiilin toimintaperiaate.

Sylinteriä ohjataan 5/2 solenoidiventtiilillä, joka on sijoitettu sylinterin kylkeen, joissain tapauksissa solenoidiventtiili on sijoitettu koteloon. Solenoidiventtiili valitaan käytettävän ohjausjännitteen ja ohjauksessa käytettävissä olevan tehon mukaan, ohjausjännite on käyttökohteesta riippuen yleensä 110VAC, 230VAC tai 24VDC. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]

Solenoidiventtiilin asentoa eli sylinteriin kulkevan ilman virtaussuuntaa ohjataan venttiiliin solenoidin liikuttamalla karalla. Kun solenoidille syötetään jännite, kela vetää ja venttiilin kara liikkuu asentoon, jolloin ohjautuu ilma sylinterissä männän taakse samanaikaisesti purkaen männänvarren puolella olevan ilman poistoliitäntän kautta ulos. Tämä pakottaa rassainteran liikkumaan tulipesään sisäänpäin. Jännitteen poistuessa solenoidiventtiilissä oleva jousi palauttaa karan perusasentoon jolloin

ilman virtaussuunta muuttuu päinvastaiseksi ja rassainterä palaa takaisin perusasentoon. [ANDRITZ, Automaatiopalaveri]

Rassaimessa on yleensä myös riviliitin koteloon sijoitettu paikallisohjaukseen tarkoitettu painonappi, millä järjestelmä- tai logiikkaohjaus voidaan ohittaa paikallisesti. Painonapilla voidaan syöttää solenoidin tarvitsema jännite suoraan, jolloin venttiili antaa ilmaa sylinterin työpuolelle niin pitkään, kuin operaattori painaa nappia. Kun nappi vapautetaan, sylinteri vetää terän pois tulipesästä. Painonapin signaali voidaan viedä myös ohjausjärjestelmän kautta, jolloin terä voi tehdä edestakaisen iskun ker-
tapainalluksella tai useamman iskun nappia jatkuvasti painettuna. Rassaimen paikallinen ohjaaminen ei vaikuta ohjelmoituun puhdistussekvenssiin. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]

Sylinteriin on myös mahdollista asentaa rajakytkin, mikä indikoi rassaimen perusasennon ohjausjärjestelmän kautta reaaliaikaisesti operaattorille. Rajatietoa voidaan käyttää myös sekvenssissä seuraavaan askeleeseen siirtymisen ehtona, näin seuraava rassain suorittaa työliikkeen vasta kun edellinen rassain on palannut perusasentoon. Toimintahäiriön sattuessa, esimerkiksi rassainterän jumittuessa, ohjaus- ja rajakytkin signaalista voidaan generoida hälytys ja tarpeen mukaan myös puhdistussekvenssi voidaan keskeyttää. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]

9.2 RASSAIMEN OHJAUS

Jokaisella sekundääri- ja tertiääritason rassaimella on oma itsenäinen työliike, jolloin rassain ohjataan ilmarekisteriin. Ohjaus kestää joitakin sekunteja. Työliikeohjauksen poistuttua, rassain palaa perusasentoon, jonka jälkeen seuraa lepoaika. Lepoaika on aika minkä seuraava rassain odottaa ennen työliikettä. Operaattori voi asettaa lepoajan pituuden 10 sekunnista – 30 sekuntiin. Työliikkeen kesto on tyypillisesti lepoaika + 5 sekuntia. Tällä varmistetaan, että rassaimella on riittävästi aikaa palata perusasentoon ennen seuraavan rassaimen suorittamaa työliikettä. [ANDRITZ, Automaatiopalaveri]

9.3 PUHDISTUSSEKVENSSI

Sekundääri- ja tertiääritasojen ilmarekistereiden puhdistusta ohjataan puhdistussekvensseillä. Puhdistussekvenssillä tarkoitetaan ohjausjärjestelmässä toteutettua ohjausketjua, joka määrittää miten usein ja missä järjestyksessä rassaimet puhdistavat ilma-aukkojen valusuuttimet. Puhdistus toteutetaan tyypillisesti seinä- tai ilmatasokohtaisesti ja yhden sekvenssin kesto on noin 100 – 600 sekuntia. Pääasiassa Lopullinen sekvenssin rakenne, sekä sen kesto määrittyy operaattoreiden ajotilanteista saadun käyttökokemuksen mukaan. [ANDRITZ, Automaatiopalaveri]

Puhdistussekvenssin aikana jokainen rassain suorittaa ohjauksen mukaan vuorollaan työliikkeen. Työliikkeellä tarkoitetaan rassaimen edestakaista liikettä perusasennosta ääriasentoon ja takaisin. Työliikkeen tulee tapahtua riittävän usein, että terä pystyy lävistämään suuttimeen kertyneen lian, mutta toisaalta mahdollisimman harvoin käyttöiän pidentämiseksi. Suuttimeen kertyneen sulan on

myös kuivuttava työliikkeen välillä riittävästi tai terä kuljettaa tahmeaa ja märkää sulaa ilmasuuttimen sisälle ja jää siihen kiinni. [ANDRITZ, sisäinen materiaali]

10 TULOKSET

Käyttökohteeseen sopivaa automaattirassainta määrittäessä on oleellista tietää käytettävän valusuuttimen koko sekä käytettävä ilmarekisteri. Valusuuttimen mukaan valikoidaan sopiva terä ja ilmarekisterin mukaan määritetään terän pituus. Mikäli ilmarekisteri on varustettu integroidulla ilmansäätölaitteella, on terän sivuprofilissa huomioitava sen liikerata.

Sylinterin solenoidiventtiiliä määrittäessä on tiedettävä käyttökohteen käyttöjännite.

Terän maksimipainoksi saatiin määritettyä 6 barin käyttöpaineella 129,5 kg ja suurimman rajauksen mukaisen valusuuttimen (1400 cm²) terän kärjen painoksi saatiin 61,9 kg/m sekä varren painoksi 15,2 kg/m. Tarvittavat kiinnitysosat painavat alle 2 kg.

Esimerkiksi kokonaispituudeltaan 5 metriä pitkä terä 1400 cm² valusuuttimelle, joka koostuu metrin mittaisesta kärjestä ja 4 metrisestä varresta alittaa 6 barin käyttöpaineelle määritetyn maksimipainon. Kun huomioidaan, että terän kärkiosa on todellisuudessa alle 300 mm pitkä ja varsi alle 1,5 m pitkä voidaan todeta sylinterin voiman riittävän rajauksen mukaisten valusuuttimien puhdistamiseen.

Automaattirassaimen valmistusta varten on tehty piirustukset, jotka löytyvät liitteistä. Kuvissa on esitetty osakohtaisesti niiden mitat ja materiaalit. Liitteessä 1 on esitetty automaattirassaimen osakokoonpano. Koska käytettävä rassain ei ole kaikissa tapauksissa samanlainen ovat kokoonpanot eritelty toisistaan. Kokoonpanotyyppiä 1 käytetään kun rassain sijoitetaan integroidulla säätöpölyllä varustettuun ilmarekisteriin. Kokoonpanotyyppiä 2 käytetään muissa tapauksissa. Tyyppiokohtaiset etulevyt, sekä niiden soveltuvuus eri suuttimille on esitetty liitteissä 6 ja 7.

Liitteessä 2 on esitetty rassainterän osakokoonpano ja siinä huomioitavat tekijät. Esitetettyjen leikkausten A-A, B-B ja C-C leikkauskuvat löytyvät liitteestä 3. Leikkauskuvat on tehty jokaiselle eri suuttimen terälle. Liitteessä 3 esitetty esimerkki on sovellettavissa kaikille muillekin terille.

Käsinrassausyhteen ja tiivistelaatikon valmistuspiirustukset ovat liitteet 4 ja 5.

LÄHTEET

Ph.D. Wessel, Rick. A. Recovery boiler air systems. [Viitattu 2020-01-12.] Saatavissa: <https://www.tappi.org/content/events/08kros/manuscripts/4-5.pdf>

Bajpai, Pratima. 2016. Pulp and paper industry: Chemical recovery. Englanti: Elsevier Science Publishing Co Inc. ISBN: 9780128111031.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Opetushallitus. ISBN: 9789521354267.

Lai, George Y. 2007. High-temperature corrosion and materials applications. Yhdysvallat: ASM International. ISBN10: 0871708531. ISBN13: 9780871708533.

Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. 2009. Pulping chemistry and technology. Saksa: De Gruyter. ISBN: 9783110483420

Vakkilainen, Esa. 2005. Kraft recovery boilers. Suomi: Valopaino Oy.

Teittinen, Lauri. 2018. Soodakattilan ilma-aukkojen valusuuttimien suunnittelu. Saimaan ammattikorkeakoulu. Tekniikka Lappeenranta. Kone- ja tuotantotekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/160635>

ANDRITZ Oy, Sisäinen materiaali. Installation instructions for airport rodders.

ANDRITZ Oy, Sisäinen materiaali. Suggestion for maintenance of the registers and airport rodders.

ANDRITZ Oy, Sisäinen materiaali. Secondary Air Port Rodder.

ANDRITZ Oy, Sisäinen materiaali. Ilma-aukkojen puhdistuslaite.

ANDRITZ Oy, Rassainpalaveri, 10.2.2020, Aimo Hakkarainen, Tero Nokka, Jantunen Jokke.

ANDRITZ Oy, Automaatiopalaveri 3.12.2020, Timo Kolari.

LIITEET

LIITE 1: RODDER

LIITE 2: RODDER BLADE

LIITE 3: RODDER BLADE SECTION DETAILS

LIITE 4: MANUAL RODDING OPENING

LIITE 5: RODDER ADAPTER

LIITE 6: RODDER FASTENING PLATE - TYPE I

LIITE 7: RODDER FASTENING PLATE - TYPE II