

Juho Aleksi Vierelä

MURSKAAMON MALMINKÄSITTELYLINJAN TEKNINEN PARANTAMINEN

MURSKAAMON MALMINKÄSITTELYLINJAN TEKNINEN PARANTAMINEN

Juho Aleksi Vierelä
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan insinööritutkinto, tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Juho Aleksi Vierelä

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Murskaamon malminkäsittelylinjan tekninen parantaminen

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Technical Improvement of Processing Line in Crushing Plant

Työn ohjaajat: Kai Jokinen ja Jarno Kemppainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2019

Sivumäärä: 51 + 5 liitettä

Opinnäytetyössä etsittiin parasta ratkaisua alitesuppilon materiaalivirran tehostamiseen ja sen tuotannonaikaisen puhtaanapidon mahdollistamiseen. Merkittävä ongelma kohteessa oli alitemateriaalin tarttuminen ja kasaantuminen seinämiin aiheuttaen riskin alitesuppilon tukkeutumiselle. Opinnäytetyö suoritettiin Outokumpu Chrome Oy:n toimeksiantona.

Opinnäytetyössä kartoitettiin kohteen ja sen materiaalivirran luonne ja niiden asettamat vaatimukset ja rajoitukset ratkaisulle. Ratkaisuvaihtoehtoja kartoitettiin tutustumalla erilaisten materiaalivirtojen teoriaan sekä selvittämällä yleisiä purku- ja tukkeutumisongelmia ja materiaalivirtaa tehostavia ratkaisuja. Lisäksi ratkaisuvaihtoehtoihin tutustuttaessa haastateltiin useita eri laitevalmistajia ja -toimittajia.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi toteutussuunnitelma paineilmatykkien asentamisesta kohteeseen. Paineilmatykit tehostavat alitesuppilon materiaalivirtaa poistamalla alitemateriaalin ja alitesuppilon seinämien välisen tartuntakitkan ehkäisten näin tukoksia. Paineilmatykit yhdistetään osaksi tehtaan ohjelmoitavaa logiikkaa ja niiden käyttö on mahdollista tehtaan tuotantoprosessin ollessa käynnissä.

Asiasanat: murskaamo, kaivos, seulonta, materiaalivirta, paineilmatykki

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Bachelor of Mechanical Engineering, Production Technology

Author: Juho Aleksi Vierelä
Title of thesis: Technical Improvement of Processing Line in Crushing Plant
Supervisors: Kai Jokinen and Jarno Kemppainen
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019
Pages: 51 + 5 appendices

The purpose of this thesis was to find the best solution to improve the material flow in the hopper and allow its cleaning during the production. A major problem in the hopper was the sticking and agglomeration of the flowing material. The sticking and agglomeration cause a considerable risk for the obstructions in the hopper. The thesis was commissioned by the Outokumpu Chrome Ltd.

This thesis studies the characters of the material flow and hopper as well as the requirements and constraints imposed by the material flow and hopper. Different kinds of solutions were specified by exploring the theories of different material flows, general problems with the material flow and flow aids.

As the result of this thesis an implementation plan for the installation of the air cannons was created. The air cannons enhance the material flow of the hopper and allow its cleaning during the production. In addition, the air cannons can be connected to a programmable logic controller, which allows them to be used with the factory's computer.

Keywords: crushing plant, mine, screening, material flow, air cannon

ALKULAUSE

Haluan kiittää Outokumpu Chrome Oy:tä opinnäytetyön mahdollistamisesta ja Kemin kasvoksen henkilökuntaa kattavista keskusteluista, joissa tuli esiin erinomaisia ajatuksia ja huomioita opinnäytetyön ratkaisusta. Lisäksi haluan kiittää kaikkia mukana olleita henkilöitä heidän antaessaan oman panoksensa opinnäytetyön onnistumiselle.

Oulussa 10.4.2019

Juho Aleks Viereä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 KEMIN KAIVOS	10
2.1 Kemin kaivoksen toiminta	10
2.2 Kemin kaivoksen murskausprosessi	11
3 MATERIAALIVIRRAN ONGELMA	13
3.1 Koheesio ja agglomeraatio	14
3.2 Yleiset purku- ja tukkeutumisongelmat	16
3.2.1 Tarttuminen seinämiin	16
3.2.2 Holvaantuminen	16
3.2.3 Kuilumuodostelma ja epätäydellinen tyhjeneminen	17
3.2.4 Segregaatio	18
3.3 Ongelman seuraukset murskaamalla	19
4 MALMINKÄSITTELYLINJAN TEKNINEN PARANTAMINEN	22
4.1 Materiaalivirta ja alitesuppilo	22
4.2 Geometriamuutokset	24
4.3 Kulutusteräket ja pinnanlaatu	25
4.4 Kulutusterästen pinnoitus	27
4.5 Lisälaittevalinnat	28
4.5.1 Paineilmatytkki	29
4.5.2 Paineilmaleka	31
4.5.3 Sähkötoiminen tärymoottori	33
4.5.4 Muita lisälaitteita	35
4.6 Ratkaisuvaihtoehtojen vertailu	36
5 TOTEUTUSSUUNNITELMA	37
5.1 Martin Typhoon -paineilmatytkki	37

5.2 Osat ja varusteet	39
5.3 Paineilmatykkien asennus	40
5.3.1 Purkuputkien asennus alitesuppiloon	41
5.3.2 Paineilmatykkien asennus purkuputkiin	42
5.3.3 Paineilmatykkien liittäminen paineilmalinjaan ja PLC:hen	43
5.3.3.1 Ohjausyksikkö ja tehtaan ohjelmoitava logiikka	45
5.4 Paineilmatykin käyttöönotto	45
5.5 Paineilmatykkien kunnonvalvonta ja huoltaminen	46
6 YHTEENVETO	48
LÄHTEET	49
LIITTEET	
Liite 1 Paineilmatykin asennuspiirustus (Martin Engineering)	
Liite 2 Purkuputki 03042019	
Liite 3 Purkuputkien asennus 04042019A	
Liite 4 Purkuputkien asennus 04042019B	
Liite 5 Paineilmalinja toimintakaavio 300302019	

SANASTO

alitemateriaali	raekooltaan seulaverkkojen läpäisevää ainesta
National Pipe Thread (NPT)	amerikkalainen kierrestandardi
Nominal Diameter (DN)	ISO 6708 -standardiin kuuluva nimelliskoko putkille
Nominal Pipe Size (NPS)	amerikkalainen putkistandardi
ylitemateriaali	raekooltaan seulaverkkoja läpäisemätöntä ainesta

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Kemin kaivoksen murskaamon malminkäsittelylinjan materiaalivirran tehostamista. Maanpäällinen murskaamo on olennainen osa Kemin kaivoksen rikastusprosessia, jossa sen tarkoitus on murskata kaivoksella louhittu kromimalmi sopivaan raekokoon pala- ja hienorikastusta varten. Opinnäytetyö tehdään Outokumpu Chrome Oy:n toimeksiantona.

Keskeinen ongelma kaivoksen materiaalivirrassa on kostean alitemateriaalin tarttuminen alitesuppilon seinämiin. Tarttuminen heikentää materiaalivirtausta ja aiheuttaa merkittävän riskin alitesuppilon tukkeutumiselle. Lisäksi tarttuminen häiritsee jatkuvatoimiseen pinnanmittaukseen tarkoitetun säteilylähteen toimintaa. Syntyneiden tukoksien poisto nyky menetelmin on tuotannon kannalta ongelmallista, sillä toimenpiteet vaativat murskaamon malminkäsittelylinjan pysäyttämisen.

Opinnäytetyön tavoitteena on etsiä kohteeseen parhaiten soveltuva ratkaisu, jolla ehkäistään alitemateriaalin tarttuminen ja mahdollistetaan alitesuppilon tuotannonaikainen puh-taanapito. Eri ratkaisuvaihtoehtoja kartoitetaan perehtymällä materiaalivirtojen yleisiin purku- ja tukkeutumisongelmiin sekä tutustumalla markkinoilla oleviin materiaalivirran tehostamiseen suunnattuihin ratkaisuihin.

Soveltuvimmaksi valittua ratkaisua varten opinnäytetyössä luodaan myös toteutussuunnitelma, joka sisältää kaiken oleellisen ja tarvittavan tiedon muun muassa ratkaisun käyttöönottamiseksi ja käytön ylläpitämiseksi. Opinnäytetyön tietoja on mahdollista hyödyntää myös muissa tehtaan materiaalivirtoja tehostavissa ratkaisuissa.

2 KEMIN KAIVOS

Kemin kaivos on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiön Outokumpu Chrome Oy:n omistama kaivos, joka sijaitsee Kemin kaupungin pohjoispuolella Keminmaan kunnan alueella. Kyseessä on ainoa kromikaivos koko Euroopan unionin alueella. (1.)

Kaivos on osa Outokummun omistamaa integroitua ferrokromin ja ruostumattoman teräksen valmistusketjua Kemi - Tornion alueella. Kemin kaivoksen tehtävänä on tuottaa kromimalmista tehtyjä kromirikasteita Torniossa sijaitsevan ferrokromitehtaan raaka-aineiksi. Ferrokromitehtaan tuotteena syntyvän ferrokromin sisältämä kromi tekee Tornion terästehtaalta valmistettavasta teräksestä ruostumatonta. (1.)

Kemin kaivos avattiin vuonna 1968, vajaa kymmenen vuotta malmiesiintymän löytymisen jälkeen. Kromimalmia louhittiin vuoteen 2005 asti avolouhintana. Vuonna 2003 aloitettiin maanalainen louhinta tasolta 500, josta edetään ylöspäin kohti avolouhoksen pohjaa. (1.)

Kemin kaivoksen malminkäsittelykapasiteetti vuonna 2018 oli noin 2,7 miljoonaa tonnia, josta hienorikasteen osuus oli noin 850 tuhatta tonnia ja palarikasteen osuus noin 400 tuhatta tonnia. Kaivoksella työskentelee noin 200 Outokumpu Chrome Oy:n työntekijää ja yli 300 palvelutoimittajien työntekijää. (2, s. 5.)

2.1 Kemin kaivoksen toiminta

Kemin kaivoksen toiminta voidaan yksinkertaisimmillaan jakaa maan alla tapahtuvaan louhintaan ja maan päällä suoritettavaan rikastusprosessiin. Louhinta ja rikastusprosessi pitävät sisällään erilaista malminkäsittelyä, kuten murskausta, seulontaa ja erottelua.

Maan alla sijaitsevan malmisuonen louhinta suoritetaan räjäyttämällä, jolloin kromipitoinen malmi irtoaa tunnelilouhoksesta. Räjäytyksessä syntynyt louhe esimurskataan maan alla, minkä jälkeen se nostetaan nostokuilun kautta maanpäälliseen rikastusprosessiin. Tyhjäksi louhitut yksittäiset louhokset täytetään sivukivellä ja betonilla.

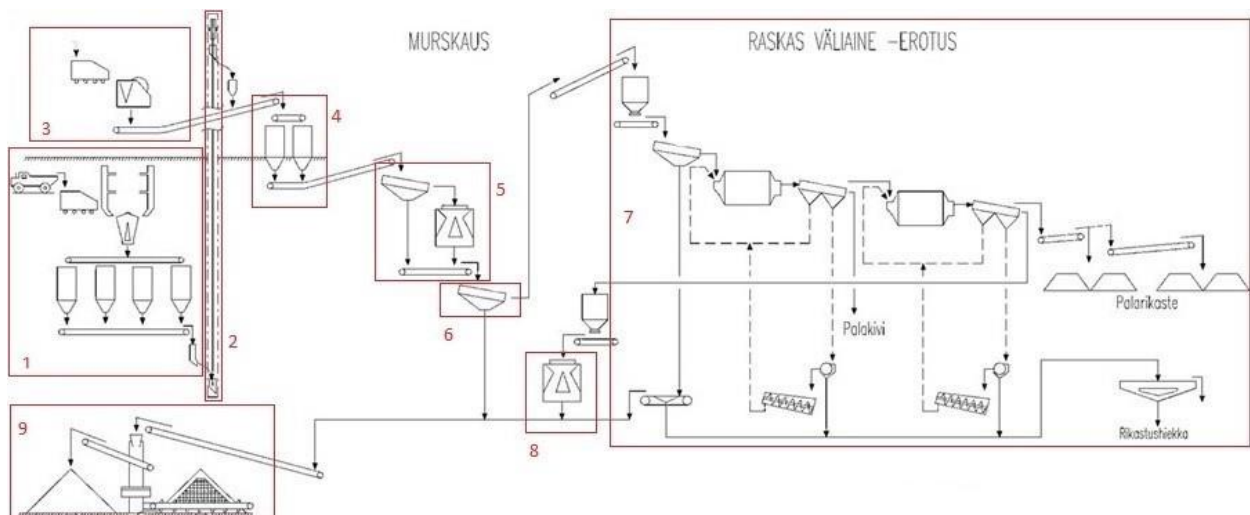
Maanpäällisellä rikastamolla esimurskattu malmi murskataan uudelleen pala- ja hienorikastusta varten. Palarikastamolla kromimalmista erotetaan palarikaste raskasväliaineerotuksella. Valikoidun palarikasteen kromipitoisuus on noin 36,5 %, ja raekooltaan se on

15 - 100 mm. Hienorikastamolla raekooltaan alle 15 mm kromimalmi jauhetaan tankomyllyllä ja rikastetaan ominaispainoa hyödyntävillä spiraalierottimilla hienorikasteeksi. Hienorikasteen tavoiteltu kromipitoisuus on noin 44,5 %, ja raekooltaan se on noin 0,2 mm. (2, s. 8.)

Rikasteet kuljetetaan kuorma-autoilla Tornion ferrokromitehtaalte. Hienorikastusprosessissa syntyvä rikastushiekka pumpataan läjitettäväksi rikastushiekka-altaaseen, josta kiintoaineista puhdistettu vesi pumpataan selkeytysaltaiden kautta takaisin rikastamolle prosessivedeksi. Palarikastusprosessissa erottuva sivukivi hyödynnetään louhittujen tunnelien täyttämiseen, alueen maisemointiin ja rikastushiekka-altaiden patoamiseen. (1.)

2.2 Kemin kaivoksen murskausprosessi

Kaivosteollisuudessa louhe murskataan, jotta sen raekoko olisi sopiva jatkoprosessiin, kuten palarikastukseen tai jauhatukseen. Eri vaiheet muodostavat murskauspiirin tai -ketjun, johon kuuluu murskaimia ja seuloja. Seulojen tarkoitus on erottaa hienorakeinen aines louheesta ennen murskainta tai lähettää karkea aines takaisin murskaimelle. (3, s. 197 - 198.)



KUVA 1. Kemin kaivoksen murskaus- ja palarikastusprosessi (4)

Kemin kaivoksella räjäytetty louhe esimurskataan maanalaisessa murskaamossa karamurskaimella, minkä jälkeen se ohjataan hihnakuuljettimilla esimurskesiiloihin (kuva 1,

kohta 1). Esimurskesiiloista kromimalmi nostetaan kitkanostokoneella maanpäälliseen vastaanottosiiloon (kuva 1, kohta 2).

Vaihtoehtoisesti louhe voidaan esimurskata myös maanpäällisen murskaamon prosessiin liitetyn leukamurskaimen avulla (kuva 1, kohta 3). Maanpäällisen leukamurskaimen käyttö murskausprosessissa mahdollistaa niin kutsutun miksatun malmin rikastuksen. Tässä tapauksessa maan alla esimurskatun malmin virtaan lisätään aikaisemmin maan alla louhittua ja maan päälle pyöräkalustolla kuljetettua leukamurskaimella murskattua malmimurskaa, X-malmia. Leukamurskaimen käyttö vaatii aina konesyötön pyöräkooneella ja X-malmin lisäyssuhde nostokoneella saapuvaan malmiin on noin 1/3.

Maanpäällisestä vastaanottosiilosta kromimalmi ohjataan hihnakuljetinta pitkin kahteen malmisiiloon, joiden tarkoitus on toimia puskurivarastona ja mahdollistaa malmin tasainen syöttö murskaamolle (kuva 1, kohta 4). Malmisiiloista kromimalmi ohjataan hihnakuljettimia pitkin ensimmäiselle täryseulalle, jossa raekooltaan alle 100 mm alitemateriaali erotetaan karkeasta ylittemateriaalista. Raekooltaan yli 100 mm ylittemateriaali ohjataan välimurskaukseen kartiomurskaimelle, josta se kulkeutuu murskattuna samalle hihnakuljettimelle, jolle alitemateriaali ohjattiin aikaisemmin täryseulan kautta (kuva 1, kohta 5).

Täryseulan ja kartiomurskaimen jälkeisen hihnakuljettimen kautta malmi ohjataan seuraavalle täryseulalle, jossa raekooltaan alle 15 mm alitemateriaali erotetaan ylittemateriaalista (kuva 1, kohta 6). Raekoolta yli 15 mm ylittemateriaali ohjataan rikastukseen palarikastamolle ja alitemateriaali hienorikastamon murskevarastolle, jonka kautta sitä syötetään jauhettavaksi ja hienorikastuksen syötteeksi (kuva 1, kohta 9).

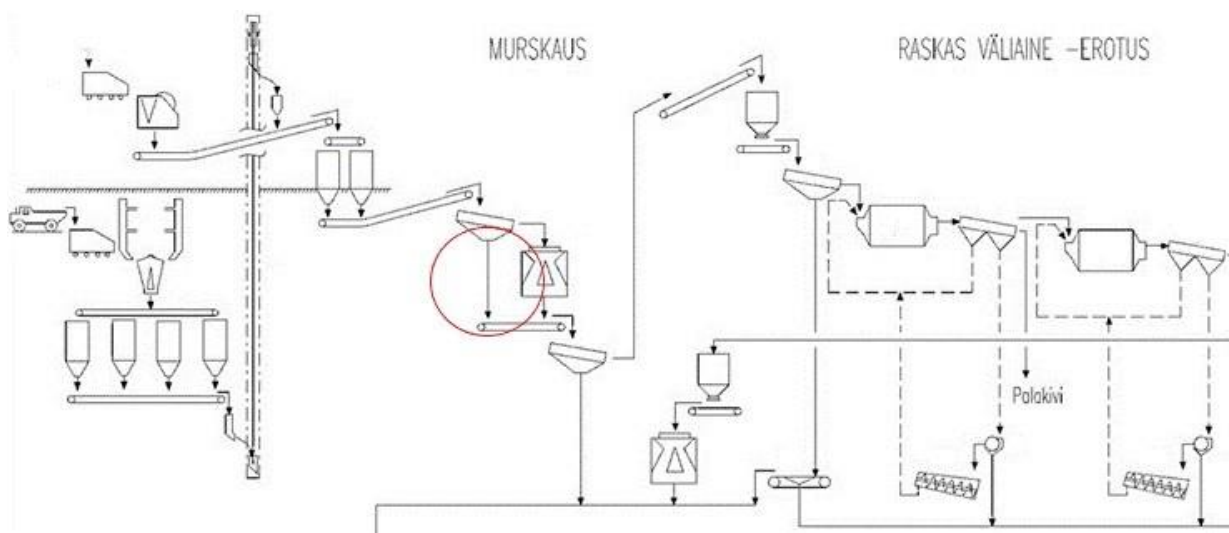
Myös palarikastamon rikastusprosessissa tapahtuu erottelua erilaisten pesu- ja täryseulojen avulla (kuva 1, kohta 7). Palarikastamon täryseuloissa eroteltu alitemateriaali ohjataan hihnakuljettimia pitkin suoraan hienorikastamon murskevarastolle ja palarikastamon raskasväliaine-erotuksen yhteydessä syntyvä välituote murskaamon toisen kartiomurskaimen (kuva 1, kohta 8) kautta hienorikastamon murskevarastolle (kuva 1, kohta 9).

3 MATERIAALIVIRRRAN ONGELMA

Murskaamon materiaalivirrassa ongelmaksi muodostuu kostean alitemateriaalin tarttuminen alitesuppilon seinämiin. Alitemateriaalin tarttumisesta seinämiin seuraa kasaantumista, joka pahimmillaan johtaa alitesuppilon tukkeutumiseen ja materiaalivirran pysähtymiseen. Lisäksi tarttunut ja kasaantunut alitemateriaalin häiritsee jatkuvatoimisen säteilylähteen toimintaa.

Alitemateriaaliksi kutsuttu aines on seulottua, raekooltaan alle 100 mm olevaa kromipitoista malmimursketta, johon on sitoutunut kosteutta sekä sekoittunut sementtiä, sivukiveä ja hiekkaa. Alitemateriaalin kosteus on peräisin maanalaisista räjäytys- ja louhintatöistä. Lisäksi kosteutta lisäävät pölynsitomiseen tarkoitetut vesisumusuuttimet malmimursketta kuljettavien hihnakuljettimien yhteydessä.

Alitesuppilo on täryseulan alapuolella sijaitseva kartionmuotoinen keräysastia, jonka läpi alitemateriaali virtaa seulonnan jälkeen. Alitesuppilon tehtävä on vastaanottaa tippuva alitemateriaali ja toimia pienenä puskurivarastona materiaalivirrälle. Lisäksi alitesuppilon yhteyteen on lisätty pölynpoistojärjestelmä. Alitesuppilon sijainti murskausprosessissa on merkitty kuvaan 2 punaisella ympyrällä.



KUVA 2. Alitesuppilon sijainti murskausprosessissa (4)

Alitesuppilon yläpuolella sijaitsevan täryseulan tarkoitus on seuloa esimurskatusta malmimurskeesta raekooltaan 0 – 100 mm oleva alitemateriaali, jotta se ei kulkeudu kartiomurskaimelle ja aiheuta turhaa rasitusta. Raekooltaan yli 100 mm oleva karkea ylittemateriaali kulkeutuu suoraan kartiomurskaimelle läpäisemättä täryseulan kumiverkkoja. Seulaverkkojen läpi tippuva alitemateriaali putoaa suoraan alitesuppiloon, jonka kautta se kulkeutuu tärysyöttimen kautta hihnakuljettimelle. Alitesuppilon jälkeisen tärysyöttimen tehtävä on mahdollistaa tasainen materiaalivirta hihnakuljettimelle.

Kemin kaivoksen murskaamon kohdalla merkittävä syy alitemateriaalin tarttumiselle ja kasaantumiselle alitesuppilon seinämiin on alitemateriaalin sisältämä kosteus, joka voimistaa sen koheesiota ja adheesiota. Kosteus vaikuttaa myös hienojakoisen alitemateriaalin agglomeraatioon eli niin sanottuun raejoukon yhteenliittymiseen. Lisäksi alitemateriaalin tarttumista seinämiin edistää alitesuppilon kulutusteräslevyjen pintaan kulumisen vuoksi syntyneet epätasaisuudet.

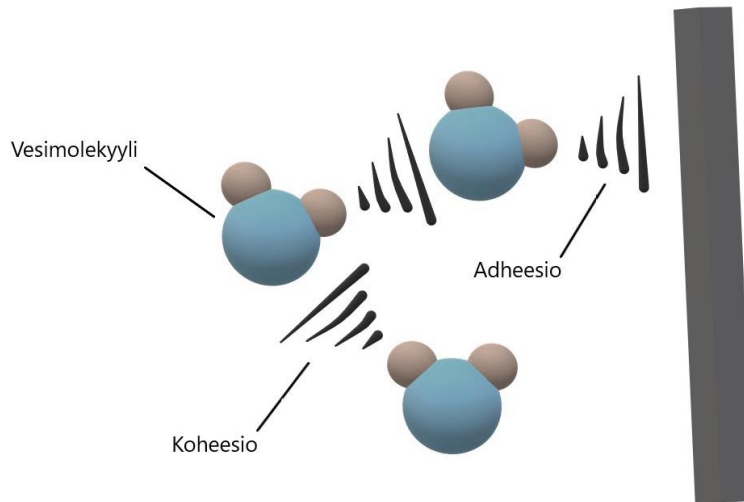
Vedenkäyttö kaivoksen räjäytys- ja louhintatöissä on välttämätöntä, joten murskaamolle saapuvan malmimurskeen kosteuden ehkäisyä on mahdotonta toteuttaa ilman merkittäviä muutoksia koko kaivosprosessissa. Tämän vuoksi kosteuden aiheuttamiin ongelmiin puututaan vasta niissä kohdissa, joissa siitä on erityistä haittaa materiaalivirrälle.

3.1 Koheesio ja agglomeraatio

Koheesiolla kuvataan molekyylien keskinäistä vetovoimaa ja tarttumisominaisuutta. Se on luontainen ominaisuus, jonka aiheuttavat molekyylien rakenteen ja muodon ylläpitämä elektrostaattinen vetovoima. Mitä paremmin aineen hiukkaset pystyvät vastustamaan niitä toisistaan erottamaan pyrkivää jännitystä, sitä korkeampi on aineen koheesio. Koheesiosta johtuvat myös aineiden pintajännitys ja adheesio. Adheesiolla tarkoitetaan kahden eri aineen välistä vetovoimaa. (5; 6.)

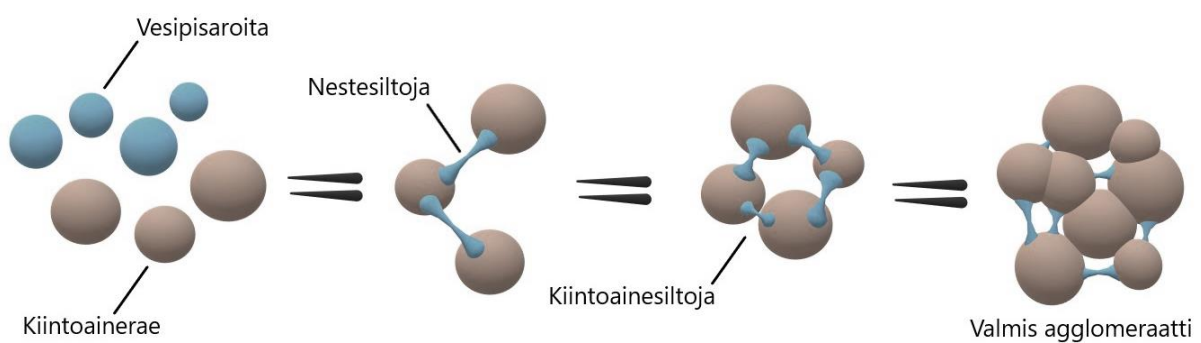
Hyvän esimerkin korkeasta koheesiosta tarjoaa vesi. Sen koheesio on korkein ei-metallisista nesteistä. Vesimolekyylien vety- ja happiatomien positiiviset ja negatiiviset varaukset saavat ne houkuttelemaan toisiaan. Vesimolekyylin kaksi positiivisesti varautunutta vetyatomia kohdistuvat happiatomin yhdelle puolelle, jolloin toisella puolella on lievä negatiivinen varaus ja vetyatomien puolella pieni positiivinen varaus. Tämä vesimolekyylien

kaksisuuntainen luonne antaa vedelle sen korkean koheesion ja tekee siitä tarttuvaa. (7). Kuvassa 3 on havainnollistettu vesimolekyylien voimien vaikutus toisiinsa ja niiden lähe- tyvillä oleviin pintoihin.



KUVA 3. Koheesio ja adheesio vesimolekyyleissä

Agglomeraatiolla tarkoitetaan aineen rakeiden yhteenliittymistä. Erityisesti kosteus vai- kuttaa agglomeraation syntymiseen. Kosteus vaikuttaa kiintoainehiukkasiin vetämällä nii- den kosketuspinnat lähelle toisiaan ja pitämällä niitä yhdessä pintajännityksen avulla. Ag- glemoraatioon vaikuttavat myös kiintoainehiukkasten muoto, pintojen vetovoimat, hitsau- tuminen, ulkoiset elektrostaattiset vetovoimat ja lämpötilanvaihtelut. (6.)



KUVA 4. Kosteuden aiheuttama agglomeraatio kiintoainehiukkasissa

3.2 Yleiset purku- ja tukkeutumisongelmat

Yleisesti siilojen ja suppiloiden materiaalivirroissa esiintyvät ongelmat liittyvät aineiden sisäiseen kitkaan eli koheesioon. Materiaalivirran rakeiden keskinäisten pintojen kitkan ollessa liian suuri, vapaa virtaus heikentyy tai pysähtyy. Suuretkin kiintoainemassat voivat agglomeroitua yhteen ja muodostaa virtauksen estävän muodostelman. (6.)

Koheesion ja agglomeraation lisäksi ongelmia voi lisääntyä, mikäli siiloa tai suppiloa ei ole suunniteltu nimenomaan kyseiselle materiaalivirrälle. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että massavirtauksen mahdollistava siilo- tai suppilorakenne on mahdoton rakentaa tilanpuutteen vuoksi. Massavirtauksesta puhuttaessa tarkoitetaan yleisesti tavoiteltua materiaalivirtaa, jossa kohteeseen ensimmäisenä virrannut materiaali myös poistuu kohteesta ensimmäisenä. Myös kiintoaineen raekokojakauman muutokset muuttavat sen virtausominaisuuksia. (6.)

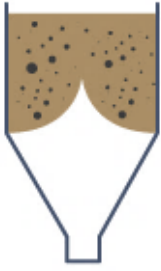
3.2.1 Tarttuminen seinämiin

Materiaalin tarttuminen seinämiin ja siitä seuraava kasaantuminen ovat ensimmäinen askel siilon tai suppilon tukkeutumiselle. Materiaalin kasaantuminen seinämille myös pienentää huomattavasti kohteen kapasiteettia. (8.)

Kohteen seinämien ja materiaalin välinen kitka rajoittaa materiaalin virtausta, jolloin rakeet sitoutuvat yhteen ja tarttuvat seinämiin muodostaen kasaantumista. Ongelman ratkaisu on vähentää kitkaa, jolloin materiaalivirta paranee ja tarttumiselta vältytään. (8.)

3.2.2 Holvaantuminen

Holvaantuminen siiloissa ja supiloissa on seurausta seinämän ja materiaalin välisestä tartuntakitkasta, joka hidastaa virtausnopeutta ja rajoittaa materiaalin vapaata liikkumista. Materiaalin rakeet sitoutuvat toisiinsa ja muodostavat niin kutsutun holvin purkuaukon päälle. Tämä muodostelma rajoittaa voimakkaasti materiaalivirtaa tai pysäyttää sen kokonaan. (9.)



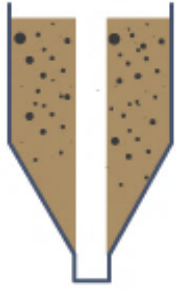
KUVA 5. Holvimuodostelma (12)

Materiaalin raekoko määrittelee sen, miten holvaantuminen syntyy. Tyypillisesti raekooltaan yli 3 mm oleva materiaali muodostaa niin kutsutun mekaanisen holvin, joka johtuu materiaalin partikkeleiden lukittautumisesta toisiinsa. Hienomman raekoon holvaantumiseen taas liittyy jonkin asteista koheesioita ja siitä syntyvää agglomeraatiota. Holvaantunut kiintoaine on niin yhtenäistä, että se pystyy kannattelemaan yläpuolella olevaa kiintoainemassaa ja näin estämään sitä virtaamasta ulos siilosta tai suppilosta. (6; 9.)

Holvaantumisen ehkäisemiseksi vaaditaan, että siilon tai suppilon yhteydessä on lisälaitte, jolla tartuntakitka ja syntynyt holvirakenne saadaan rikottua ja virtaus palautettua normaaliksi. Muita mahdollisia ratkaisuja holvaantumisen ehkäisemiseksi ovat erilaiset geometriamuutokset kohteessa. (6; 10.)

3.2.3 Kuilumuodostelma ja epätäydellinen tyhjeneminen

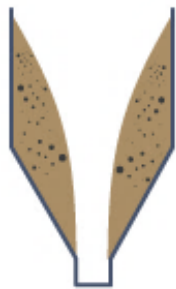
Kuilumuodostelma siiloissa ja suppiloissa on seurausta erittäin rajoittuneesta materiaali-virrasta. Kyseisessä tilanteessa siiloon tai suppiloon muodostuu kuilu ylhäältä alas purkuaukkoon asti. Ainoastaan siilossa olevan materiaalin ydin on tässä tapauksessa virtaavassa liikkeessä ja muu materiaali muodostaa niin sanotun kuolleen alueen. Tällöin siilon tai suppilon kapasiteetti kärsii, kun vain pieni osa sen tilavuudesta on virtaavan aineksen käytössä. (6; 11.)



KUVA 6. Kuilumuodostelma (12)

Kuiluuntumista syntyy, jos siilon tai suppilon seinämät eivät ole riittävän sileitä tai jyrkkiä. Tällöin muodostuu ylimääräistä tartuntakitkaa, joka mahdollistaa korkean koheesion omaavan aineen tarttumisen ja kasaantumisen seinämiin. (11.)

Epätäydellisessä tyhjenemisessä on kyse pienemmistä purkautumattomista ainemääristä kuin kuiluuntumisessa. Epätäydellinen tyhjeneminen johtuu myös huonosta materiaalin virtauksesta, jolloin mahdollisuus kuolleisiin alueisiin siilon tai suppilon reunoilla on olemassa. (6.)



KUVA 7. Epätäydellinen purkautuminen (12)

Kuiluuntumista ja epätäydellistä purkautumista voidaan ehkäistä tartuntakitkan pienentämisellä esimerkiksi geometriamuutoksilla tai erilaisilla lisälaittevalinnoilla. (11.)

3.2.4 Segregaatio

Segregaatio eli materiaalin jaottuminen kohteen eri osiin kokonsa mukaisesti on myös yksi purkautumisessa mahdollisesti ilmentyvistä ongelmista. Suurilla rakeilla on tapana muodostaa pienempi lepokulma. Toisin sanoen suurilla rakeilla muodostuu loivempisivuinen kiintoainekasa kuin hienolla materiaalilla. Kun siilo tai suppilo täyttyy, suuret rakeet

pyörivät reunoille ja hieno aines jää kasan huipulle. Kiintoainerakeet siis jakautuvat siilossa tai suppilossa oman vierintäkulmansa mukaan. (6.)

Segregaatio saa alkunsa, kun siilo tai suppilo täytetään materiaalilla, joilla on laaja rae-koon jakauma. Purkautuva materiaali ei ole tasalaatuista, eli kokojakauma ei tällöin pysy ulos purkautuessaan samana, vaan ensin saattaa tulla pelkästään hienoa ainesta ja sitten suurempaa. Voi myös tapahtua, että keskellä oleva hienoaines estää virtauksen purkuaukosta ulos kokonaan, koska sillä on tapana pakkautua tiiviimmin ja olla muutenkin koheettisempaa eli virtausominaisuuksiltaan huonoa. (6.)

3.3 Ongelman seuraukset murskaamalla

Kostean alitemateriaalin tarttuminen alitesuppilon seinämiin aiheuttaa pahimmillaan tukoksen, jolloin materiaali ei virtaa purkuaukosta ulos ollenkaan. Tämä tilanne on erittäin epätoivottu, sillä tukoksen aukaisemiseksi nyky menetelmin murskausprosessi täytyy pysäyttää, jotta alitesuppiloon päästään käsiksi. Tukoksen avaaminen on prosessin kannalta väistämätöntä ja se voi viedä aikaa muutamista tunneista useisiin päiviin. Jos tukoksen aukaisu pitkittyy, edellä prosessissa olevat varastot ehtyvät, mikä johtaa koko maanpäällisen rikastamon seisauttamiseen materiaalipulan vuoksi. Huono materiaalivirta myös rasittaa suppilon rakennetta ja pienentää sen kapasiteettia.

Murskaamolle tuleva syöte on noin 400 tonnia/h ja siitä seulottavan alitemateriaalin osuus malmimurskeen laadusta riippuen jopa 200 tonnia/h. Suuresta materiaalivirrasta johtuen tukoksen syntyminen tapahtua nopeaa, eikä sen muodostumiseen välttämättä keretä varautua riittävän ajoissa.

Tukoksen aukaisua ja seinämän puhdistusta varten on ollut seuraavia toimenpiteitä:

- Alitesuppilon kylkeä moukaroidaan lekaa käyttäen. Tämä menetelmä lisää työturvallisuusriskiä ja on tehokkuudeltaan pieni, sillä lekan aikaan saaman liike-energian siirtyminen alitesuppilon kulutusteräksen läpi on heikkoa. Lisäksi terävä isku aiheuttaa alitesuppilon kylkeen lujaa rasitusta.
- Alitesuppilo avataan ylhäältä pitkää paineilmarassia käyttäen. Tämä toimenpide hyvin aikaa vievä, eikä takaa täydellistä tyhjentymistä, sillä alitesuppilo on hyvin

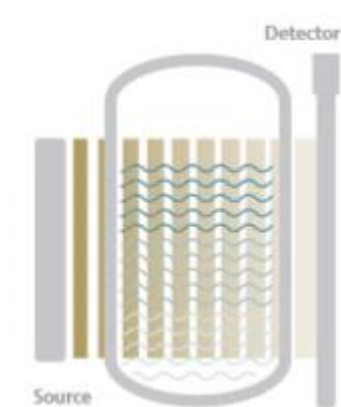
syvä eikä sinne ole kunnollista näköyhteyttä. Materiaalivirran vapauttaminen paineilmarassia käyttäen on kuitenkin tähänastisista menetelmistä suositeltavin ja tehokkain.

- Alitesuppilon avataan vettä käyttäen. Viimekäden vaihtoehto on ampua lujalla paineella vettä alitesuppiloon tukoksen irtoamiseksi. Tämä vaihtoehto kastelee alitemateriaalin kauttaaltaan, mikä on hyvin epätoivottua. Lisäksi hihnakuljettimen kastuminen aiheuttaa ongelmia, kuten kuljetinmaton luistamisen ja siirtymisen vinoon.

Ongelmia voi syntyä myös tukoksen sortuessa, sillä suuren kiintoainemassan romahtaminen alitesuppilon pohjalle saattaa tukkeuttaa alitesuppilon alla olevan rännin ja tärysyöttimen ja näin ongelma siirtyy toiseen paikkaan.

Tukkeutumisriskin ja sen seurauksien lisäksi alitemateriaalin tarttuminen alitesuppilon seinämiin aiheuttaa häiriöitä murskaamon alitesuppilon pinnankorkeuden tarkkailuun tarkoitetun säteilylähteen toiminnassa.

Säteilylähteen toiminta perustuu sen lähettämän gammasäteilyn vaimenemiseen läpäistessään mitattavan aineen. Vaimenemisen suuruus on verrannollinen mitattavan aineen tiheyteen ja mittaustien pituuteen. Koska mittaustien pituus ja kiinteiden rakenteiden aiheuttama vaimennus on vakiota, on ainoa muuttuja väliaineen tiheys. (13.)



KUVA 8. Pystysuora säteilylähde ja vastaanotin (14)

Säteilylähteen tarkoitus on mitata jatkuvatoimisesti alitemateriaalin pinnankorkeutta alitesuppilossa ja pysäyttää prosessi pinnan noustessa yli 2,9 metrin. Alitemateriaalin tarttu-

minen ja kasaantuminen alitesuppilon seinämiin häiritsee säteilylähdetä ja sen vastaanotinta luulemaan, että alitesuppilon pinta on noussut kauttaaltaan. Mahdolliset väärät hälytykset lisäävät tuotantokatkoksia ja sitovat resursseja tilanteen tarkistamiseen ja mahdollisiin toimenpiteisiin.

4 MALMINKÄSITTELYLINJAN TEKNINEN PARANTAMINEN

Toteutettavan ratkaisuvaihtoehdon keskeinen valintakriteeri oli opinnäytetyön tavoitteen mukaisesti sen toimivuus alitemateriaalin tarttumisen ehkäisevänä tekijänä. Soveltuvuuden lisäksi valintaan vaikuttivat tekijät kuten kustannukset, saatavuus, kunnossapidolliset vaatimukset ja vaadittavat asennustoimenpiteet. Rajoituksia ratkaisuvaihtoehdoille asettivat muun muassa kohteen tilanpuute, materiaalivirran laadun ja luonteen vaihtelu sekä alitesuppilon rakenne.

Ratkaisuvaihtoehtojen kartoittaminen aloitettiin tammikuussa 2019 järjestämällä keskusteluja Kemin kaivoksen henkilökunnan kesken. Keskusteluihin osallistuivat muun muassa rikastamon käyttöhenkilökunta ja kunnossapidon työnjohto. Keskusteluihin osallistuneiden henkilöiden mielipiteet ja huomiot dokumentoitiin myöhempää suunnittelua ja vertaailua varten. Henkilökunnan kesken käytyjen keskusteluiden lisäksi ratkaisua ongelmaan selvitettiin tutustumalla erilaisiin materiaalivirtoihin ja niiden purku- ja tukkeutumisongelmiin sekä muiden tuotantolaitosten hyödyntämiin ratkaisuihin.

4.1 Materiaalivirta ja alitesuppilo

Kun lähdetään selvittämään materiaalivirran parantamiseen parhaiten soveltuvaa ratkaisua, täytyy ensin selvittää kohteen materiaalivirran luonne ja rakenteelliset ominaisuudet. Tässä tapauksessa selvittävänä olivat muun muassa alitemateriaalin paino, kosteusprosentti ja raekoko, sekä alitesuppilon rakenteelliset mitat ja suunniteltu toimintaperiaate. Taulukkoon 1 on merkitty alitemateriaalia koskevat yleiset tiedot.

TAULUKKO 1. Alitemateriaalia koskevat tiedot

Koostumus	Kromimalmi, sivukivi, sementti
Paino	2 010 kg/m ³
Kosteus	2,20 %
Rakenne	Hienojakoinen
Raekoko	0 - 100 mm
Kovuus (Moshin asteikolla)	Keskikova
Lämpötila	Ympäristön mukainen

Alitemateriaalia koskevien tietojen yleistäminen on haastavaa, sillä alitemateriaalin laatu on riippuvainen maan alta tulevan malmimurskan laadusta. Taulukossa 1 olevat tiedot, kuten kosteusprosentti ja paino, ovat selvitetty kertatutkimuksena materiaalivirrasta tehtaan tuotannon ollessa normaalitilassa. Voidaan kuitenkin olettaa, että ajoittaisesti esimerkiksi alitemateriaalin kosteusprosentti on korkeampi kuin 2,20 %. Lisäksi alitemateriaalivirran suuruus vaihtelee huomattavasti murskaamon syötteen ja malmimurskan laadun vuoksi. Tyyppillinen syöttö murskaamolle on noin 400 tonnia/tunnissa ja siitä alitemateriaalin osuus voi olla jopa 200 tonnia/tunnissa.

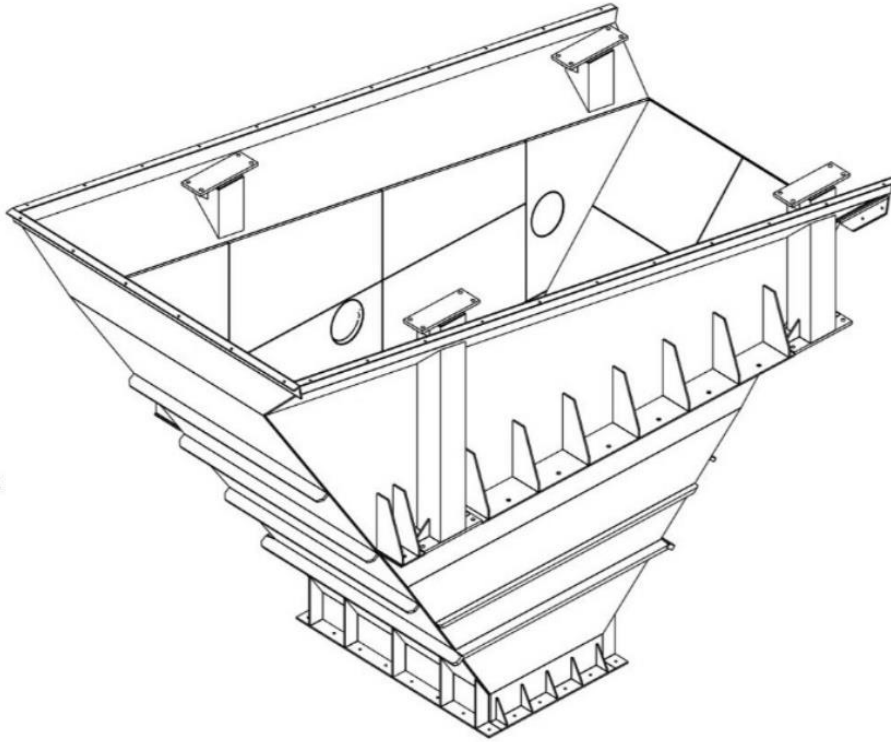
Alitesuppilon ääriimitat ovat 2 460 x 3 636 x 4 825 mm. Sekä alitesuppilo, että sen kylki- ja kulmateräkset ovat valmistettu S355J2-teräksestä. Alitesuppilo on vuorattu pulteilla kiinnitetyillä kulutusteräslevyillä, jotka ovat materiaaliltaan Hardox 400 -kulutusterästä. Alitesuppilon kulutusteräslevyjen laidat ovat irti alitesuppilon reunoista 10 mm ja toisistaan 6 mm. Koko alitesuppilon tilavuus on noin 9 kuutiometriä. Taulukkoon 2 on merkitty alitesuppiloon ja sen toimintaperiaatetta koskevat yleiset tiedot.

TAULUKKO 2. Alitesuppiloon koskevat tiedot

Muoto	Kartio
Runkomateriaali	S355J2
Rungon paksuus	8 mm
Liitostapa	Hitsattu
Vuoraus	Kyllä
Vuorauksen materiaali	Hardox 400
Vuorauksen paksuus	20 mm
Tärypohja	Ei
Käytön tila	Käytössä
Purkautumistaajuus	Läpimenevä/keräävä
Purkautumistapa	Suppilo/painovoima

Alitesuppilossa itsessään ei ole tärypohjaa, vaan sen alapuolella on koteloitu ränni, jota pitkin alitemateriaali kulkee tärysyöttimelle. Alitesuppilon purkautumistaajuus riippuu siitä,

kuinka paljon alitemateriaalia kulkee alitesuppilon läpi ja kuinka suurella syötöllä alapuolella oleva tärysyötin syöttää materiaali kuljetinhihnalle. Purkautumistapa perustuu yksinkertaisesti painovoimaan ja materiaalin valumiseen alaspäin.



KUVA 9. Täryseulan alitesuppilo

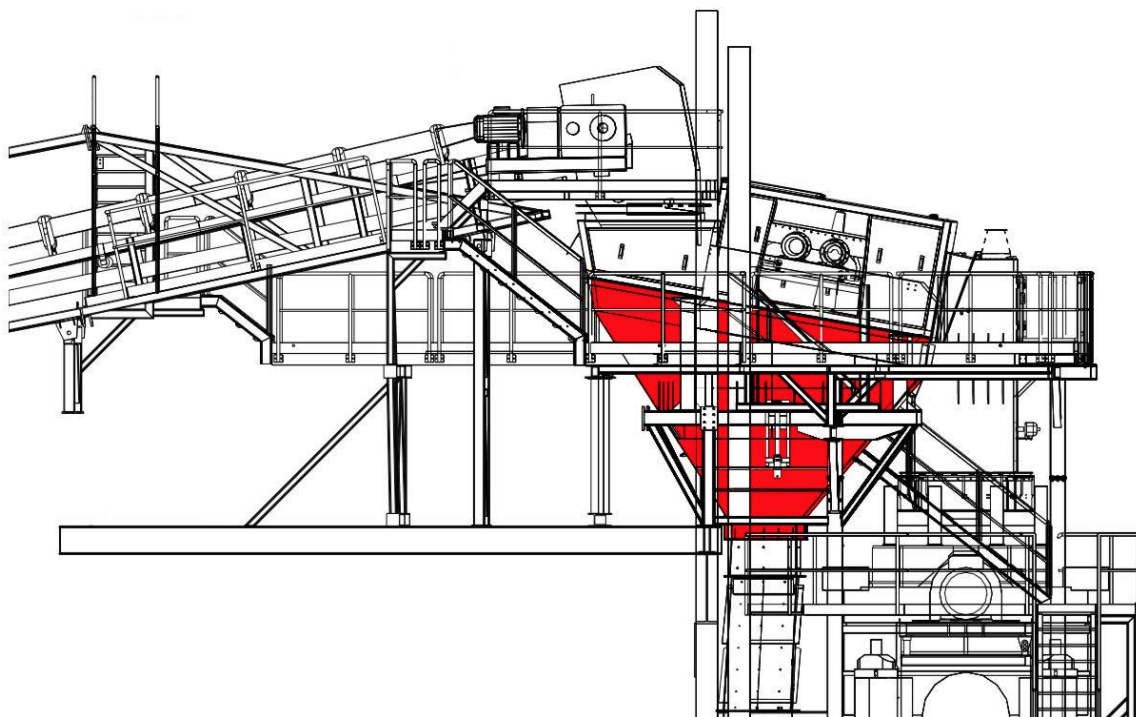
Erilaisia vaihtoehtoja materiaalivirran tehostamiseen sekä purku- ja tukkeutumisongelmien ehkäisyyn on olemassa lukuisia, mutta jokainen vaihtoehto on monesti suunniteltava kullekin kohteelle ja materiaalivirrälle soveltuvaksi. Tekijät, kuten kohteen rakenne ja materiaalin ominaisuudet asettavat rajoituksia ratkaisuvaihtoehdoille. Seuraavissa kappaleissa on esitelty materiaalivirran tehostamiseen ja ongelmien ehkäisyyn käytettyjä ratkaisuja, jotka voisivat toimia opinnäytetyön ongelman ratkaisussa.

4.2 Geometriamuutokset

Rakenteiden geometriamuutoksilla voidaan usein tehostaa heikentynyttä materiaalivirtaa. Esimerkiksi kohteen purkuaukon suurentaminen tai seinämien jyrkentäminen tietyissä ongelmatapauksissa voi olla paras ratkaisu seinämän ja materiaalin välisen tartuntakimmoisuuden heikentämiseksi ja materiaalivirran tehostamiseksi.

Myös tämän opinnäytetyön ongelman ratkaisun suhteen geometriamuutoksilla, kuten seinämien jyrkentämisellä, voisi olla materiaalivirtaa parantava vaikutus. Geometriamuutosten tekeminen alitesuppiloon vaatisi kuitenkin suuria rakenteellisia muutoksia myös sitä ympäröivissä rakenteissa. Alitesuppilo sijaitsee ahtaassa tilassa, ja se on mitoitettu tarkkaan yläpuolella olevan täryseulan ja alapuolella olevan tärysyöttimelle johtavan rännin kanssa yhteensopivaksi.

Pieniä seinämäkulman muutoksia olisi mahdollista toteuttaa kulutusteräspalojen asennon avulla, mutta muutosten toimivuutta on hyvin vaikea ennustaa, sillä kostealla alitemateriaalilla on taipumus tarttua pahimmillaan myös lähes pystysuoriin seinämiin. Lisäksi muutos saattaisi aiheuttaa aikaisempaa kovempaa räsitusta alitesuppiloon alitemateriaalin putoamiskorkeuden ja osumiskohdan muuttuessa. Kuvassa 10 on havainnollistettu alitesuppilon sijainti täryseulan alapuolella.



KUVA 10. Alitesuppilon sijainti

4.3 Kulutusteräket ja pinnanlaatu

Kappaleen pinnanlaatu vaikuttaa hyvin usein kitkaan kappaleen pinnalla. Tämän ajatuksen pohjalta pohdittiin erilaisten pinnanlaatuojen mahdollisuutta alitesuppilon seinämissä. Jos seinämän ja alitemateriaalin välistä kontaktipintaa ei ajatella vaikuttavana tekijänä,

voidaan yksinkertaisimmillaan olettaa, että sileämpi seinämäpinta mahdollistaisi pienemmän tartuntakitkan. Mahdollisuutta tutkittiin vertailemalla erilaisia kulutusteräksiä ja niiden pinnoittamismahdollisuuksia.

Markkinoilla olevat kulutusteräslehdet ovat valmistettu hyvin pitkälle pinnanlaadultaan samaan luokkaan, joten kulutusteräslehdun vaihtaminen ei sinällään vaikuta pinnanlehdun parantumiseen. Pinnanlehdun on mahdollisuus parantaa esimerkiksi hiomalla, mutta alitemateriaalin erittäin kuluttava vaikutus ei takaa sileälle pinnalle pitkää kestoa. Toisaalta esimerkiksi nykyisen Hardox 400 -kulutusteräksen vaihtaminen Hardox 600 -kulutusteräseen mahdollistaisi kulutusteräksen paremman keston yleisesti.

Kemin kaivoksen henkilökunnan kesken käytyjen keskustelujen tiimoilta kävi ilmi, että nykyinen kulutusteräs ei ole tarpeeksi kestävä alitesuppilon vuoraukseen, vaan sen kulumisen tietyistä osumakohdista on liian nopeaa. Kulutusteräslehdun vaihto esimerkiksi Hardox 600 -kulutusteräseen olisi erittäin suositeltavaa paremman kestävyuden kannalta. Kulutusteräksen parempi kestävyys ehkäisisi omalta osaltaan alitemateriaalin tarttumista seinämiin, sillä teräksen pinnan kulumisen aiheuttamat epätasaisuudet ja paikalliset vähentäisivät.

Mikäli nykyinen Hardox 400 -teräslehdun korvattaisiin kestävämmällä Hardox 600 -teräslehdulla, kulutusteräspalojen ainevahvuutta pystyttäisiin ohentamaan huomattavasti ilman, että kestävyys heikentyisi. SSAB:n WearCalc -sovelluksen vertailutietoihin pohjaten jopa 50 % ohuempi ainevahvuus olisi mahdollista taaten silti paremman kestävyuden ja kulutusteräspalojen painon alenemisen. Sovellusta käytettäessä valittiin materiaaliksi rautamalmi, koska kromimalmia ei ollut vaihtoehtoisissa. Testi antaa kuitenkin viitteitä kulutusteräslehdun parantamisen tuomasta edusta kulutuskestävyyden suhteen.

Kestävämmän kulutusteräslehdun valinta ja ainevahvuuden alentaminen saattaisivat mahdollistaa jopa pienemmät kustannukset, sillä käytettävän kulutusteräksen kilometriä pienenee, työskentely ja hitsaus helpottuvat ja asennusaika lyhenee. Lisäksi kulutusterästen painon aleneminen parantaisi työturvallisuutta kulutusteräspaloja asennettaessa. Kuvassa 11 olevassa alitesuppilon läpileikkauksessa on nähtävillä alitesuppilon kulutusteräslehdun.



KUVA 11. Läpileikkaus alitesuppilosta

4.4 Kulutusterästen pinnoitus

Metallin pinnoittamisella voidaan hakea esimerkiksi tiettyjen fysikaalisten erityisominaisuuksien aikaansaamista, kuten pintakovuuden lisäämistä tai kulutuksen keston parantamista. Lisäksi pinnoittamisella voidaan parantaa kohteen korroosionestoa, eli suojata sitä ympäristön syövyttäviltä vaikutuksilta. Esimerkiksi adhesiivisen kulumisen ehkäisemiseksi pinnoitemateriaalilta edellytetään hyvää pinnanlaatua ja korkeaa pintakovuutta. Abrasiivisen kulumisen ehkäisemiseksi pinnoitemateriaalilta edellytetään myös korkean pintakovuuden lisäksi kuumalujuutta. (15.)

Opinnäytetyön ongelman kannalta varteenotettava ratkaisu olisi löytää pinnoite, jonka ominaisuuksia olisivat pieni kitkakerroin ja korkea kulutuskestävyys. Kulutusterästen pinnoitusmahdollisuutta selvitettiin tutustumalla pinnoitusalan eri yrityksiin ja olemalla yhteydessä SSAB:n kulutusterästen kehityspäällikköön. Hän toi esille SSAB:n markkinoille tuoman uuden pintakäsitellyn Duroxite -kulutusteräksen.

Esimerkiksi Duroxite-kulutusteräsmalliston Duroxite 101 -teräs on kromirikkaalla karbidipäällysteellä päällystettyä Hardox 450 -kulutusterästä, joka on kehitetty kestävänsä erittäin kovaa isku- ja hiontakulumista. (16.)

Eri pintakäsittelyyn erikostuneiden yritysten metallinpinnoitus kattaa lähinnä vain metallin korroosionestokykyjen ja kohteen ulkonäön parantamisen. Kulutuskestävyyden lisääminen esimerkiksi kulutusterästen niklauksella tai ohuella kromauksella ei välttämättä lisää toimenpiteen arvoa opinnäytetyön kannalta.

Metallin muovipinnoituksella tarkoitetaan metallien päällystämistä erilaisilla polymeerimateriaaleilla esimerkiksi prosessiteollisuuden laitteiden suojaamiseksi. Muovipinnoituksessa käytetään erilaisia tekniikoita ja materiaaleja. Esimerkkejä ovat muovijauheen ruiskuttaminen tai leijukerros-pinnoittaminen, metallin kastaminen nestemäiseen muovimateriaaliin tai muovimassan kiinnittäminen valamalla tai puristamalla. Muovilevyt voidaan kiinnittää metalliin myös mekaanisella liitoksella tai liimaamalla. (17.)

Torniolaisen muovipinnoitteisiin erikoistuneen yrityksen kanssa käydyissä keskusteluissa nousi esiin kulutusterästen pinnoittaminen esimerkiksi PE 500 -muovilla. Muovipinnoite on erittäin liukas ja se voidaan kiinnittää kulutusteräksen päälle joko mekaanisella liitoksella tai liimalla. Perehtyminen muovilaatujen kulutus- ja iskunkestävyyteen sekä Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan lehtorin haastattelu kuitenkin kyseenalaistivat muovipinnoiteratkaisun. Muovipinnoitteelta vaadittaisiin niin kovaa isku- ja kulutuskestävyyttä, että sellaisten muovien hankinta tulisi erittäin kalliiksi, jos mahdollista. Yleisten muovilaatujen, kuten PE ja PVC, mekaaniset ominaisuudet kattavat vain murto-osan kulutusterästen ominaisuuksista.

4.5 Lisälaittevalinnat

Erilaisten lisälaitteiden käyttö on erittäin suosittua tuotantolaitosten materiaalivirtojen tehostamisessa sekä purku- ja tukkeutumisongelmien ehkäisyssä. Erityisesti jauhemaisilla ja raemaisilla materiaaleilla on taipumus tarttua ja muodostaa tukoksia silloihin tai suppi-loihin. Juuri erilaiset lisälaitteet ovat suunniteltu ehkäisemään tällaisia ongelmia ja tehostamaan kohteen materiaalivirtaa.

Tuotannon materiaalivirtaa tehostavat lisälaitteet ovat melko edullinen ratkaisun tukoksien ja tarttumien poistoon ja läpikulkevan materiaalivirran tehostamiseen. Niiden sijoituspaikka on yleensä sillojen tai muiden keräysastioiden kylki. Erilaisia lisälaitteita ovat muun muassa mekaaniset tärylaitteet ja vasarat sekä paineilmalla toimivat tykit, tyynyt ja lekat.

Oikean lisälaitteen valinta kohteeseen on useimmiten kokemus- ja testausperäistä, kuin tieteeseen ja tekniikkaan pohjautuvaa. Kun tiedetään materiaalivirtauksen luonne ja koostumus, voidaan oikea lisälaittevalinta suorittaa alustavasti. (18.)

Opinnäytetyötä varten tutustuttiin markkinoilla oleviin lisälaitteisiin ja niiden mahdollisuuksiin toimia ratkaisuna murskaamon ongelmaan. Seuraavissa kappaleissa on esitelty paineilmatykki, paineilmaleka ja sähkötoiminen tärymoottori.

4.5.1 Paineilmatykki

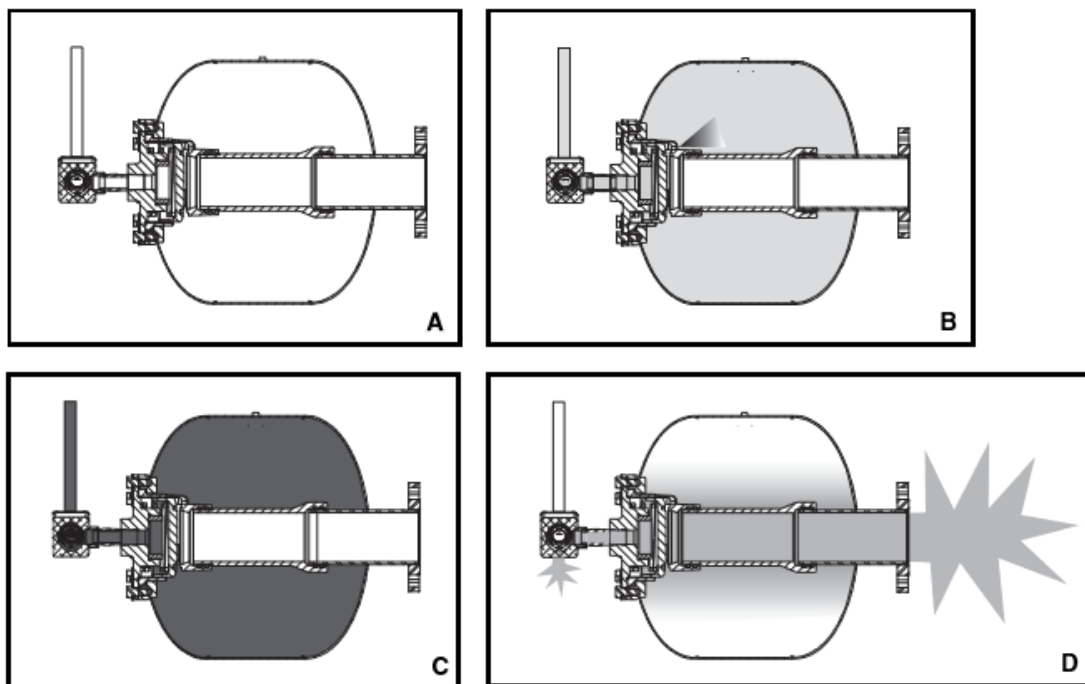
Paineilmatykki on kehitetty käytettäväksi eri teollisuuden aloilla jauhemaisten ja raemaisien aineiden tukkeutumisongelmien ehkäisyyn silloissa ja suppiloissa. Paineilmatykin vapauttavat paineimpulssit poistavat esimerkiksi silloon tai suppiloon syntyneen tukoksen ja parantavat materiaalin virtausta. (12; 19.)



KUVA 12. Martin Engineering Typhoon -paineilmatykki (20)

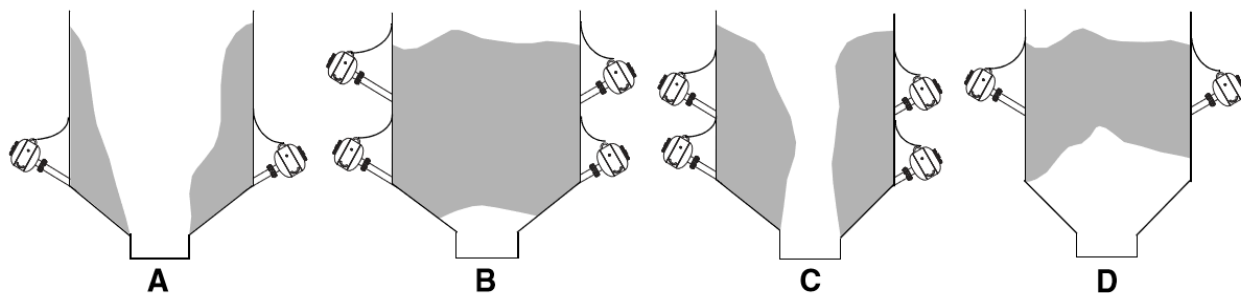
Paineilmatykin toiminta perustuu voimakkaaseen paineilmapurkaukseen, jonka aikaansaama energia voittaa holvaantuneen aineen tartuntakitkan. Tartuntakitkan hävittyä aine lähtee valumaan alaspäin. Paineilmatykin rakenteelliset pääosat ovat venttiilikokoonpanosta koostuva laukaisujärjestelmä ja painesäiliö ja sen toiminta voidaan jakaa täyttö- ja purkausvaiheeseen. (21.)

Täyttövaiheessa (kuva 13, kohta B) painesäiliö ja pieni ohjaussäiliö täyttyvät paineilmalla. Pikapoistiventtiilin poistoaukon ollessa kiinni, ohjaussäiliöön tuleva paineilma painaa laukaisujärjestelmän sisällä olevan männän tiiviisti painesäiliön purkausaukkoa vasten. Purkausvaihe (kuva 13, kohta D) käynnistyy, kun pikapoistiventtiilin poistoaukko avautuu ja ohjaussäiliön paine vapautuu ulkoilmaan. Tästä seuraa männän nopea siirtyminen purkausaukon edestä ja koko painesäiliön paineilman purkautuminen kohteeseen. (21.)



KUVA 13. Paineilmatykin toimintaperiaate (20)

Painesäiliön purkautumisenergia on todella suuri, sillä painesäiliö tyhjenee sekunnin murto-osassa. Paineilmatykki sijoitetaan kohteen runkoon siten, että paineilman purkautumissuunta mahdollistaa materiaalin irtoamisen. Kuvassa 14 on esitetty erilaisia asennusratkaisuja tukostyypistä riippuen.



KUVA 14. Paineilmatykin eri asennusratkaisuja (20)

4.5.2 Paineilmaleka

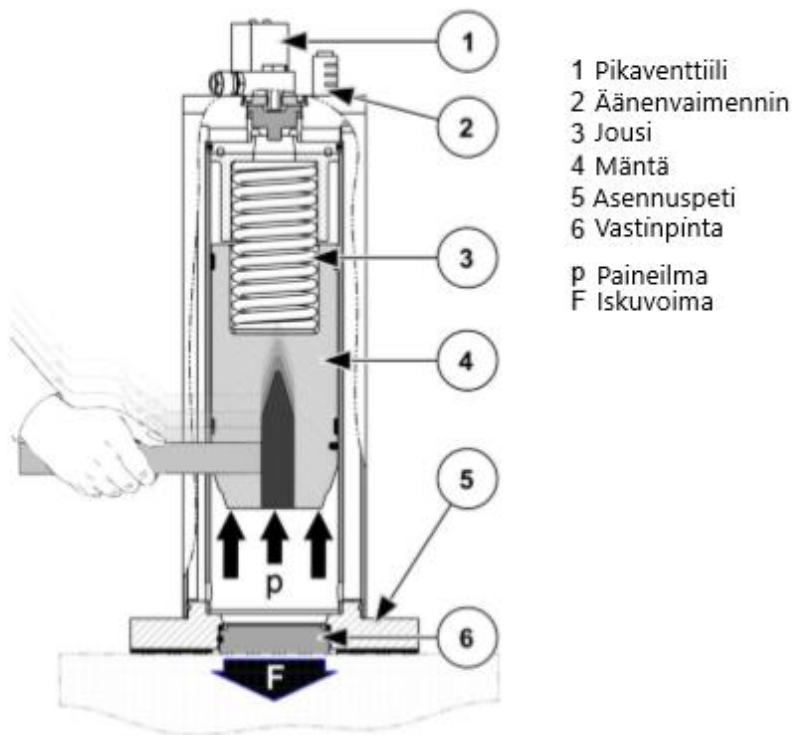
Paineilmaleka on kehitetty irrottamaan materiaali sillojen ja putkien seinämistä sekä hajottamaan materiaalin silloon tai suppiloon muodostama tukos. (22.)



KUVA 15. Vibratecin valmistama paineilmaleka (23)

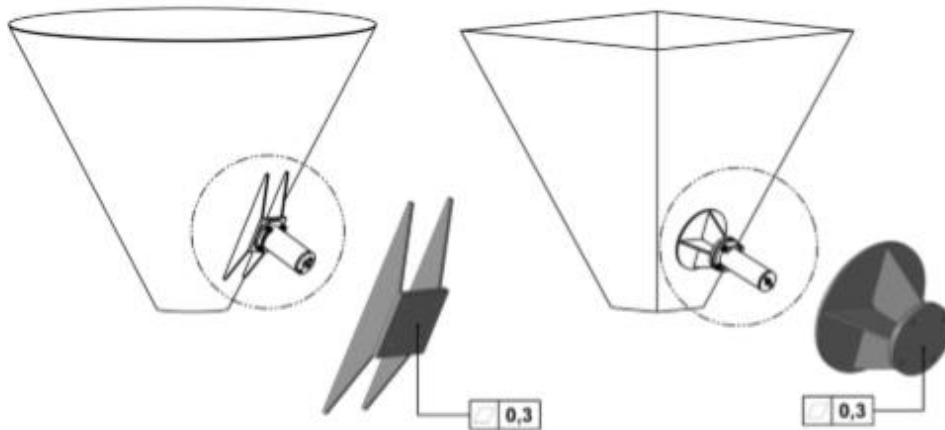
Paineilmalekan toiminta perustuu paineilman virittämään jouseen ja mäntään. Paineilma painaa männän kahta joustaa vasten, ja kun suurin puristuma saavutetaan, paineistus voidaan katkaista venttiilin avulla. Tämä johtaa männän alla olevan tilan purkautumiseen ja siellä olevan ilman poistumiseen männän yläpuolella olevan pikaventtiilin kautta. Ilma yhdessä jousten kanssa kiihdyttää männän liikettä, kunnes mäntä osuu suurella voimalla vastinpintaan aiheuttaen esimerkiksi silon sisäpintaan suuren kiihtyvyyden. Suuri kiihtyvyys irrottaa kiinni tarttuneet partikkelit ja hajottaa esimerkiksi mahdollisen materiaalin muodostaman tukoksen. (22; 23.)

Paineilmatykin rakenteelliset pääosat ovat iskulekana toimiva mäntä, virittyvä jousi sekä venttiilikokoonpano. Kuvassa 16 on esitetty paineilmalekan toimintaperiaate.



KUVA 16. Paineilmalekan toimintaperiaate (24)

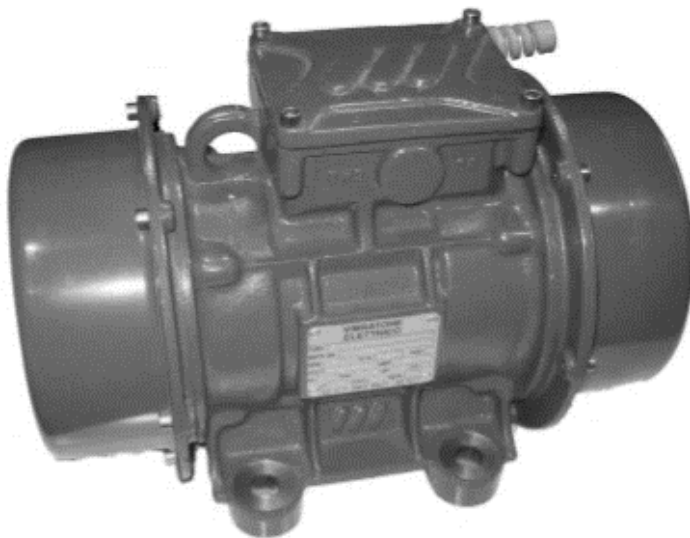
Paineilmaleka asennetaan siilon, putken tai suppilon kylkeen niin sanotulle asennuspedille, joka hitsataan kohderakenteeseen kiinni. Asennuspedin tarkoituksena on jakaa iskuvoima suuremmalle alueelle. Itse paineilmaleka asennetaan asennuspetiin jousitetuilla ja lukittavilla pulteilla. Paineilmalekan koko valitaan käyttökohteen rakenteen materiaalivahvuuden mukaan. (22). Kuvassa 17 on nähtävillä erilaisia ratkaisuja paineilmalekan asennuspedeille.



KUVA 17. Paineilmalekan asennuspetiratkaisuja (24)

4.5.3 Sähkötoiminen tärymoottori

Sähkötoimiset tärymoottorit ovat monikäyttöisiä komponentteja ja laajan valikoimansa ansiosta ne voivat toimia ratkaisuna moniin erilaisiin materiaalinvirtausongelmiin. Tärymoottorit sopivat esimerkiksi silloihin, kuljettimiin, seuloihin ja tärypalkkeihin irtto- ja jauhemais-
ten aineiden annosteluun, irrottamiseen, kuljettamiseen ja seulomiseen. (25; 26.)



KUVA 18. Sähkötoiminen tärymoottori (26)

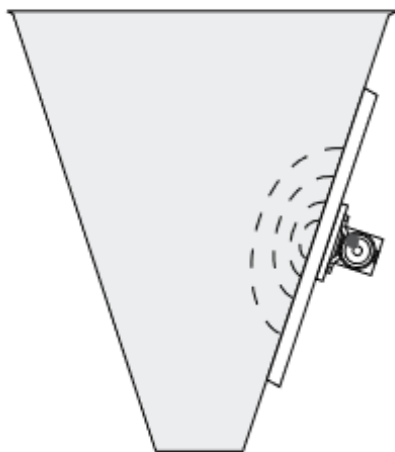
Tärymoottori on sähkömoottori, jonka akselin päihin on asennettu säädettävät vastapainot. Tärymoottorin täryteho on sidoksissa moottorin sähkötehoon, pyörimisnopeuteen

sekä vastapainojen asentoon. Tärymoottorit saavat pyöriessään aikaan sinimuotoisen värähdysliikkeen, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi tärykuljettimissa materiaalin kuljetamiseen, tärypöydissä materiaalin tiivistämiseen tai siilorakenteissa holvaantumisen purkamiseen. (27.)

Tärymoottorit valitaan sovelluksen mukaan. Tärykuljettimeen valitaan tyypillisesti suurempi heittoliike kuin esimerkiksi siilon syötön varmistamiseen. Tärykuljetin sovelluksissa tärymoottorin kierrosluku on tyypillisesti alhaisempi esimerkiksi n. 1.000 1/min. Siilon syötön varmistamisessa käytetään vastaavasti suurempaa kierroslukua kuten esimerkiksi 3.000 1/min. (27.)

Mitä suurempi on materiaalin raekoko, sitä suurempi täytyy olla tärymoottorin amplitudi, eli värähdyslaajuus, jotta materiaaliin saadaan vaikutusta. Hienorakeiselle ja vapaasti valuvammalle materiaalille taas soveltuu pienempi amplitudi. Tarttuvalle materiaalille parhaaksi värähtelyksi on osoittautunut matala taajuuksinen ja suuri amplitudinen värähtely. (28.)

Tärymoottorit tulee kiinnittää jäykkään rakenteeseen tukevasti. Jos tärymoottorin kiinnitys tai kohteen rakenne antaa myöden, täry ylikuormittuu. Lisäksi jos sovelluksessa käytetään useampia tärymoottoreita, niiden pyörimissuunnat ovat normaalisti vastakkaiset, esim. tärykuljettimet kahdella tärymoottorilla. (27.)



KUVA 19. Tärymoottorin asennusratkaisu (28)

4.5.4 Muita lisälaitteita

Materiaalivirran parantamiseen tarkoitettut lisälaitteet ovat yleisesti ottaen erilaisia sovel-luksia paineilma- ja sähkökäyttöisistä tärstimistä, vasaroista ja tykeistä. Materiaalivirran ja kohteen luonne ja koko vaikuttavat suoraan lisälaitteen kokoon.

Yksi mielenkiintoisista vastaan tulleista materiaalivirran parantamiseen kehitetyistä lisä-laitteista oli Primasonics-yrityksen valmistama niin kutsuttu "acoustic cleaner". Vapaasti suomennettuna akustinen puhdistin perustuu ääniaaltojen luoman painevaihtelun vaiku-tukseen materiaalissa. Eri taajuuksilla liikkuvat ääniaallot resonovat tarttuneeseen mate-riaaliin ja saavat sen siten liikkeelle joko painovoiman tai prosessissa käytettävän virtaus-apuaineen avulla. Ääniaallot tuotetaan lyhyillä paineilmapurskeilla, jotka kulkeutuvat niin kutsuttuun aaltogeneraattoriin. Aaltogeneraattori koostuu titaanokalvosta, joka taipuu pai-neilman vaikutuksesta ja luo ääniaallon kohteeseen. (29.)



KUVA 20. Ääniaaltoihin perustuvan lisälaitteen suutinososa (29)

Ääniaaltoihin perustuvan laitteen etuja ovat muun muassa muuttuvat taajuudet, jotka mahdollistavat parhaan vaikuttavan resonoinnin raekooltaan jakautuneisiin materiaaleihin. (29.)

4.6 Ratkaisuvaihtoehtojen vertailu

Ratkaisuvaihtoehtoja vertailtaessa paineilmatykki nousi soveltuvimmaksi ratkaisuksi alitesuppilon ongelmien ratkaisemisessa. Tähän päätökseen vaikuttivat paineilmatykin soveltuvuus kohteessa, suora vaikutus laadultaan vaihtelevaan alitemateriaaliin ja sen hyvät käyttökokemukset eri tehtailla.

Geometriamuutosten osalta toimenpiteet olisivat liian suuria. Lisäksi muutosten toimituutta alitemateriaalin tarttumisen suhteen ei pystyttäisi takaamaan. Mikäli geometriamuutos alitesuppilossa ei torjuisi ongelmaa, jouduttaisiin turvautumaan aikaisempiin menetelmiin alitesuppilon seinämien puhdistuksessa tai tukoksien avaamisessa. Lisäksi alitesuppilo on alkujaan suunniteltu juuri kyseiselle materiaalivirrälle.

Kulutusterästen paremman pinnanlaadun ja pinnoitusten osalta kulutuskestävyys nousi ratkaisevaksi tekijäksi. Sileää pinnanlaatua on erittäin vaikea ylläpitää ja kohteen kulutuksen kestäviä pinnoiteratkaisuja ei löytynyt. Olisi kuitenkin kannattavaa vaihtaa nykyinen Hardox 400 -kulutusteräs kestävämpään laatuun, jotta kulutuksen synnyttämiltä epätaisuuksilta vältyttäisiin paremmin. Kulutusteräksen vaihtaminen kestävämpään mahdollistaisi myös ainevahvuuden pienentämisen ja sitä kautta asennuksen helpottumisen ja jopa kustannuksien pienentymisen.

Paineilmatykkiä lukuun ottamatta muiden lisälaiteratkaisujen suhteen ongelmaksi nousi alitesuppilon rakenteelliset ominaisuudet. Alitesuppilon runkolevyjen ja kulutusterästen yhteenlaskettu paksuus on lähes 30 mm, joten riittävän voimakkaan vaikutuksen saaminen läpi seinämän vaatisi järeämpiä laitteita verrattaessa paineilmatykkiin. Lisäksi 6 mm irrallaan toisistaan olevat kulutusteräspalat eivät johtaisi riittävän hyvin esimerkiksi paineilmalekan iskun aiheuttamaa energiaa. Toisin sanoen paineilmalekan ja tärymoottorin vaikuttavaa liike-energiaa ei saada siirtymään tarpeeksi tehokkaasti kulutusteräslevyjen välillä, vaan vaikutus jäisi vain yhteen levyyn. Vaikutusta voitaisiin tehostaa esimerkiksi suunnittelemalla alitesuppilon kulutusteräspalojen välille eräänlaisia johdinkiskoja, mutta niiden asentaminen suhteessa paineilmatykin asentamiseen on epäedullista.

5 TOTEUTUSSUUNNITELMA

Toteutussuunnitelman tehtävä on toimia ohjeena paineilmatykkien asennusta, käyttöönottoa ja kunnonvalvontaa varten. Paineilmatykit ovat tarkoitus asentaa kohteeseen toimeksiantajan toimesta syksyllä 2019. Toteutussuunnitelma pitää sisällään muun muassa tietoa käyttöönotettavasta paineilmatykkimallista sekä ohjeet sen asennuksesta.

5.1 Martin Typhoon -paineilmatykki

Martin Engineering on yhdysvaltalainen yritys, joka on toiminut jo vuosikymmeniä edelläkävijänä materiaalivirtaa tehostavien laitteiden suunnittelijana ja valmistajana. Heidän tuotevalikoimaansa kuuluvat muun muassa erilaiset tärymoottori-, hihnakuljettimien puhtaanapito- ja paineilmatykkisovellukset. Yritys valikoitui edukseen heidän ammattitaitonsa ja aikaisempien käyttökokemuksien perusteella. Heidän erilaiset tuotannon materiaalivirtaa tehostavat lisälaiteratkaisunsa ovat käytössä useissa eri tuotantolaitoksissa ympäri maailmaa.

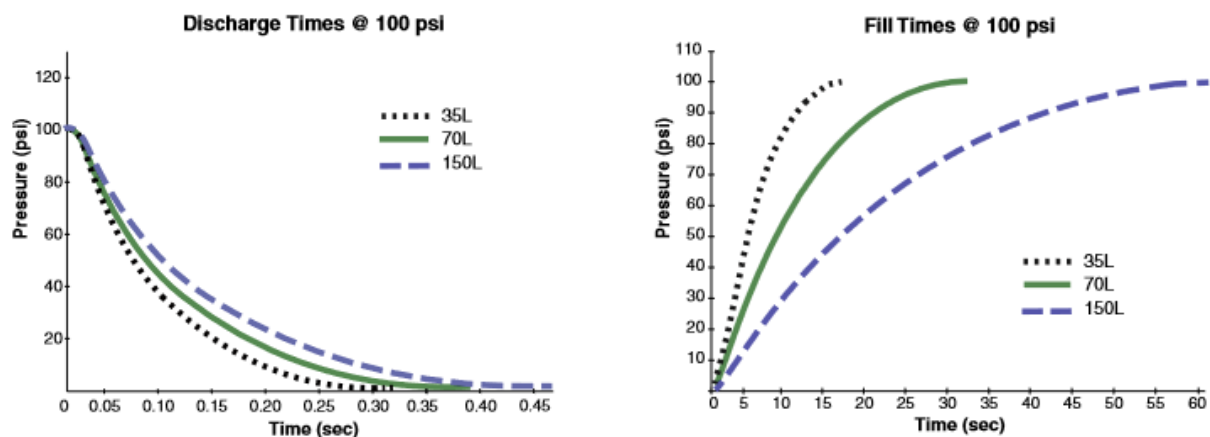
Martin Engineeringin tuotevalikoimasta soveltuvimmaksi paineilmatykkimalliksi valikoitui Typhoon 38005-70FD -malli. Sen toiminta perustuu yksinkertaiseen venttiilikokoonpanoon, jonka käyttö ja huoltaminen on helppoa. Molemmille puolille alitesuppiloa on tarkoitus asentaa kaksi paineilmatykkiä, eli yhteensä paineilmatykkeitä asennetaan neljä.

Paineilmatykeistä valittiin säiliötilavuuksiltaan 70-litraiset versiot, jotta ne ovat riittävän tehokkaat alitesuppilon puhtaanapitoon. Lisäksi Martin Engineering takaa paineilmatykeilleen tehokkaan toiminnan myös suunniteltua pienemmillä ilmamäärillä, mikä antaa mahdollisuuden paineilmatykkien säätöjen optimoimiseen kohteeseen sopiviksi. Tämä tarkoittaa, että paineilmatykki voidaan asettaa purkautumaan esimerkiksi suurinta täyttöasetta pienemmillä säiliön täyttötilavuuksilla.

Paineilmatykit tarvittavine varusteineen ovat tilattavissa suoraan laitevalmistajalta. Näin varmistetaan kaikkien komponenttien yhteensopivuus ja soveltuvuus paineilmatykin toiminnan kannalta. Paineilmatykit on mahdollista asentaa tehtaan oman henkilökunnan toimesta noudattaen laitevalmistajan antamia asennus- ja käyttöohjeita.

Kuvassa 21 on nähtävillä Typhoon-paineilmatykkien purkautumis- ja täyttymisaikoja. 70-litraisen paineilmatykin purkautumiseen menee aikaa noin 0,4 sekuntia, kun se on täytetty 7 bar paineella. Latautuminen puolestaan kestää noin 30 - 35 sekuntia.

PERFORMANCE DATA



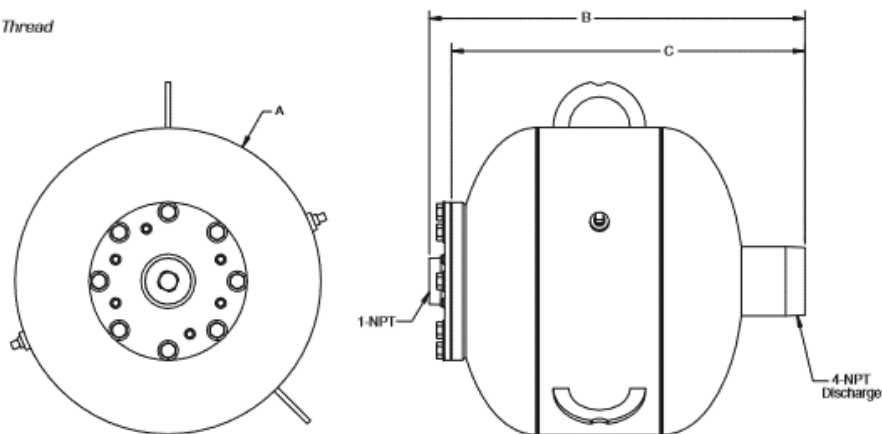
KUVA 21. Paineilmatykin suoritusarvot (30)

Kuvassa 22 on nähtävillä Typhoon-paineilmatykkien äärimitat ja painot.

DIMENSIONS

Model	P/N	Dim. A in. (mm)	Dim. B in. (mm)	Dim. C in. (mm)	Shipping Weight lb (kg)
Typhoon	38005-35FD	16.00 (406)	21.44 (545)	20.00 (508)	72 (33)
Typhoon	38005-70FD	20.00 (508)	24.44 (621)	23.00 (584)	88 (40)
Typhoon	38005-150FD	24.00 (610)	32.19 (818)	30.75 (781)	124 (56)

NPT-National Pipe Thread



KUVA 22. Paineilmatykkimallien äärimitat ja paino (30.)

5.2 Osat ja varusteet

Taulukossa 3 on lueteltu kaikki suoraan laitevalmistajalta tilattavissa olevat osat ja varusteet neljän Typhoon 70L -paineilmatykin asentamiseen alitesuppiloon. Tarkemmat tuotenumerot osista ja varusteista ovat saatavissa laitevalmistajalta.

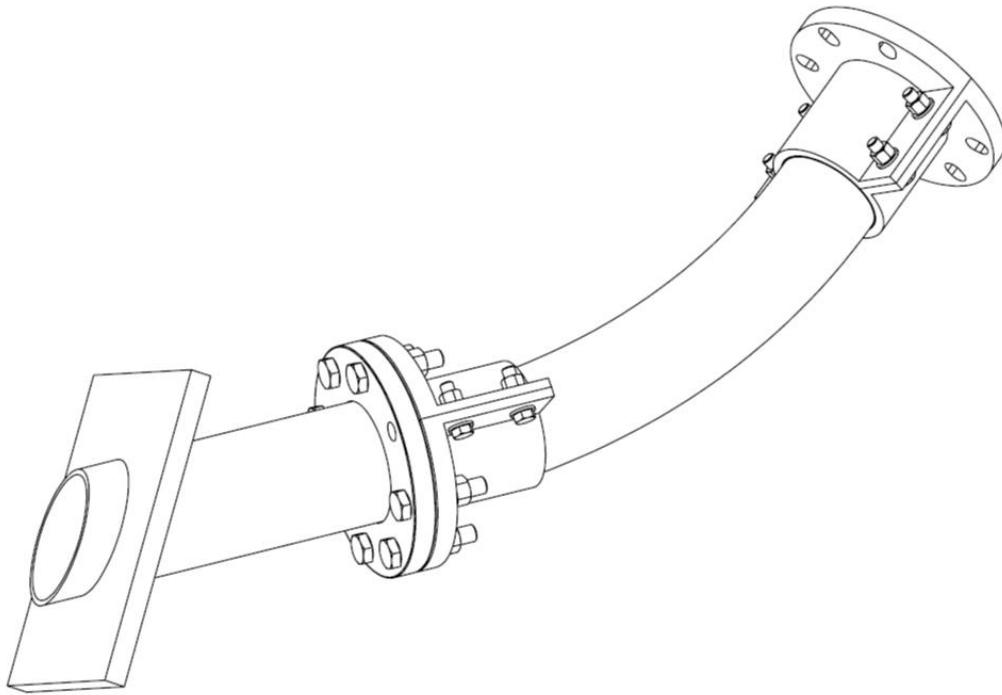
TAULUKKO 3. Osat ja varusteet

Typhoon 70L -paineilmatykki	4 kpl
Turvavaijeri + kiinnittimet ja vaijerilukot	4 kpl
4" laippa 4-NPT kierteillä	4 kpl
Putkinippa 1-NPT	4 kpl
Pikapoistoventtiili + 90 asteen putkikulma	4 kpl
Varoventtiili paineilmamittarilla	4 kpl
Painelinja pikapoistoventtiililtä suuntaventtiilille + liittimet	4 kpl
Normaalisti avoin 3/2 -suuntaventtiili sähkömagneetilla ja esiohjausventtiilillä + 90 asteen putkikulma	4 kpl
Suodatin-säädin-voiteluyksikkö	2 kpl
Kahvasta lukittava palloventtiili	6 kpl
Vastaventtiili	2 kpl
Ohjausyksikkö	1 kpl

Taulukossa 3 lueteltujen osien ja varusteiden lisäksi tarvitaan paineilma- ja sähkölinjojen rakentamiseen tarvittavat paineilmaputket ja putkikomponentit sekä sähköjohdot ja -komponentit. Nämä tarvikkeet ovat standardimitoitettuja ja ovat saatavilla esimerkiksi tehtaan omalta tavaratoimittajalta.

Paineilmatykin purkuputkella tarkoitetaan paineilmatykistä lähtevää putkilinjaa, jota pitkin ilma purkautuu paineilmatykistä kohteeseen. Purkuputki voi koostua esimerkiksi yksinkertaisesta putkesta ja sen päässä olevasta suuttimesta tai pelkästään putkesta. Erilaisilla purkuputkilla ja niiden päihin asennetuilla suuttimilla voidaan muuttaa painepurkauksen suuntaa haluttuun kohtaan kohdetta. Purkuputkilla voidaan myös muuttaa paineilmatykin sijaintia, mikäli suora purkuputkilinja paineilmatykiltä kohteeseen ei ole mahdollista.

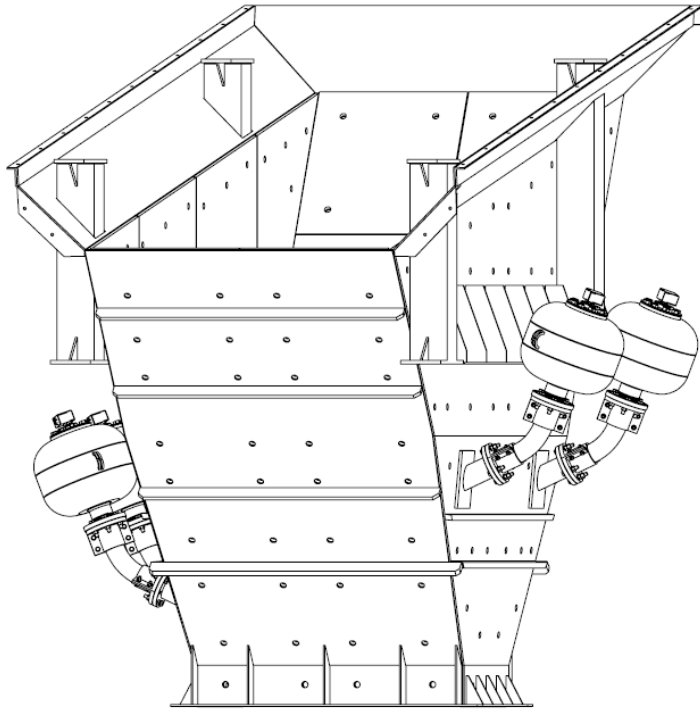
Martin Engineering tarjoaa erilaisia valmiita vaihtoehtoja purkuputkien ja suuttimien suhteen, mutta alitesuppilon ympäristön tilanpuutteen asettamien vaatimusten vuoksi opinäytetyötä varten tehtiin erikseen valmistettavat purkuputket molemmille paineilmatykeille. Suunniteltujen purkuputkien pituutta on mahdollista muuttaa paineilmatykkien asennuksen yhteydessä. Kokoonpanopiirustus 04032019 suunnitellusta purkuputkesta on opinäytetyön liitteenä 2.



KUVA 23. Suunniteltu purkuputki

5.3 Paineilmatykkien asennus

Paineilmatykkejä asennetaan yhteensä neljä, kaksi kappaletta molemmille puolille alitesuppiloa. Toisen puolen paineilmatykit sijoitetaan korkeammalle, jotta vaikutusalueesta tulee mahdollisimman laaja.



KUVA 24. Paineilmatykit alitesuppilon kyljessä

Paineilmatykkien asettelu perustuu teoriaan ja paineilmapurkauksen suuntaamiseen alitesuppilon loiviin seinämiin, joissa alitemateriaalin tarttumista ja kasaantumista on havaittu eniten. Lisäksi neuvoa asetteluun saatiin laitevalmistajalta ja suomalaiselta maa-hantuojalta. Asettelussa otettiin huomioon alitesuppilon tukipalkistot, sekä säteilylähde ja -vastaanotin.

Paineilmatykkien asennus alitesuppiloon voidaan jakaa kolmeen osaan. Opinnäytetyössä suunnitellun purkuputken vuoksi seuraavat asennusohjeet poikkeavat valmistajan antamista asennusohjeista purkuputken kiinnityksen ja paineilmatykin tukemisen suhteen:

1. purkuputkien asennus alitesuppiloon
2. paineilmatykkien asennus purkuputkiin
3. paineilmatykkien liittäminen paineilmalinjaan ja tehtaan ohjelmoitavaan logiikkaan.

5.3.1 Purkuputkien asennus alitesuppiloon

Purkuputkien asentamiseksi murskaamon prosessi täytyy pysäyttää ja kohteeseen tehdä tarvittavat turvatoimenpiteet työturvallisuuden takaamiseksi. Turvatoimiin kuuluvat muun

muassa turvalukitusten tekeminen ja säteilylähteen sokeoiminen. Lisäksi alitesuppilo täytyy puhdistaa kauttaaltaan siihen kertyneestä alitemateriaalista ennen asennuksen aloittamista.

Päävaiheet purkuputkien asennuksessa ovat alitesuppilon kylkiin leikattavien aukkojen tekeminen esimerkiksi polttoleikkaamalla ja purkuputkien hitsaaminen alitesuppilon runkolevyihin. Purkuputkien asentamisessa täytyy ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Aukot leikataan runkolevyjen ja kulutusteräslevyjen läpi purkuputken tulokulman mukaisesti, jotta purkuputki saadaan asetettua oikeassa asennossa alitesuppiin.
- Purkuputket suunnataan alaspäin siksi, ettei alitemateriaali pääse kulkeutumaan paineilmatykin sisään.
- Purkuputkien päät ulottuvat hieman kulutusteräslevyjen yli, jotta purkautuva paine ei pääse vahingoittamaan levyjä.
- Purkuputkien materiaalina käytetään kumiputkea, jotta pieni taivuttaminen on mahdollista paineilmatykkejä asennettaessa.

Piirustukset purkuputkien asentamisesta ja aukkojen leikkaamisesta ovat opinnäytetyön liitteinä 3 ja 4.

5.3.2 Paineilmatykkien asennus purkuputkiin

Paineilmatykit kiinnitetään purkuputkiin tiivistetyillä laippaliitoksilla. Paineilmatykkien purkupäissä on 4-NPT putkikierteet, joihin valmistaja toimittaa 4” kierrelaipat. Nämä kierrelaipat ovat yhteensopivia purkuputkien standardiliittimien kanssa.

Koska purkuputken materiaalina käytetty kumiputki mahdollistaa purkuputken taipumisen, paineilmatykit täytyy lisäksi kiinnittää alitesuppilon tukipalkkeihin vaijereilla. Vaijerit kiinnitetään alitesuppilon tukipalkkeihin hitsattuihin D-kiinnittimiin vaijerilukkojen avulla. Vaijereiden toinen pää kiinnitetään paineilmatykeissä valmiina oleviin kiinnittimiin sakkeleilla ja vaijerilukoilla. D-kiinnittimien tarkat sijainnit ja vaijereiden pituus määritetään paineilmatykkejä asennettaessa.

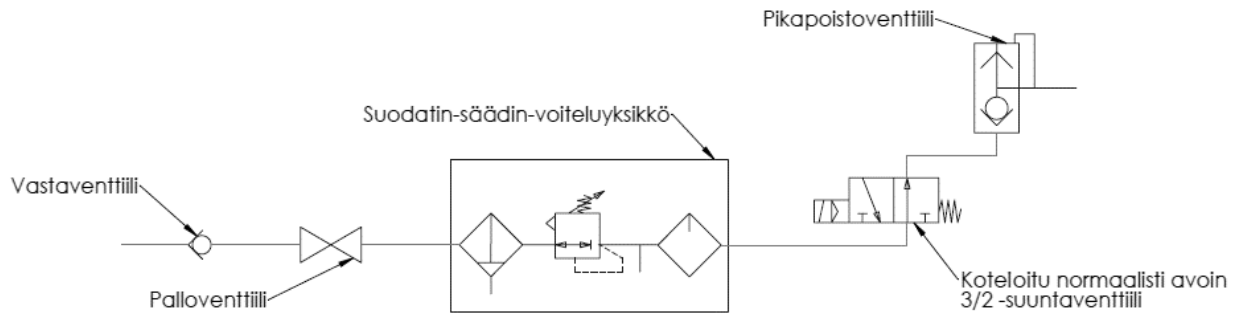
Kannattelevien vaijereiden lisäksi paineilmatykkien ja alitesuppilon välille asennetaan laitevalmistajan toimittamat turvavaijerit ohjeiden mukaisesti. Turvavaijerin tarkoitus on estää paineilmatykin romahtaminen muiden kannattamien pettäessä, eikä se saa olla paineilmatykkiä kannatteleva vaijeri.

5.3.3 Paineilmatykkien liittäminen paineilmalinjaan ja PLC:hen

Paineilmatykkien tarvitsema paineilma saadaan alitesuppilon vieressä kulkevasta kiinteästä paineilmalinjasta, joka haarautuu molemmille puolille alitesuppiloa. Paineilman kiinteään paineilmalinjaan tuottaa rikastamon yleinen paineilmakompressori ja paine linjassa on noin 7,3 bar. Kaikki venttiilit, suodatin-säädin-voiteluyksiköt ja ohjausyksikkö ovat tilattavissa suoraan laitevalmistajalta.

Paineilmalinjan rakentamisessa kiinteästä paineilmalinjasta paineilmatykeille käytetään paineilmatykkien valmistajan asennusohjeiden mukaisesti nimellishalkaisijaltaan ½ tuumaista putkea ja putkikomponentteja. Kansainvälisen standardisointijärjestö ISO:n standardissa 6708 NPS ½ tuumaa vastaa DN15 putkia ja putkikomponentteja. Paineilmalinjaa rakennettaessa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Paineilmalinjat täytyy rakentaa siten, että ne ovat kiinnitettävissä esimerkiksi alitesuppilon tukipalkkeihin liikkumisen estämiseksi ja esteettömän kulkemisen mahdollistamiseksi.
- Kaikki liitoskohdat ovat kiristettävä riittävän kireälle ja käsiteltävä tarvittaessa tiivistemassalla tai putkiteipillä.
- Paineilmatykin varoventtiilin aukeamispaine ei ikinä saa olla suurempi kuin paineilmatykin suurin sallittu työskentelypaine.
- Pikapoistuventtiilien ja suuntaventtiilien purkuaukot tulee suunnata alaspäin, jotta ne eivät kerää likaa eivätkä ole suunnattu henkilöihin päin.



KUVA 25. Rakennettavan paineilmalinjan venttiilit ja ilmankäsittelykomponentit

Paineilmatykin asennus paineilmalinjaan aloitetaan varoventtiilin asentamisella paineilmatykin säiliöön merkittyyn kohtaan. Varoventtiiliin tehtävänä on laukaista säiliön paine, mikäli se kasvaa yli sallitun työpaineen. Typhoon -paineilmatykin mukana tulevan varoventtiiliin aukeamispaine on 8,62 bar.

Varoventtiilin asentamisen jälkeen paineilmatykkiin asennetaan pikapoistventtiili. Pikapoistventtiili liitetään paineilmatykkiin sen mukana tulevan 1-NPT putkinipan avulla. On suositeltavaa kiertää pikapoistventtiilin poistoaukkoon esimerkiksi 90 asteen putkikulma.

Pikapoistventtiilin asentamisen jälkeen siihen liitetään normaalisti avoin 3/2 -suuntaventtiili, jossa on sähkömagneetti ja esiohjausventtiili. Suuntaventtiilin ja pikapoistventtiilin välisen painelinjan pituus saa olla enimmillään 4,5 metriä ja se voidaan tarpeen vaatiessa rakentaa riittävän kestävästä paineilmaletkusta. Myös suuntaventtiilin poistoaukkoon suositellaan asennettavan esimerkiksi 90 asteen putkikulma. Suuntaventtiilin täytyy myös olla koteloitu, sillä alitesuppilon ympäristö on hyvin pölyinen. Jokaisen suuntaventtiilin tu-loaukkoon liitetään palloventtiili, jotta paineilmatykkien ilmansaanti voidaan sulkea eritellysti.

Suunta- ja palloventtiilin asentamisen jälkeen linjaan liitetään ilmansuodattimesta, paineensäätimestä ja voitelulaitteesta koostuva suodatin-säädin-voiteluyksikkö sopivaan kohtaan rakennettavaa paineilmalinjaa. Yksikköä asennettaessa on tärkeä varmistaa komponenttien suuntaus oikeaksi. Tämän opinnäytetyön paineilmalinjakaaviossa on yksi suodatin-säädin-voiteluyksikkö kahta paineilmatykkiä kohden.

Suodatin-säädin-voiteluyksikön asentamisen jälkeen siihen liitetään kahvasta lukittava palloventtiili ja vastaventtiili estämään ilman takaisinvirtauksen. Lopulta rakennettu paineilmalinja yhdistetään tehtaan paineilmalinjaan.

Sähkötyöt ohjausyksiköstä 3/2 -suuntaventtiilille tehdään ohjausyksikön mukana tulevien ohjeiden ja voimassa olevien standardien mukaisesti sähkötyön ammattilaisen toimesta. Virtalähteenä ohjausyksikölle toimii tehtaan yleinen sähköverkko. Sähköjohdot tulee kiinnittää esimerkiksi kaapelihyllyyn työturvallisuuden takaamiseksi.

Paineilmalinjan toimintakaavio 30032019 on opinnäytetyön liitteenä 5.

5.3.3.1 Ohjausyksikkö ja tehtaan ohjelmoitava logiikka

Paineilmatykkien suuntaventtiileitä ohjaava ohjausyksikkö tullaan liittämään PLC:hen, eli tehtaan ohjelmoitavaan logiikkaan, jotta sen ohjaaminen on mahdollista tehtaan ohjaamosta. Lyhyesti selitettynä PLC on tietokone, jonka avulla voidaan ohjata tehtaan automaatioprosessia reaaliajassa. Kemin kaivoksella PLC:n piiriin kuuluvat lähes kaikki prosessin kone-elimet, kuten esimerkiksi venttiilit ja sähkömoottorit.

Paineilmatykkien liittamisestä tehtaan ohjelmoitavaan logiikkaan vastaa asiaan perehtynyt ammattilainen.

5.4 Paineilmatykin käyttöönotto

Paineilmatykkien asentamisen jälkeen kohteeseen on asetettava valmistajan määräämät ja toimittamat varoitustarrat/-kyltit näkyville paikoille.

Ennen paineilmatykkien testaamista täytyy varmistaa, ettei työkohteessa ole työntekijöitä tai muita henkilöitä. Varmistuksen jälkeen paineilmatykki laukaistaan viisi kertaa joko ohjausyksiköstä tai suoraan tehtaan ohjaamon tietokoneelta. Mikäli paineilmatykki latautuu ja purkautuu oikeaoppisesti, sen käyttöä voidaan jatkaa halutulla tavalla. Jos paineilmatykki ei lataudu tai purkaudu halutusti on tarkistettava valmistajan antamat ohjeet ongelmatilanteen selvittämiseksi ja korjaamiseksi.

5.5 Paineilmatykkien kunnonvalvonta ja huoltaminen

Laitteiden kunnonvalvonta ja huoltaminen ovat merkittävä osa tuotantotoiminnan yleistä kunnossapitoa. Paineilmatykkien kunnonvalvonnan tarkoitus on varmistaa laitteiden halutun mukainen toiminta. Tämä tarkoittaa ennakoivia toimenpiteitä, vianetsintää ja mahdollisia vikojen korjaamista.

Laitevalmistaja suosittelee paineilmatykeille tehtävän kuukausittaista kunnonvalvontaa. Kuukausittainen kunnonvalvonta sisältää seuraavia toimenpiteitä:

- Tarkistetaan paineilmalinjan (putket, liitännät, jne.) kunto vuotojen tai haurastumisten havaitsemiseksi. Vuotokohdat tiivistetään ja kiritään ja haurastuneet tai rikkoutuneet komponentit vaihdetaan uusiin.
- Tarkistetaan, että paineilmalinja on kiinteästi paikallaan. Liikkuvat paineilmaputket tai -letkut on kiinnitettävä liikkumisen estämiseksi.
- Tarkistetaan venttiilien ja muiden komponenttien kunto. Rikkoutuneet tai epävarmasti toimivat komponentit vaihdetaan uusiin.
- Tarkistetaan paineilmamittarin kunto ja näkyvyys. Tarvittaessa paineilmamittari vaihdetaan uuteen.
- Tarkistetaan paineilmatykin varoventtiiliin kunto. Tarvittaessa varoventtiili vaihdetaan uuteen.
- Tarkistetaan turvakaapeli ja sen liittimien kunto. Kuluneet tai ruostuneet kaapelit ka liittimet vaihdetaan uusiin.
- Puhdistetaan kaikki varoitustarrat/-kyltit, jotta ne ovat selvästi luettavissa ja näkyvillä. Epäselvät tai rikkoutuneet varoitustarrat/-kyltit ovat vaihdettava uusiin.

Edellä mainittuja toimenpiteitä on suositeltavaa suorittaa myös useammin kuin kerran kuukaudessa, jotta vältetään mahdollisten vikojen kehittymiseltä.

Laitevalmistaja suosittelee paineilmatykeille tehtävän yleisen huoltokatkon yhteydessä huollon, joka sisältää kuukausittaisen kunnonvalvonnan lisäksi seuraavia toimenpiteitä:

- Paineilmalinja katkaistaan ja paineilmatykki tyhjennetään paineilmasta. Tyhjentyminen varmistetaan paineilmatykin varoventtiilin avulla.

- Poistetaan säiliön tyhjennystulppa, jotta mahdollinen kosteus poistuu säiliöstä. Tyhjennystulpan aukkoon asennetaan uusi putkitiiviste tyhjennystulpan takaisinlaiton yhteydessä.
- Tarkistetaan paineilmatykkien ja purkuosien kunto ruosteen tai heikentyneiden hitsi- tai ruuviliitosten havaitsemiseksi. Ruosteiset liitännät vaihdetaan uusiin ja heikentyneet hitsiliitokset uusitaan.
- Tarkistetaan paineilmasäiliön ja sen komponenttien kunto vaurioiden havaitsemiseksi. Laitevalmistaja toimittaa tarkemmat ohjeet paineilmasäiliön purkamisesta ja kasaamisesta.
- Tarkistetaan sähkölinjan ja ohjausyksikön kunto. Vaurioituneet komponentit vaihdetaan uusiin.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä parhaiten soveltuva ratkaisu kostean ja hienojakoisen alitemateriaalin tarttumisen ehkäisyyn alitesuppilossa ja sen tuotannonaikaisen puhtaanapidon mahdollistamiseen. Soveltuvinta ratkaisua etsittäessä perehdyttiin tarkasti kohteen materiaalivirtaan ja muihin erilaisiin materiaalivirtoihin, sillojen ja suppiloiden purku- ja tukkeutumisongelmiin sekä erilaisiin materiaalivirtaa tehostaviin ratkaisuihin. Perehtymisen sekä henkilökunnan ja muiden ammattilaisten kesken käytyjen keskusteluiden pohjalta syntyi kartoitus varteenotettavista ratkaisuvaihtoehdoista kohteen ongelman ehkäisemiseksi.

Ratkaisuvaihtoehtoja vertailtaessa paineilmatykki nousi soveltuvimmaksi ratkaisuksi alitesuppilon materiaalivirran tehostamiseen. Paineilmatykin suora vaikutus materiaalivirtaan on hyvin tehokas alitesuppilon rakenteesta tai materiaalivirran sen hetkisestä laadusta riippumatta. Esimerkiksi sähköisen tärymoottorin tehokkuuteen vaikuttavat hyvin paljon materiaalivirran raekoko ja kosteus suhteessa tärymoottorin värähtelylaajuuteen ja kierrosnopeuteen.

Lisälaitteet yleisesti ottaen ovat erittäin hyvä ratkaisu erilaisten materiaalivirtojen tehostamiseen. Opinnäytetyötä tehdessä tuli esiin useita tilanteita, joissa esimerkiksi paineilmaleka olisi varteenotettava tuotantoa ja materiaalivirtaa tehostava lisälaitte. Paineilmaleka soveltuisi erittäin hyvin esimerkiksi tehtaan lieteputkien tai -pumppujen yhteyteen kohdissa, joissa totutusti on ilmennyt tukoksia tai muuten epävarmaa virtausta.

Paineilmatykkien asennusta varten luotiin toteutussuunnitelma, joka paneutuu tarkasti paineilmatykkien asentamiseen ja käyttöönottoon. Toiminnaltaan paineilmatykit ovat yksinkertaisia ja luotettavia, mikä tekee niistä myös kustannuksellisesti tehokkaita. Laitevalmistajan tarjoamat kattavat kunnossapito-ohjeet ja varaosapaketit myös lisäävät paineilmatykkien elinikää.

LÄHTEET

1. Kuvaus yrityksestä. 2016. Kaivosvastuu. Saatavissa: <https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/outokumpu-chrome-oy/>. Hakupäivä 16.1.2019.
2. Kemin kaivoksen syventäminen – DeepMine hanke. 2018. Outokumpu Chrome Oy. Saatavissa: <https://docplayer.fi/104992867-Kemin-kaivoksen-syventaminen-deepmine-hanke.html>. Hakupäivä 11.2.2019.
3. Hakapää, Antero – Lappalainen, Risto 2011. Kaivos- ja louhintatekniikka. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.
4. Perehdytysmateriaali. Sisäinen dokumentti. Outokumpu Chrome Oy. Kemi Mine.
5. Cohesion. Corrosionpedia. Saatavissa: <https://www.corrosionpedia.com/definition/290/cohesion>. Hakupäivä 20.2.2019.
6. Lehtonen, Pyry 2008. Rakeisen kiintoaineen varastointi. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, kemiantekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8581/Lehtonen.Pyry.pdf?sequence=2>. Hakupäivä 20.2.2019.
7. Adhesion and cohesion of water. 2018. U.S. Geological Survey. Saatavissa: <http://water.usgs.gov/edu/adhesion.html>. Hakupäivä 20.2.2019.
8. Vertical wall build up. Primasonics. Saatavissa: <https://www.primasonics.com/what-is-silo-hopper-vertical-wall-build-up>. Hakupäivä 23.2.2019.
9. Silo and hopper bridging. Primasonics. Saatavissa: <https://www.primasonics.com/silo-hopper-bridging>. Hakupäivä 22.2.2019.
10. Sondalini, Mike. Bridging in silos and hoppers. Saatavissa: <https://accendoreliability.com/bridging-silos-hoppers/>. Hakupäivä 22.2.2019.
11. Silo and hopper Ratholing. Primasonics. Saatavissa: <https://www.primasonics.com/silo-and-hopper-ratholing>. Hakupäivä 22.2.2019.

12. Siilotykki. 2017. Pneuplan Oy. Saatavissa: <https://pneuplan.fi/siilotykki/>. Hakupäivä 26.2.2019.
13. Radiometrinen tiheyden ja pitoisuuden mittaust. Berthold Technologies. Saatavissa: https://www.tecalemitflow.fi/Download/26090/LB%20491_FI_2013.pdf. Hakupäivä 26.2.2019.
14. Level measurement brochure. Berthold Technologies. Saatavissa: https://www.tecalemitflow.fi/Download/25988/level_measurement_brochure.pdf. Hakupäivä 26.2.2019.
15. Törmälä, Esa 2007. Pinnoitteet yleisesti ja terminen ruiskutus. Saatavissa: <https://slideplayer.fi/slide/2648051/>. Hakupäivä 28.2.2019.
16. Duroxite 101. SSAB. Saatavissa: <https://www.ssab.fi/tuotteet/terasluokat/overlay-products/duroxite/duroxite-101>. Hakupäivä 28.2.2019.
17. Metallin muovipinnoitus. 2018. Työturvallisuuskeskus. Saatavissa: https://ttk.fi/files/6496/Metallin_muovipinnoitus_1.3_01112018.pdf. Hakupäivä 28.2.2019
18. Introduction to flow aids. 2016. David Graig. Saatavissa: <http://jenike.com/introduction-to-flow-aids/>. Hakupäivä 26.2.2019.
19. Värähtelytekniikka automaatio. Vibratec. Saatavissa: http://www.vibratec.fi/pdf18/me_paineilmatykki.pdf. Hakupäivä 27.2.2019.
20. Martin Typhoon air cannon. Martin Engineering. Saatavissa: <https://static.martin-eng.com/www.martin-eng.com/resources/M3813.pdf>. Hakupäivä 27.2.2019.
21. Isometsä, Janne 2014. Siilotykin laukaisuparametrien tutkiminen. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67320/Iso-metta_Janne.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 27.2.2019.

22. PKL kertaiskevä paineilmaleka. Tärylaite Oy. Saatavissa: <https://www.tarylaite.fi/tuotteet/paineilmataryttimet/pkl-kertaiskevat-vasara-taryttimet/>. Hakupäivä 27.2.2019.
23. Paineilmakäyttöiset iskuvasarat. Vibratec. Saatavissa: <http://www.vibratec.fi/pdf18/vasara.pdf>. Hakupäivä 27.2.2019.
24. Operating instructions for Netter pneumatic impactors of the series PKL 2017. Netter Vibration. Saatavissa: https://www.tarylaite.fi/wp-content/uploads/PKL_2017_käyttöohje.pdf. Hakupäivä 27.2.2019.
25. Tärymoottorit. Vibratec. Saatavissa: <http://www.vibratec.fi/concrete/index.php/tuotteet2/irto-ja-jauhemateriaalin-annostelu-kuljetus/Tärymoottorit>. Hakupäivä 27.2.2019.
26. Sähkökäyttöiset moottoritäryttimet. Vibratec. Saatavissa: http://www.vibratec.fi/pdf18/omb_tary.pdf. Hakupäivä 27.2.2019.
27. Tärymoottori. Tärylaite Oy. Saatavissa: <https://www.tarylaite.fi/tuotteet/moottoritaryt/>. Hakupäivä 27.2.2019.
28. Vibration solutions. Martin Engineering. Saatavissa: <https://static.martin-eng.com/www.martin-eng.com/resources/brochure-vibration-solutions-L3665.pdf>. Hakupäivä 27.2.2019.
29. Acoustic cleaners. Primasonics. Saatavissa: <https://www.primasonics.com/acoustic-cleaning/acoustic-cleaners>. Hakupäivä 28.2.2019.
30. Technical data sheet. 2010. Martin Engineering. Saatavissa: <https://static.martin-eng.com/www.martin-eng.com/resources/L3809.pdf>. Hakupäivä 8.4.2019.

