

**Jarno Puputti**

## **ZN-RAKEISTUSKAMMION MODERNISOINTI**

**Zn-Rakeistusammion vuoraus**

**Opinnäytetyö**  
**CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU**  
**Tuotantotalouden koulutus**  
**Toukokuu 2021**



## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Toukokuu 2021	<b>Tekijä/tekijät</b> Jarno Puputti
<b>Koulutus</b> Tuotantotalouden koulutus		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
<b>Työn nimi</b> ZN-RAKEISTUSKAMMION MODERNISOINTI Zn-Rakeistuskammion vuoraus		
<b>Työn ohjaaja</b> Mika Kumara		<b>Sivumäärä</b> 33
<b>Työelämäohjaaja</b> Jukka Hautaniemi		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää, kuinka voidaan helpottaa rakeistuksen ja rakeistuskammion epäkohtia aiheuttavat ongelmat. Ergonomisesti otettiin huomioon työtavat, joilla voidaan helpottaa operaattoreiden fyysistä kuormittavuutta.</p> <p>Tämä tutkimustyö on tehty yhteistyössä Boliden Kokkolan tehtaan valimo-osaston henkilökunnan kanssa. Sain ajatuksen ruveta syvällisemmin miettimään mekaanista parannuskeinoa oltuani kesätöissä valimon rakeistuksessa.</p> <p>Itse mekaanisen modernisoinnin osalta toteutettiin rakeistuskammion uudelleenvuoraus uudella pintamateriaalilla. Tällä menetelmällä saatiin poistettua olemassa olevat ongelmatkohdat kuten, ulkonevat hitsaussaumamat ja vanhat huolto- ja miehistöluukut. Tällä tutkimustyöllä selvitettiin myös uuden vuorausmoduulin vaikutusta rakeistuspulverin käyttöön tuotannon olosuhteissa ja kuinka uusi vuorausmoduuli helpottaa rakeistuspulverin etenemisen syöttöruuville. Päädyttiin teräsrakennestikkoon minkä päälle asennettiin vuorauslevyt ja kiinnitysmenetelmänä käytettiin saranmekanismia rakeistuskammion sivuseinillä.</p>		

modernisointi, rakeistuskammio, työergonomia, vuoraus

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> May 2021	<b>Author</b> Jarno Puputti
<b>Degree programme</b> Industrial Management		
<b>Name of thesis</b> ZN GRANULATION CHAMBER MODERNIZATION Liner of the Zn granulation chamber		
<b>Instructor</b> Mika Kumara		<b>Pages</b> 33
<b>Supervisor</b> Jukka Hautaniemi		
<p>The purpose of this thesis is to find out how the problems caused by disadvantages of granulation and granulation chamber can be alleviated ergonomically, working methods are taken into account, which can facilitate the physical workload of operators.</p> <p>This research has been carried out in collaboration with the staff of the foundry department of the Boliden Kokkola plant. I got the idea to start thinking more deeply about a mechanical cure after being in the summer work in the granulation of the foundry.</p> <p>With the regard to the mechanical modernization itself, the lining of the granulation chamber is carried out with a new surface material. This method eliminates existing problem areas such as protruding weld and old maintenance / crew hatsches. The aim of this research is also to find out effect of the new lining module on the behavior of the granulation powder under production conditions and how the new lining module facilitates the progress of the granulation powder to the feed screw. It was decided to have a steel structural grid on which lining plates were installed and a hinge mechanism on the side walls of the granulation chamber was used as the fastening method</p>		

granulation chamber, lining, modernization, work ergonomics

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Cu = Kupari

Cd = Kadmium

Co = Koboltti

Ejektori = Virtauksella toimiva imupumppu

Partikkeli = Pienoishiukkanen

Hydrometalurgia = Yksi metallien valmistustekniikoista

Pyrometalurgia = Metallien valmistus korkeiden lämpötilojen avulla

Oksidi = Hapen ja jonkun toisen alkuaineen yhdisteitä

SO<sub>2</sub> = Rikkidioksidi

Elevaattori = Kauhakuljetin Y-akselin muodossa

Korroosio = Ruoste

Modifiointi = Muokkaus

Komponentti = Rakenneosa

Moduuli = Itsenäinen osa, josta voidaan koota erilaisia kokonaisuuksia

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

## SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>6</b>
<b>2 BOLIDEN KOKKOLA OY</b> .....	<b>7</b>
2.1 Yritys.....	7
2.2 Sinkin tuotantoprosessi.....	8
2.3 Rakeistus .....	9
<b>3 TERÄSKAMMIOIDEN RAKENNERATKAISUT</b> .....	<b>11</b>
3.1 Kammiomateriaalit .....	11
3.2 Hitsaustekniikka .....	12
<b>4 TYÖERGONOMIA</b> .....	<b>13</b>
<b>5 KUSTANNUSLASKENTA</b> .....	<b>15</b>
5.1 Investointilaskelmat ja epävarmuus.....	15
5.2 Investointipäätökset.....	16
5.3 Relevantit kassavirrat.....	16
<b>6 KAMMIOTEKNINEN TOTEUTUS</b> .....	<b>17</b>
6.1 Nykyinen tilanne ja ongelmat .....	17
6.2 Materiaalivaihtoehdot ja valinnat.....	21
6.3 Liitosvaihtoehdot .....	23
6.4 Saranamekanismi.....	24
6.5 Vuorausmoduuli.....	25
<b>7 ASETETUT VAATIMUKSET</b> .....	<b>26</b>
7.1 Tehdyt ratkaisut ja valinnat .....	26
7.1.2 Terästyynykiekot.....	27
7.1.3 Kokoonpanokuva.....	28
7.1.4 Materiaalitarpeet.....	29
<b>8 LOPPUPÄÄTELMÄT</b> .....	<b>30</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>33</b>

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Boliden Kokkolan sinkkivalimon rakeistamon modernisointia. Rakeistamossa tuotetaan vuodessa noin 4 500 tonnia sinkkipulveria, jota käytetään sinkkirakeisten puhdistamiseen. Sinkkirakeistamon modernisointiin pääasia on sinkkikammion sisäisen uudelleen vuoraus. Nykyisellään sinkkikammio aiheuttaa hankaluuksia sinkkipulverin jouhevaan valmistukseen, koska mm. kammion sisällä olevat vanhat ulkonemat, kuten miehistöluukkujen pulttien päät sekä seinillä olevat hitsaussaumamat, tuottavat eitoivottua kovettunutta sinkkipulveria juuri näihin kohtiin.

Sain ajatuksen sinkkikammion modernisoinnista oltuani kesätöissä sinkkivalimolla. Esitin näkemykseni valimon kunnossapidon johdolle, jolta sain hyväksynnän aloittaa tämän opinnäytetyön suunnittelun. Kiinnostukseni sinkkikammion modernisointiin liittyy myös rakeistus operaattoreiden työergonomian parantaminen, sairaspölysaolojen vähentäminen ja näin luonnollisesti myös kustannustehokkuuden parantaminen. Tavoitteena on näin myös modernisoinnin myötä säästää palkkakustannuksissa, kun puhdistaminen ja kunnossapito yksinkertaistuvat.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ratkaisut seuraaviin asioihin:

- sinkkikammion koko ja mittasuhteet
- eri päämateriaalivaihtoehdot, joita voidaan käyttää tähän toimintaan tarkoitettussa sinkkikammiossa
- välirunkoon soveltuvien materiaalien valinta
- kammion seinämien jyrkkyyden tarkastelu, jonka tavoitteena on sinkkipulverin jouheva siirtyminen ruuvikuljettimeen

Kun edellä mainittuihin asioihin on saatu riittävät parannustoimenpiteet, niin voidaan laatia sekä teknisten suunnitelman teko tarjouskilpailua varten että kannattavuuden tarkastelu eri investointimallien avulla.

## **2 BOLIDEN KOKKOLA OY**

Boliden Kokkola Oy on yrityksenä osa laajempaa konsernikokonaisuutta, ja tässä yhteydessä esitellään Kokkolan toimipaikan toimintaa ja erityisesti sinkkituotantoprosessi ja siihen liittyvä rakeistusprosessi, jonka sinkin rakeistuskammion toimivuuden kehittämiseen tämä opinnäytetyö keskittyy.

### **2.1 Yritys**

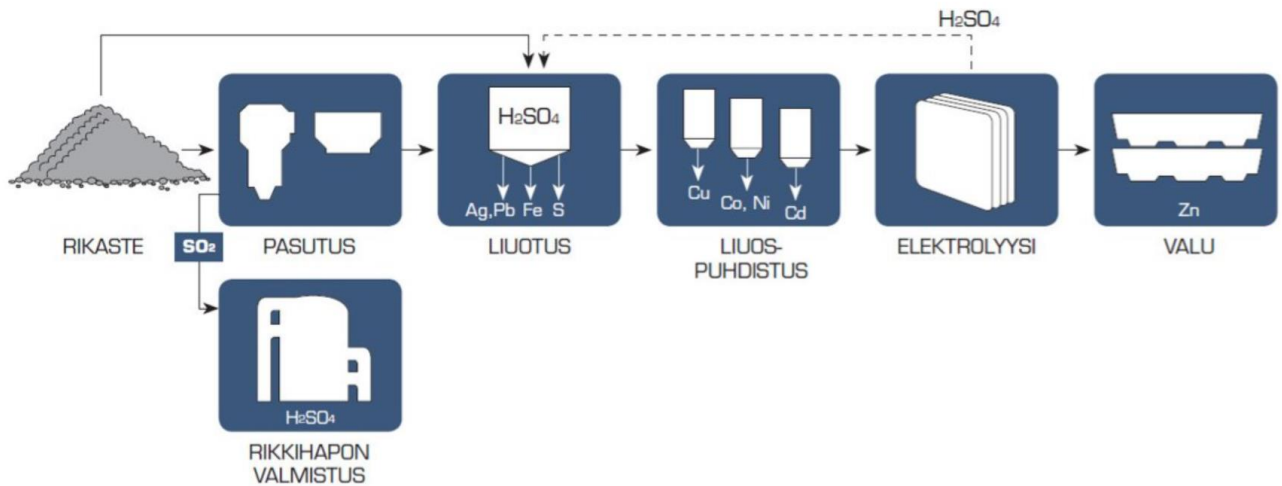
Boliden Kokkola on Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas ja Kokkolan suurin teollinen työnantaja. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 315 000 tonnia sinkkiä vuodessa. Tehdas sijaitsee Kokkolan suurteollisuusalueella. (Boliden Kokkola.)

Boliden Kokkolalla on historia yksi alueemme merkittävänä työnantajana. Bolidenillä tehdään päivittäin töitä sen eteen, että tuotanto toimii tehokkaasti ja vakaasti. Vastuullisuus on Bolidenin toimintaan perustuva laatutekijä, joka ulottuu niin työntekijöihin, ympäristöön kuin koko toiminta-alueeseen. Sinkkitehdas toimii tilausperiaatteella eli tuotantolaitos ei valmista tuotetta varastoon. Vuonna 2014 tehtaalla aloitettiin hopearikasteen talteenotto. Hopearikaste toimitetaan jatkojalostukseen, jossa siitä valmistetaan metallista hopeaa. Hopearikasteen lisäksi Boliden Kokkola tuottaa sivutuotteena mm. rikkihappoa. (Boliden Kokkola.)

Metallista sinkkiä on perinteisesti valmistettu kahdella eri menetelmällä Hydrometallurgisesti, jolloin sinkkimalmi on liuotettu ja liuospuhdistuksen jälkeen puhdas sinkki on elektrolyyttisesti saostettu liuksesta. Pyrometallurgisesti, jolloin oksidimuodossa oleva metallikaasu on pelkistetty koksilla korkeassa lämpötilassa ja nesteyttämällä saatu epäpuhdas metalli on puhdistettu jakotislauksella. (Boliden Kokkola.)

## 2.2 Sinkin tuotantoprosessi

Sinkkiä elektrolyttisesti valmistavilla tehtailla on käytössään maailmanlaajuisesti melko yhteneväinen, hyväksi koettu prosessimuoto.



**Kuvio 1.** Kokkolan Zn-tehtaan prosessikaavio (Boliden Kokkola.)

Kokkolan Zn-tehtaan prosessin päävaiheet ovat

1. Sinkkisulfidirikasteen pasutus, jossa sulfidit muutetaan happoliukoiksi oksideiksi ja näin vapautuva  $\text{SO}_2$  käytetään rikkihapon valmistuksessa.
2. Oksidien liuotus kierrätettävään rikkihappoliuokseen, jolloin sinkkioksidit reagoivat sinkkisulfaatiksi.
3. Sen jälkeen liuos puhdistetaan.
4. Sinkin elektrolyttinen pelkistäminen katodeilla ja samanaikaisesti muodostuvan rikkihapon kierrätys takaisin liuotukseen.
5. Katodeille saostuneiden sinkkilevyjen erotus, sulatus ja valu. (Boliden Kokkola.)

## 2.3 Rakeistus

Sulasta sinkistä tuotetaan sinkkipulveria ohjaamalla sula sinkki rakeistusuunista paineilman avulla injektioperiaatteella toimiville rakeistussuuttimille. Kun sula sinkki suihkuu rakeistussuuttimien päästä rakeistuskammioon, se muuttuu kiinteään pulverimaiseen olomuotoon. Lumitykeissä, käytetään myös samaa tekniikkaa. Rakeistuskammioista pulveri siirretään ruuvien ja kolakuljettimen (elevaattorin) avulla sihdeille, joilla erotetaan karkea ja hieno pulveri. Lisäksi liian karkea pulveri menee sihdeiltä ylivuotona astiaan ja näin uudelleen kiertoon. Sihdeiltä pulverit ohjataan omiin varastosiiloihin. (Mäkelä 2021.)

Rakeistuskammioon rakeistuksessa syntyvä sinkkipöly imetään pois alipaineella valimon yhteiseen kärynpoistolinjaan. Kammioista lähtevässä imukanavassa on sykloni, jolla karkeampi pöly erotellaan. Syklonilla eroteltu karkeampi pöly kerätään syklonin alapuolella olevaan pneuma-kuljettimeen, josta se siirretään edelleen hienopulverin toiseen varastosiiloon. (Mäkelä 2021.)

Rakeistuksessa valmistettavaa sinkkipulveria varastoidaan omiin siiloihin, jotka sijaitsevat valimon ulkopuolella. Sinkkipulveria käytetään sinkkipuhdistamolla Cu-, Co- ja Cd-poistoprosesseissa saostamaan epäpuhtaudet pois sinkki-sulfaattiliuoksesta. Hienopulveria käytetään Cu/Co-poistoprosessissa ja karkeapulveria Cd-poistoprosessissa. Sinkkipulveri siirretään valimolta puhdistamolle trukkikuljetuksena tähän tarkoitukseen valmistetuilla sinkkipulverikeräilyastioilla. (Mäkelä 2021.)

Liuospuhdistuksessa sinkkipulveri on tärkeä tarveaine. Nykyisin sinkkipulveri valmistetaan valimon rakeistuksessa ejektoriperiaatteella atomisoimalla. U1:stä (Uuni 1) ohjataan sinkkiä rakeistuksen uuniin, joka pitää sinkin sulana noin 520° C mutta jolla ei ole varsinaista sulatustehoja. Uunista sinkki ohjataan paineilman avulla ejektoriperiaatteella toimiville rakeistussuuttimille. Sula sinkki suihkuu suuttimien päästä rakeistuskammioon ja muuttuu kiinteään pulverimaiseen olomuotoon. (Mäkelä 2021.)

Pulveria valmistetaan atomisoinnissa suoraan sulasta tilasta yleensä veden, ilman tai inertin kaasun avulla. Menetelmänä atomisointi on varsin yksinkertaista valmistaa sinkkipulveria ja se soveltuu hyvin laajan mittakaavan tuotantoon. Sitä on myös hyvin laajasti käytetty ja se on siksi hyvin tunnettu menetelmä. Partikkelimuotoa ja -kokoa voidaan myös hallita helposti mm. sulan

lämpötilaa ja veden ja ilman painetta säätämällä. Hieman uudempaa teknologiaa edustaa atomisointi pyörivän levyn avulla. (Luomanen 2020.)

Perinteisin tapa valmistaa sinkkipulveria on vapaapudotus-menetelmällä. Tässä tapauksessa sinkkipadan pohjassa on reikä, josta ohut sulavirtaus pääsee virtaamaan. Paineilman avulla sinkkisula hajotetaan pieniksi pisaroiksi, jotka kerätään talteen rakeistuskammiossa. Sulan pinta padassa pidetään tasaisena kierrättämällä sinkkiä padan ja uunin välillä. Raekokoa ohjataan mm. säätämällä suutinputkia ja paineilman voimalla. (Luomanen 2020.)

Mekaanisesti sinkkipulveria voidaan myös valmistaa, esim. kuulamylyssä. Valmistus on periaatteessa hyvin yksinkertainen prosessi, mutta tämän prosessin haittapuoli on, että pulverin laatua voi olla hankala kontrolloida.

Atomisointi toimii pyörivän levyn avulla, tällä menetelmällä on mahdollista valmistaa muotoopin mukaan pallomaisia partikkeleita, joilla on kapea raekojakauma. Pyörivän levyn avulla tapahtuva atomisointi on kustannuksiltaan edullisempi menetelmä kuin esim. atomisointi veden tai ilman avulla, sillä energiankulutus on vähäisempää eikä menetelmässä tarvita atomisointiväliaineen käsittelyä. Syntyvän pulverin partikkelikokoa voidaan ohjata mm. levyn pyörimisnopeudella. (Luomanen 2020.)

Kuvassa 2 nähdään, kuinka sula sinkki muuntuu kiinteään partikkelimuotoon.



**Kuva 2.** Rakeistussuutin

### 3 TERÄSKAMMIOIDEN RAKENNERATKAISUT

Kammion rakenneratkaisuihin pyritään tutkimalla eri vuorausvaihtoehtoja, jotka soveltuisivat parhaiten sinkkipulverin kanssa toimimiseen. Vuorauslevymateriaali ei saa olla liian karheapintaista, koska tämä aiheuttaa sinkkipulverin kasaantumista, joka taas aiheuttaa häiriötekijöitä tuotantoon.

#### 3.1 Kammiomateriaalit

Ruostumattomat teräkset ovat yhteisnimitys suurelle ryhmälle teräksiä, jotka ovat runsasseosteisia. Aiemmin on jo todettu, että kromi vaikuttaa ruostumattomuuteen olennaisesti, koska teräksen pintaan syntyy kromin ja hapen yhdisteenä erittäin ohut ( $20\text{--}30 \times 10^{-10}$  m) ja tiivis oksidikalvo. Passiivikalvo syntyy ja rikkoutuessaan uudistuu silloin, kun teräksessä on vähintään 11–12 % kromia. Tämä kalvo suojelee terästä ulkoisilta korroosiohyökkäyksiltä, jolloin syöpmisnopeus pienenee voimakkaasti. (Witting & Pettinen 2004, 171.)

Ruostumattomille teräksille on tyypillistä, että ne kestävät veden, ilmaston ja monien suola-, happo- ja emäsluosten syövyttäviä vaikutuksia. Metallien korroosiolajeja ovat paikallinen korrosio ja yleinen korrosio. Paikallista korroosiota ovat piilo-, piste- ja raerajakorroosio, jos mekaanista rasitusta ei synny, ja korroosioväsyminen ja jännitys- ja eroosikorrosio, kun mekaaninen rasitus on lisänä. Korroosiolla tarkoitetaan kappaleen ruostumista, joka heikentää kappaleen tai materiaalin kestävyyttä. (Witting & Pettinen 2004, 171.)

Ruostumattomat teräkset voidaan ryhmitellä käyttötarkoituksen mukaan seuraavasti

- Ruostumattomat
- Haponkestävät
- Korkean lämpötilan teräkset (kuumalujat teräkset)
- Aluminisoidut teräkset (Witting & Pettinen 2004, 171.)

### 3.2 Hitsaustekniikka

Hitsaustekniikalla tarkoitetaan eri hitsausmenetelmien käyttämistä terästen yhteen liittämiseen sähkövirran avulla.

Käytetyimmät hitsausmenetelmä ovat

- **MIG/MAG-hitsaus**

MIG/MAG on kaasukaarihitsausprosessi eli metallikaasukaarihitsaus, mikä tarkoittaa, että valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välissä. Langan päässä oleva sula metalli siirtyy hitsisulaan. Langansyöttölaite syöttää tasaisella nopeudella hitsauslankaa hitsauspistooliin ja siitä edelleen valokaareen. (MIG/MAG-hitsaus.)

- **Puikkohitsaus**

Puikkohitsaus on aina käsin hitsausta eikä sitä voida mekanisoida lyhyen määrämittaisen lisäaineensa takia. Hitsaustapahtuman suoja muodostuu päällysteen muodostamista kaasuista ja kuonasta. Puikkohitsauksessa valokaari palaa hitsauspuikon pään ja työkappaleen välissä. Puikon sydänlanka sulaa ja sula metalli lentää kuonan ympäröiminä pisaroina valokaaren läpi hitsisulaan. Kuona jähmettyy hitsipalon päälle kuonakerrokseksi, joka poistetaan jälkeinpäin. (Puikko-hitsaus.)

- **TIG-hitsaus**

TIG-hitsaus (Tungsten Inert Gas Arc Welding) on kaasukaarihitsausprosessi. TIG-hitsauksessa käytetään aina suojakaasuna inerttiä kaasua, joka yleensä on argonia. Suojakaasun tehtävänä on suojata kuumaa elektrodia hapettumiselta. TIG-hitsauksessa on tärkeintä huolehtia hitsauskohteen suojaukselta, ettei veto pääse hapettamaan hitsattavaa kohdetta. TIG-hitsausta voidaan suorittaa joko lisäaineen kanssa tai ilman lisäainetta. TIG-hitsausmenetelmää käytetään yleensä ohuiden kappaleiden hitsauksessa esimerkiksi ohutlevytyöstössä. (TIG-hitsaus.)

## 4 TYÖERGONOMIA

Toistuvat ja poikkeavat työliikkeet, asennot ja käsityövälineet otetaan huomioon, että työntekijälle toistorasituksen aiheuttama haitta pyritään välttämään tai jollei se ole mahdollista niin yritetään minimoida haitat.

Jatkuvat työliikkeet voivat toistuessaan muodostua vähitellen liian kuormittaviksi, ja tämä voi aiheuttaa erilaisia vaurioita ja vaivoja yläraajoihin. (Launis & Lehtelä 2006, 41.)

Tyypilliset riskitilanteet ovat:

- Suuri toistuvuus
- Suuri voimankäyttö
- Raajojen epäedullinen asento
- Työn suuret tarkkuusvaatimukset (lisäävät staattista voimankäyttöä)
- Työvälineen värinä (lisää käytettävää puristusvoimaa ja vaikuttaa suoraan kudoksiin)
- Epäsopivan työvälineen mitoitus ja muoto
- Uudet liikkeet
- Työskentely kädet pään yläpuolella tai kyynärpäät hartioiden yläpuolella yli 2 tuntia päivässä. (Launis & Lehtelä 2006, 41.)

Käsityökalujen valinnan ja käytön ergonomisia periaatteita, työvälineiden käyttöasennot. Käsityökalujen käytössä olisi suositeltavaa, että yläraajan perusasento on sellainen, jossa olkavarsi on lähellä vartaloa ja olkavarren ja kyynärvarren välinen kulma on lähellä suoraa kulmaa ja ranne on lähes suorana. (Launis & Lehtelä 2006, 43.)

Taakkojen käsittelyssä tulee ottaa huomioon, että nostotyö on yleensä raskasta ja muodostaa ensisijaisesti terveysriskin selän rakenteille. Työtehtävien ja työvälineiden muutosten yhteydessä on hyvä tarkistaa, että työtehtävät ei sisällä liiallisia taakkojen käsittelyä. Nostopäätöksessä (1409/1993) ei anneta nostorajoja, vaan siinä opastetaan tarkastelemaan nostosuorituksia monelta eri kannalta. (Launis & Lehtelä 2006, 47.)

Koneturvallisuusstandardeihin kuuluvassa nostostandardissa (SFS-EN 1005-2) annetaan suosituksia nostorajoista, mutta ne riippuvat edellä mainituista tekijöistä. Standardin laskentamenetelmä perustuu työsuojelualan tutkimuksiin mitä yhdysvaltalainen tutkimuslaitoksen NIOSH:in tekemiin nostotyöselvityksiin, suosituksiin ja laskentakaavoihin. Näiden rajojen ylittäminen aiheuttaa lisääntyneen riskin nostamisessa Laskentatapaa, jota esitetään standardissa, on yksinkertaistettu, jolloin arvot ovat likimääräistyneet. (Launis & Lehtelä 2006, 47.)

Raskaan työn ja ergonomian keskeinen periaate (käyttöpäätöksen 7 § ja työturvallisuuslain 24 ja 25 §) mukaan on ehkäistä liiallinen kuormittaminen työssä. Mitä raskaalla työllä tarkoitetaan, on se, että työ on paljon energiaa kuluttavaa ja verenkiertoelimistöä kuormittavaa työtä. Kun työ on liian raskasta, se synnyttää väsymystilan, josta ei välttämättä hetkessä palaudu normaalilla levolla. Työ, joka on fyysisesti raskasta merkittävä riskitekijä sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksien riskiryhmiin kuuluville. (Launis & Lehtelä 2006, 51.)

Väsymisen kannalta työn tauottamisella on suuri merkitys. Lyhyet ja usein toistuvat tauot ovat suositeltavampia kuin harvemmin toistuvat pidemmät tauot. Raskaissa ja kuumien uuvuttavissa olosuhteissa on palautumiseen tarvittava aika oltava riittävä. Työntekijöiden suorituskyky vaihtelee suuresti koska joillakin ihmisillä liittyy lisääntynyt terveystekijöitä. Raskaissa töissä on selvitettävä työntekijän fyysinen kunto ja yleinen jaksaminen. Lähtökohta on järjestää työtilanne siten että se sopii useimmille työntekijöille ja että saadaan rotaatiota työntekijöiden kesken. (Launis & Lehtelä 2006, 52.)

Raskaan työn rajojen määrittely on edellä mainittujen syiden takia haastavaa. Maailman terveysjärjestö WHO määrittelee työn raskauden mukaan. Maksimiteho on seuraavanlainen: Maksimiteho, jolloin kyetään työskentelemään yhtäjaksoisesti korkeintaan noin 2–3 minuuttia. (Launis & Lehtelä 2006, 52.)

- kevyt työ alle 25 % maksimista
- keskiraskas työ 25–50 % maksimista
- raskas työ 50–75 % maksimista
- erittäin raskas työ 75 % maksimista. (Launis & Lehtelä 2006, 52.)

## 5 KUSTANNUSLASKENTA

Optimaalista ja yksikäsitteistä materiaalinvalintasystematiikkaa kustannuspohjaisesti ei ole olemassa. Se johtuu tässä tapauksessa tehtävän moniulotteisuudesta ja toisaalta tarjolla olevien materiaaliveikkojen runsaudesta. Teknisen tuotteen valmistuskustannukset voidaan jakaa materiaalikustannuksiin, kiinteisiin kustannuksiin ja työkustannuksiin. Näistä kustannuksista työkustannukset ja materiaalikustannukset ovat tuotteen välittömiä ja muuttuvia kustannuksia. (Airila 1995, 108.)

Keskikokoisissa rakenneosissa valmistuskustannuksissa voidaan verrannollistaa mittakaavan neliöön ja suurissa osissa keskimääräisen mittakaavan kuutioon. Se johtuu siitä, että käytetty materiaalmäärä on verrannollinen kappaleen tilavuuteen. Likimääräisesti työkustannukset ovat verrannollisia työstettävän kohteen pinta-alaan. Työkustannukset ovat verrannollisia mittakaavan neliöjuureen. Suurissa rakenteissa korostuu materiaalikustannusten merkittävyys hyvin jyrkästi. Tuotteen keskeinen tekijä on hinta materiaalivalinnassa ja siitä syystä on perusteltua asettaa kustannustekijät materiaalivalinnan kiintopisteeksi. (Airila 1995, 108.)

### 5.1 Investointilaskelmat ja epävarmuus

Investointilaskelmat sisältävät erilaisia epävarmuustekijöitä ja siksi investointeja tulee tarkastella laskelmien yhteydessä hyvinkin kriittisesti kaikkien tekijöiden näkökulmasta. Investointilaskelmien osatekijät ja epävarmuustekijät (Myllykangas 2020.)

- Kokonaisinvestoinnin lopullinen hinta
- Kassavirran vaihteluväli ja taso koko tarkasteluperiodilla
- Käytetty korkokanta ja sen muutokset
- Jäännösarvon taso
- Ylläpitokustannukset ja vuosihuollot

## 5.2 Investointipäätökset

Investoinneista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä pitkäaikaisia, merkitykseltään suuria taloudellisia hankkeita. Yrityksen tulisi jollain tavalla pystyä arvioimaan investointeja osana taloudellista suunnittelua ja pystyä päättämään, mihin projekteihin kannattaa ryhtyä ja mihin ei.

Sijoittajat analysoivat, pörssiyrityksien, yrityksen tekemien investointien onnistuneisuutta vertaamalla niistä saatua tuottoa siihen tuottoon, jonka he olisivat saaneet varoilleen rahoitusmarkkinoilla. Siksi yritysten täytyy pystyä toteuttamaan sellaisia projekteja, jotka tuottavat vähintään sijoittajien pääoman vaihtoehtoiskustannuksen verran. (Knüpfer & Puttonen 2018, 107.)

## 5.3 Relevantit kassavirrat

Investoinnin kannattavuutta arvioitaessa tehdään ennuste investointihankkeen taloudellisista seuraamuksista. Investointi on tavallisesti luonteeltaan sellainen, että investointiin aluksi uhrettuja resursseja vastaan saadaan jatkossa positiivisia nettokassavirtoja, jotka sitten peittävät sijoitetut varat korkoineen ja tuottavat vielä voittoakin. (Knüpfer & Puttonen 2018, 108.)

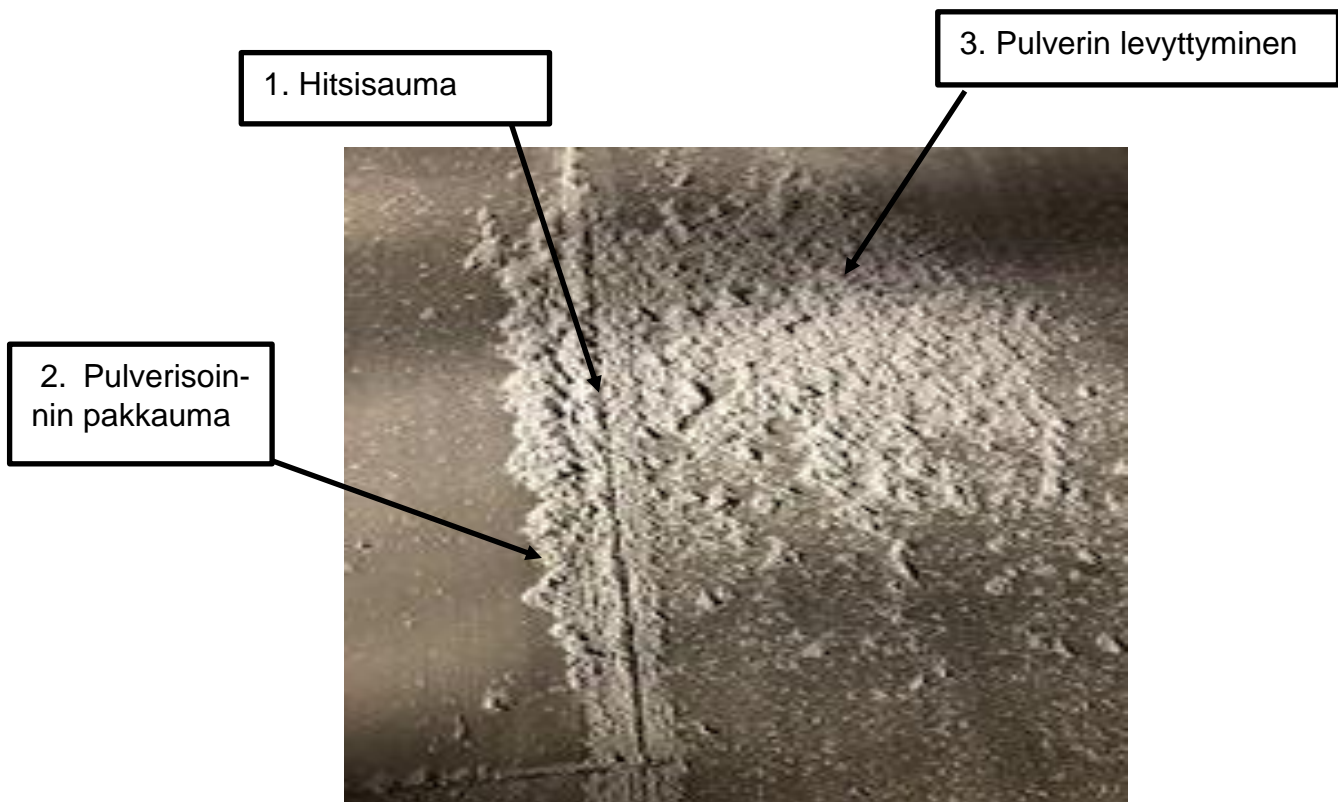
Tässä esimerkissä kassavirrat ovat perinteiselle investoinnille tyypilliset siinä mielessä, että ensin tapahtuu investointi (negatiivinen kassavirta), minkä jälkeen odotetaan tuotteiden myynnistä syntyviä positiivisia nettokassavirtoja vuosittain. Perinteisen koneinvestoinnin lisäksi vastaavan tyyppisiä kassavirtoja voitaisiin odottaa esimerkiksi markkinointikampanjasta, henkilökönnön koulutusprojektista tai tutkimusprojektista. Kuinka helposti hyödyt voidaan euromääräisesti mitata, on oma kysymyksensä, joka riippuu luonnollisesti tavoitteista ja kulloisestakin päätöstilanteesta. Rationalisointi-investoinnin tavoitteena voi olla tuottojen lisäämisen sijaan kustannuksissa säästäminen. (Knüpfer & Puttonen 2018, 108.)

## 6 KAMMIOTEKNINEN TOTEUTUS

Kammioteknisellä toteutuksella käydään läpi eri vaihtoehtoja ongelmatilanteiden poistamiseen ja tarkastellaan eri materiaalivaihtoehtoja rakeistuskammion vuoraukselle.

### 6.1 Nykyinen tilanne ja ongelmat

Kammion seinällä olevat hitsisaumat ja miehistöluukkujen pultit aiheuttavat sinkkipulverin kasautumisen. Tämä taas aiheuttaa sinkkipulverin jouhevan vajoamisen kammion seinää pitkin syöttöruuville. Kuten kuvasta 3 näkyy kuinka hitsisauma kerää sinkkipulveria ja pulveri alkaa muodostamaan sinkkilevyä. Vaarana on, että kasautunut sinkki voi tippua ja aiheuttaa syöttöruuvin pysähtymisen ja hajoamisen. Samalla tämä lisää ylimääräistä mekaanista puhdistustyötä.



**Kuva 3.** Hitsisauman aiheuttama ongelma

## **1. Hitsisauma**

Hitsausta käytetään metallisten ja myös muovisten tuotteiden valmistamisessa ja erilaisten vaurioiden korjauksissa. Hitsaamalla voidaan myös päällystää kappaleita paksuilla ainekerroksilla. Tyypillisiä korjaushitsaussovelluksia ovat erilaisten repeämien ja halkeamien hitsaaminen ja valuvikojen korjaaminen. Uusia tuotteita valmistettaessa yleisiä sovelluskohteita ovat erilaisten levypalkkien liittäminen. Hitsisauma levyllä on kohoutuma liitettävien saumojen välissä, joka syntyy sähköfysikaalisen muodon muuttumisen kautta. (Airila 1995, 95.)

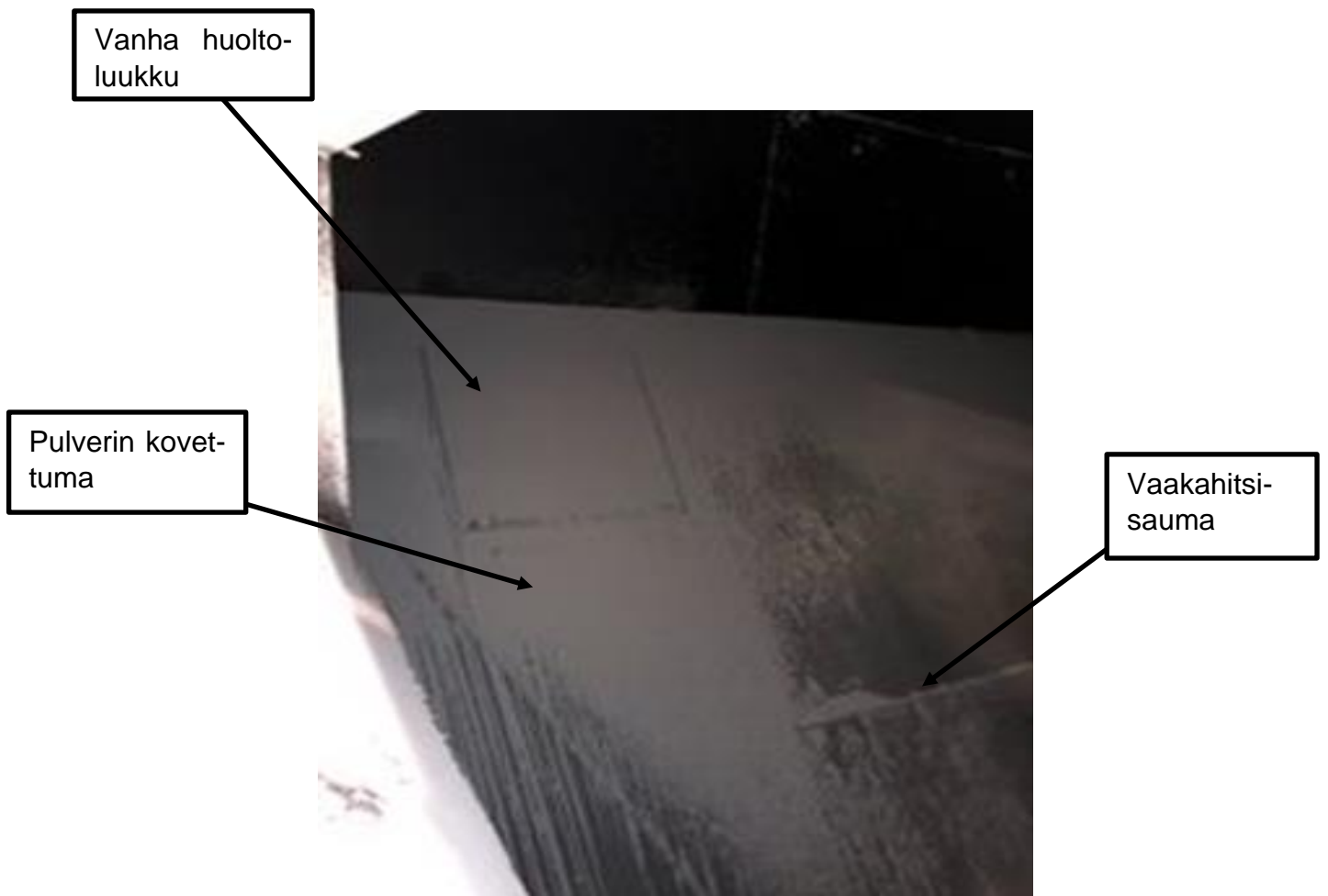
## **2. Pulverisoinnin pakkautuminen**

Kammion seinämää pakkautunut sinkkirake saa alkuunsa ilmavirran ja painovoiman kautta. Tämä aiheuttaa törmäysefektin, joka näkyy siinä, kuinka raetus käyttäytyy hetken ennen kuin kiteytyy silloin kun este ( hitsisauman kohouma) aiheuttaa rakeen pakkautumisen.

## **3. Levytys**

Sinkkirakeen kohdatessa hitsisauman hitsisauma aiheuttaa rakeen jäähtymisen ja muodostaa levyn, joka pakkaantuu kammion seinille ja aiheuttaa negatiivisen pulverisoinnin muodostumista. Pulveri kiinteytyy levyksi.

Ja (kuvasta 4) näkyy, että kaikki ulkonevat kohdat kuten vanhat huolto-  
luukut aiheuttavat huomattavaa ongelmaa pulverisoinnin kannalta. Vaakahitsisauma hidastaa pulverin pääsyn syöt-  
töruuville ja aiheuttaa myös pulverin kasaantumisen.



**Kuva 4.** Rakeistuskammion sivuseinä

Epäkohtana (kuvasta 5) näkyy, kuinka sinkkipulveri kasaantuu kammion päätyseinän kulmille. Tässä vaaratekijänä on että lähtiessä liikkeelle suurella määrällä, se voi aiheuttaa syöttöruuvin pysähtymisen joka voi hajottaa syöttöruuvin mekanismin jolloin tuotanto pysähtyy. Syöttöruuvi kuljettaa pulverin elevaattorille, joka taas kuljettaa pulverin sihdeille jotka erottavat karkean ja hienon pulverin omille silloille. Sinkkipulverin kasaantumiset aiheuttavat ylimääräistä työtä operaattoreille.



**Kuva 5.** Kammion päätyseinä

## 6.2 Materiaalivaihtoehdot ja valinnat

Suunnittelun kannalta tuotteella pitää olla hyvä suorituskyky, joka saavutetaan muotoilun, materiaalin ja valmistuksen tasapainoisella vuorovaikutuksella. Sopivalla muotoilulla ja tarkoituksenmukaisella valmistusmenetelmällä voidaan kompensoida materiaalien heikkoja ominaisuuksia. On hyvin harvoin, kun rakenteen suorituskykyyn vaikuttaa vaan yksi tekijä. Jokin materiaaliominaisuus saattaa olla kriittinen luotettavan toiminnan kannalta. Vaativuutta materiaalivalintaan lisää se, että yksityiskohtaisia materiaaliarvoja ei aina ole saatavilla ja toisaalta rakenteelle asetetut vaatimukset saattavat olla ristiriidassa. (Airila 1995, 99.)

Materiaalivalinnan suunnitteluvaiheessa kohdataan kahta perustyyppiä:

- materiaalinvalinta uuteen kohteeseen
- vanhan tuotteen parantelu ja kustannusten karsiminen (mikä on tämän opinnäytetyön tarkoitus)

Siirtyminen kokonaan uuteen materiaaliin konstruktiota muuttamatta onnistuu harvoissa tapauksissa. Käytännössä uuden materiaalin mahdollisuuksia ei pystytä täysin yksilöimään ennen kuin tämän kohteen suunnittelutyö on tarkasti ajateltu loppuun ja valmistusmenetelmät on yksilöity. Yleensä materiaalivalinta suoritetaan materiaalien teknisten ominaisuuksien pohjalta. (Airila 1995, 99.)

Materiaalivalinta on portaittain etenevä ongelmanratkaisuprosessi. Kannattaa aloittaa tarkastelemalla tärkeimpiä materiaaleja vertailemalla tarveominaisuuksia materiaalien perusominaisuuksiin. Materiaalivaatimusprosessiin kuuluu materiaalien määrittäminen ja käyttöolosuhteisiin ja käyttöympäristöön sopivuuden toteaminen sekä vaihtoehtoisten materiaalien analysoi-

minen kuten levymateriaalien valmistettavuus ja saatavuus (ajatellen vuosihuoltoa ja mahdollisia rikkoontumisia). Kun vertaillaan kantavien rakenteiden materiaaleja, niitä voidaan keskenään verrata vertailuluvuilla. Siinä ilmenee materiaalin arvo halutussa kuormitustapauksessa. Arvon mittana tavallisesti käytetään painoa, eli pyritään löytämään mahdollisimman kevyt materiaalivaihtoehto suunniteltavaan kohteeseen. Kustannusten suhteen voidaan myös käyttää vertailua. (Airila 1995, 100.)

Mitoituskriteereitä, joita tyypillisesti käytetään käytännön rakenteissa ovat jännitys, taipumat ja stabiliteetti. Rakenteen ja yleensäkin uudistus/korjauskohteen suunnittelussa tärkeimpiä muuttujia ovat toiminto (F), geometria (G) ja materiaaliominaisuudet (M). Osan suorituskykyä voidaan esittää yhtälöllä. (Airila 1995, 100.)

$$p = f(F, G, M)$$

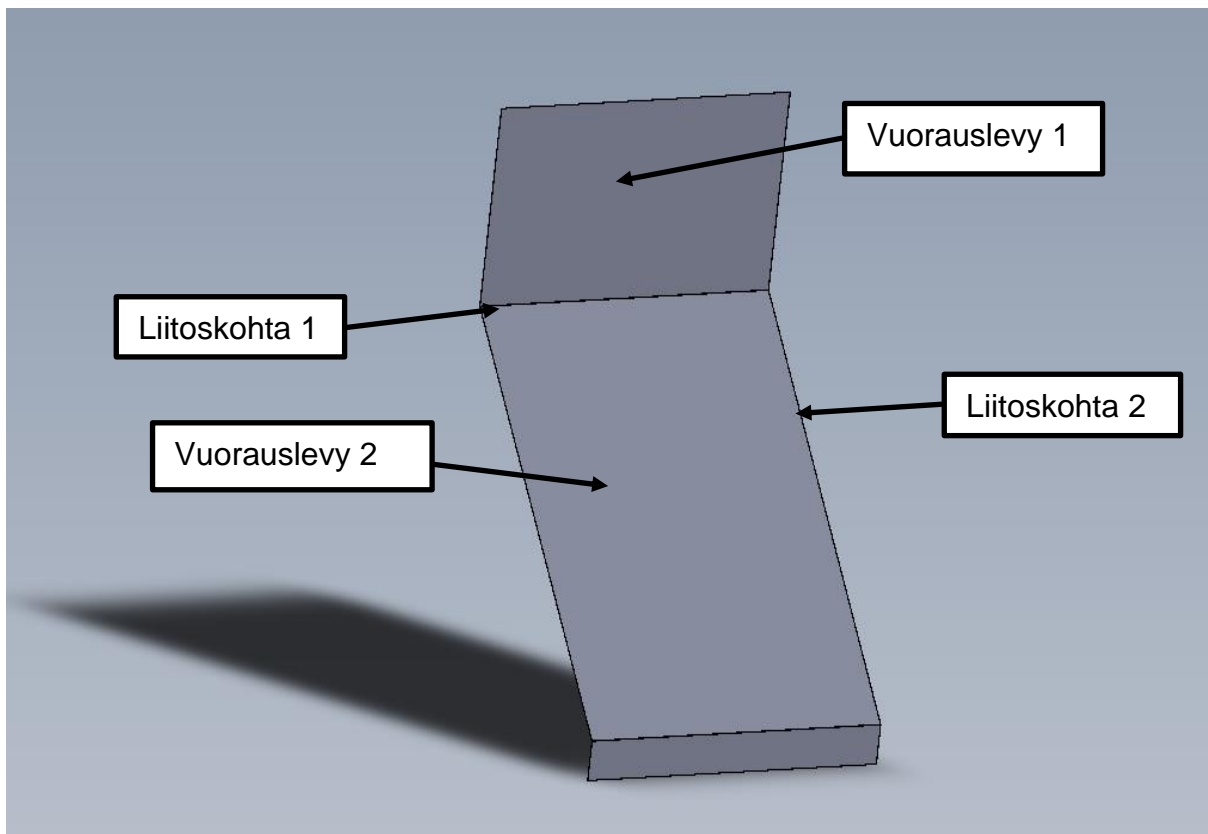
missä p kuvaa osan haluttua suorituskykyä (esim. paino, tilavuus, kustannus) Käytännössä yllä oleva yhtälö on hajautettavissa toisistaan riippumattomiin tekijöihin. (Airila 1995, 100.)

$$p = f_1(F) \times f_2(G) \times f_3(M)$$

jossa  $f_1$ ,  $f_2$  ja  $f_3$  ovat funktioita. Jos ryhmät ovat toisistaan riippumattomia, paras materiaali voidaan valita huomioon ottamatta rakenteen muotoa tai toiminnollisia vaatimuksia. Luonnollisesti tämä on melko karkea yksinkertaistus, mutta toimiva kokonaisuus ajatellen yksinkertaisia kokonaisuuksia. (Airila 1995, 100.)

### 6.3 Liitosvaihtoehdot

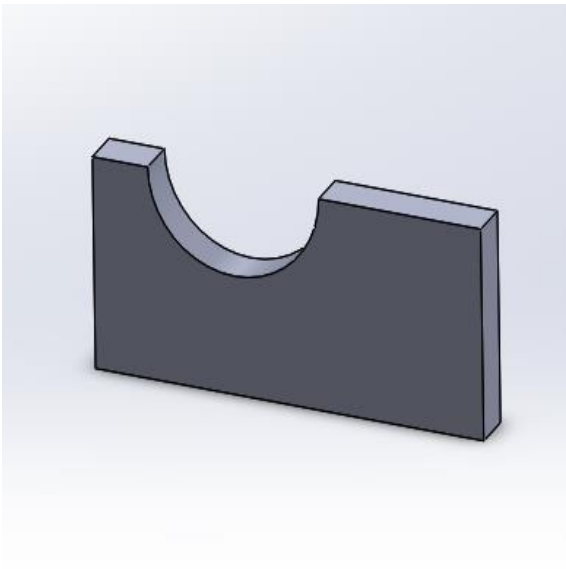
Saumateknillisesti vuorauslevyn liitoskohdat olisi mahdollista tiivistää epoksi- tiivistysmateriaalilla tai tefloni-tiivistenauhalla. Liitoskohtien saumaväli on minimissään 1 millimetriä. Tiivistysmateriaalin valinnassa otetaan huomioon sen toimivuus liitostiiviydessä. Yhtenä vaihtoehtona voidaan hyödyntää pystyliitosten hitsausta (kuva 6 liitoskohta 2). Hitsausmenetelmänä käytetään TIG-hitsausta koska silloin minimoidaan valmiin hitsin hitsikuvun korkeutta, mikä tässä tilanteessa on suurin ongelmanaiheuttaja pulverisoinnin valmistuksessa. Vuorauslevyjen 1 ja 2 välinen vaakaliitoskohta 1 tiivistetään ohuella tefloni-tiivistenauhalla koska vaakaliitoskohta tulee olemaan irrallinen saranamekanismin vuoksi.



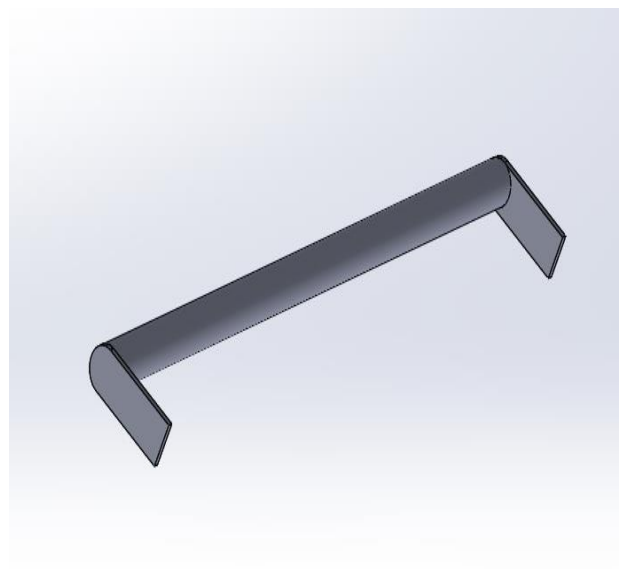
**Kuva 6.** Vuorauslevyelementti

## 6.4 Saranamekanismi

Teräskehikko asennetaan rakeistuskammion sisälle saranamenetelmällä. Teräskehikkoa ei itsestään hitsata kiinni kammion runkoon vaan teräskehikko itsestään on irrallinen ja kiinnitys tapahtuu teräskehikon yläpäästä saranamekanismin avulla. Tällä tavalla saadaan ns. leijuva vuoraus, joka pääsee olemaan irrallaan rakeistuskammion rungosta, joten tämä menetelmä poistaa turhia mekaanisia jännityksiä. Tankokomponentti, joka näkyy (kuvassa 8), liitetään teräskehikkoon hitsaamalla. Lattakomponentti mikä näkyy (kuvassa 7), liitetään rakeistuskammion seinälle hitsaamalla. Hitsausmenetelmänä käytetään puikkohitsausta.



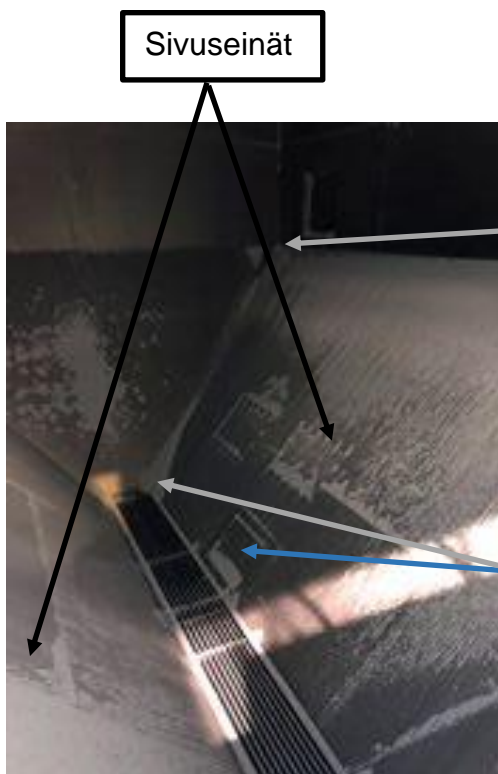
**Kuva 7.** Lattakomponentti



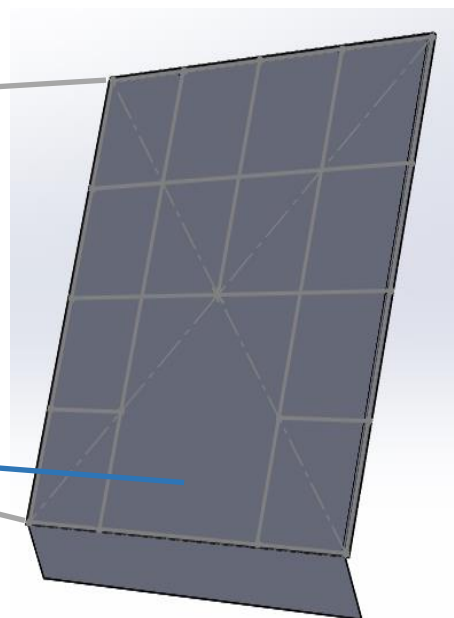
**Kuva 8.** Tankokomponentti

## 6.5 Vuorausmoduuli

Vuorausmoduuleita tulee olemaan yhteensä 6 kappaletta rakeistuskammiossa, 3 kappaletta kummallakin sivuseinällä. Ensimmäiseksi vuorausmoduulin rakenteessa otetaan huomioon rakeistuskammion käytössä oleva huolto- ja miehistöluukku (kuva 9 ja 10 sininen nuoli). Harmaat nuolet (kuvissa 9 ja 10) osoittavat vuorausmoduulin nurkkakohteet. Mustat nuolet osoittavat rakeistuskammion sivuseiniä. Yksittäisen vuorausmoduulin mitat ovat 1830 mm x 3100 mm.



**Kuva 9.** Rakeistuskammio



**Kuva 10.** Vuorauslevymoduuli

## **7 ASETETUT VAATIMUKSET**

Tämän työn asetetut vaatimukset ovat, että saadaan rakeistuskammio sisältä mahdollisimman saumattomaksi mikä taas poistaa pulverin kasautumisen rakeistuskammion seinille eikä aiheuta sinkkilevy muodostumisen vaaraa. Vaatimuksena on helpottaa myös työergonomiaa liittyen rakeistuskammion puhdistukseen.

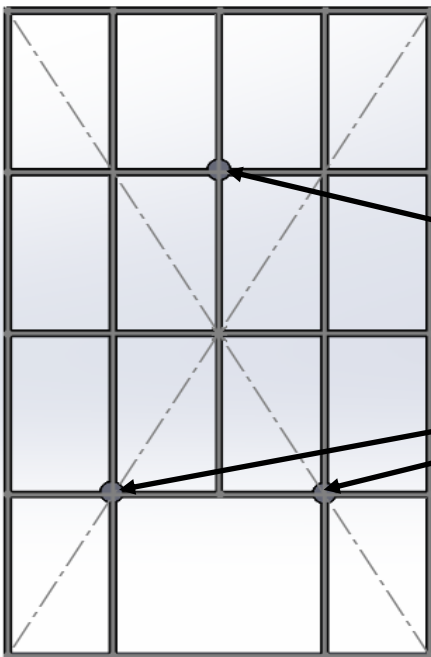
### **7.1 Tehdyt ratkaisut ja valinnat**

Rakeistuskammion runko on kokonaan kantava rakenne, joten siihen voidaan liittää teräskehikko käyttäen pätkähitsausmenetelmää, jolla saadaan teräskehikon saranamekanismi liitettyä rakeistuskammion runkoon. Pätkähitsausmenetelmää käytetään (kts kuva 8) vuorauslevyjen liittämiseen teräskehikkoon. Puikkohitsausta käytetään teräskehikon saranamekanismin kiinnittämiseen rakeistuskammioon. Materiaaleina käytetään teräskehikon osalta S355 30x30 2.6 mm putkipalkkiprofiilia. Vuorauslevyn materiaalina käytetään ruostumatonta (1.4301) 1.5 mm vahvuista teräslevyä.

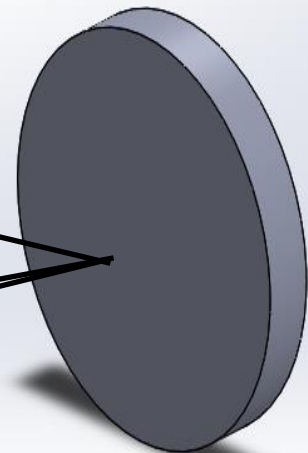
Teräskehiksen lohkon asennetaan terästyynykiekot, jotka helpottavat rakeistuspulverin valumisen syöttöruuville, kun käytetään tärylaitetta. Tärylaitteet asennetaan rakeistuskammion ulkopuolelle sivuseinille kiinnitettynä. Tärylaitteen ominaisuudet, tarkoituksena on toimia kuten kumivasara tai kolistelija. Rakeistuskammion tärylaitteiksi valitaan paineilmakäyttöiset sen takia, että paineilmaa on hyvin saatavilla rakeistamossa. Tärylaitemalli, joka valittiin, on Netter Pneumatic Linear Vibrators NTP sarjan laite.

### 7.1.2 Terästyynykiekot

Terästyynykiekkojen halkaisija on 100 mm ja vahvuus on 10 mm (S355 J2H). Terästyynykiekot liitetään teräsristikkoon hitsaamalla. Yhteen teräsristikkoon asennetaan 3 terästyynykiekkoa kuten (kuvassa 12) on esitetty. Rakeistuskammion sivu-ulkoseinille asennetaan terästyynyjen kohdille NTP sarjan tärylaitteet. Ulkoseinille asennetaan tärylaitteille sopivat korokkeet jotka, mahdollistavat parhaimman iskuhyötysuhteen. (NTP-koputtajat)



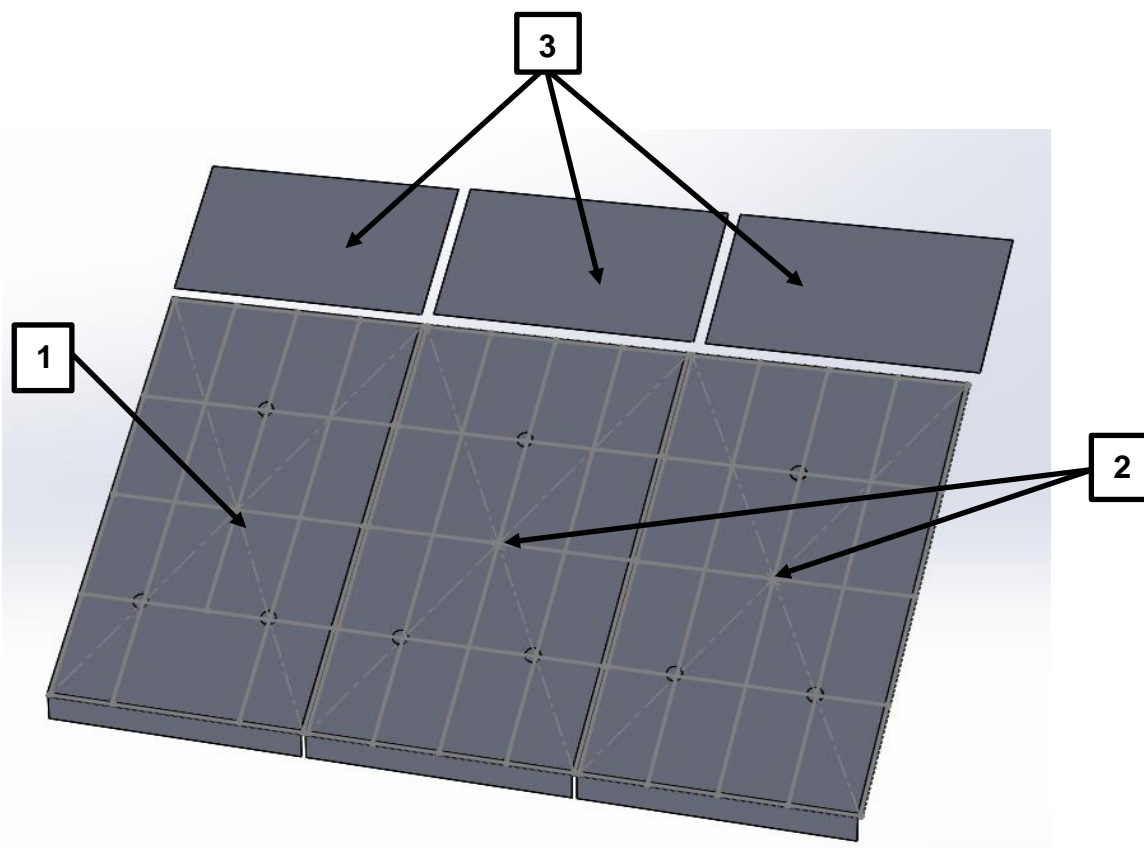
**Kuva 12.** Teräskehikko



**Kuva 13.** Terästyynykiekko

### 7.1.3 Kokoonpanokuva

(Kuva 14) esittää rakeistuskammion sisälle tulevan vuorauksen kokoonpanon. Moduuli, joka on merkitty (viitenuolella numero 1), on huolto ja miehistöluukulle asennettava vuorausmoduuli. Tämä vuorausmoduuli poikkeaa hieman muista moduuleista siitä syystä, että teräsristikon rakenteessa otetaan huomioon huolto/miehistöluukun sijainti. Muut vuorausmoduulit numero 2 ovat identtisiä, ja niitä on 5 kappaletta ilman mitään rakennemuutoksia. Rakeistuskammion sisälle tulee yhteensä 6 vuorausmoduulia. Ylävuorauslevyt numero 3 ovat identtisiä ja irrallisia ja niitä asennetaan rakeistuskammion sivupystyseinille 6 kappaletta. Kiinnitys suoritetaan vuorauslevyjen yläreunasta pätkähitsaus menetelmällä.



**Kuva 14.** Kokoonpanokuva

#### 7.1.4 Materiaalitarpeet

Rakeistuskammion mitat mihin vuorausta tullaan tarvitsemaan, on ylävuorauslevyihin 1830 mm x 1000 mm x 6. Rakeistuskammion vuoraukseen tulevien vuorausmoduuleihin tarvittava kokonaismateriaalimäärä on, 1830 mm x 3100 mm x 6.

Ruostumattoman teräslevyn (1.4301) vahvuus 1.5 mm kokonaismäärä neliöinä bruttona on:

$$\text{Ylävuorauslevy} = 11 \text{ m}^2$$

$$\text{Vuorausmoduuli} = 35 \text{ m}^2$$

$$\text{Kokonaismäärä} = 46 \text{ m}^2$$

Ruostumattoman teräslevyn (1.4301) vahvuus 1.5 mm kokonaispainomäärä kiloina bruttona on:

$$\text{Ylävuorauslevy } 11 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ mm} \times 8 \text{ kg/mm}^3 = 132 \text{ kg}$$

$$\text{Vuorausmoduuli } 35 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ mm} \times 8 \text{ kg/mm}^3 = 420 \text{ kg}$$

$$\text{Kokonaismäärä} = 552 \text{ kg}$$

Teräsristikkoon tarvittava putkipalkki (S355 J2H) 30 mm x 30 mm x 2.6 mm kokonaismäärä metreinä bruttona on: 150 m

Teräsristikkoon tarvittavan putkipalkin kokonaismäärä kiloina bruttona on:

$$(30 \text{ mm} - 2.6 \text{ mm}) \times 2.6 \text{ mm} \times 0.0316 \text{ kg} = 2.25 \text{ kg/m} \text{ eli yksi metri } 30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 2.6 \text{ mm:stä putkipalkkia painaa } 2.25 \text{ kg.}$$

$$\text{Kokonaismäärä tällöin on } 2.25 \text{ kg/m} \times 150 \text{ m} = 337.5 \text{ kg.}$$

Yhden vuorausmoduulin nettopainoksi saadaan laskemalla:

Moduulin ristikko-osuus.

$$1830 \text{ mm} \times 5 = 9150 \text{ mm} = 9.2 \text{ m}$$

$$3100 \text{ mm} \times 5 = 15500 \text{ mm} = 16 \text{ m}$$

Yhteensä n. 25 metriä

Tällöin painoksi saadaan.

$$2.25 \text{ kg/m} \times 25 \text{ m} = 56.25 \text{ kg}$$

Moduulin vuorausosuus.

$$1830 \text{ mm} \times 3100 \text{ mm} = 5673000 \text{ mm}^2 = 5.7 \text{ m}^2$$

Yhteensä n. 5.7 m<sup>2</sup>

Painoksi saadaan.

$$5.7 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ mm} \times 8 \text{ kg/mm}^3 = 68.4 \text{ kg}$$

Yhden vuorausmoduulin nettopainoksi saadaan.

$$68.4 \text{ kg} + 56.25 \text{ kg} = \text{n. } 125 \text{ kg}$$

Ylävuorauslevyn nettopaino lasketaan.

$$1830 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} = 1830000 \text{ mm}^2 = 1.83 \text{ m}^2$$

$$1.83 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ mm} \times 8 \text{ kg/mm}^3 = \text{n. } 22 \text{ kg}$$

## 8 LOPPUPÄÄTELMÄT

Haastavaksi rakeistusammion vuoraukselle tekevät ammion mittasuhteet ja vuorauskomponenttien rakennemuutosten haalaaminen itse modernisointikohteeseen. Itse rakeistusammiossa ei ole suuria aukkoja, josta saataisiin materiaalit vietyä ammion sisälle. Tämä on kumminkin otettu huomioon modernisoinnin suunnitteluvaiheessa. Punnittiin eri vaihtoehtoja, kuinka saadaan vuorauskomponentit vietyä korjauskohteeseen. Yhtenä vaihtoehtona pidettiin rakeistusammion sivuseinälle leikattua asennusaukkoa, joka suljetaan modernisointityön valmistumisen jälkeen.

Materiaalivaihtoehtojen tarkastelussa tutkittiin tarkasti eri lähteistä mikä materiaali olisi soveltuva tähän kohteeseen. Päädyttiin harjaamattoman ruostumattoman (1.4301) sileän teräslävyyn. Päätös syntyi tutkimuksen ja olemassa olevien ammioden vuorausratkaisusta ja niiden toimivuuden tarkastelusta. Välirungon materiaaliksi valittiin 30 mm x 30 mm x 2.6 mm kokoista putkipalkkia (S355 J2H) Tämä sen takia, koska rakeistusammion runko on kokonaan rakennettu S355:n rakenneteräksestä, joten tällöin on helppo liittää saranamekanismi, jolla liitetään vuorausmoduulin kehikko rakeistusammion sivuseinälle.

Ajatuksena on, että myös uusien vuorausmoduulien asennusvaiheessa voidaan määrittellä rakeistusammion sivuseinien jyrkkyysaste, mikä edesauttaa rakeistuspuhkeuden jouhevan siirtymisen ammion seiniltä kohti syöttöruuvia, joka toimittaa rakeistuspuhkeuden elevaattorin kautta kohti varastosiiloja.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli, että saadaan yhdessä tutkittua eri vaihtoehtoja rakeistusammion epäkohtien poistamiseen mikä hyödyttää myös työergonomisesti. Tutkimuspohjalta tämän työn mielekkyys liittyi tiedon keräämiseen eri näkökohdista. Tutkimuspohjalta tämän työn vieminen eteenpäin oli välillä erittäin haastavaa. Suurin haaste oli löytää tarpeeksi teoriaa liittyen rakeistukseen. Suuret kiitokset annan Bolidenin henkilöstölle, jotka auttoivat tiedon saannissa.

Itse rakeistusammion modernisoinnin suhteen näen sen mahdollisuuden, että tällä opinnäytetyöllä on hyötyä mahdolliseen käytännön kokeiluun ja toimivuuden takaamiseen uudella vuo-

rausmenetelmällä. Uutena ajatuksena meille tuli, että voidaan kokeilla ja suunnitella ns. leijuvaa vuorausmoduulin käyttöä, jolloin kolistelijoiden täryvoimaa ei tarvita niin paljon rakeistus-pulverin viemiselle kohti syöttöruuvia.

Itse kun aloitin rakentamaan runkoa tälle opinnäytetyölle, oli itselläni aivan erilainen visio tämän opinnäytetyön lopputuloksesta. Mitä enemmän aloin etsimään mekaanista teoriaa tutkimuspuolelle sitä enemmän aloitin muuttamaan rakennetta tämän opinnäytetyön rakennetta. Itseleni suurin hyöty minkä löysin, oli uusien mekaniikkaa liittyviin asioihin tutustuminen ja, jota tulen hyödyntämään tulevaisuudessa.

## LÄHTEET:

Airila, M. 1995. Koneenosien suunnittelu. 2. tarkistettu painos. WSOY-kirjapainoyksikkö Porvoo. Viitattu 25.3.2021

Boliden Kokkola. Sulatot. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola>. Viitattu 12.11.2020

Knüpfer, S & Puttonen, V. 2018. Moderni rahoitus. 10. uudistettu painos. Alma Talent Oy ja tekijät. Viitattu 2.2.2021

Launis, M & Lehtelä, J. 2006. Ergonomiaopas. 2. painos. Vammalan kirjapaino Vammala. Viitattu 3.4.2021

Luomanen, J. 2020. Rakeistusteknologian selvitystyö. Boliden Kokkola sisäinen raportti. Viitattu 10.3.2021

NTP-koputtajat. NTP esite. Saatavissa: <https://tarylaite.fi/tuotteet/ntp/> Viitattu 3.4.2021

MIG/MAG-hitsaus. Esabin osaamiskeskus. Saatavissa: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm>. Viitattu 17.2.2021

Mäkelä, A. 2020. Rakeistuksen käyttöohje. Boliden Kokkola sisäinen ohjekirja. Viitattu 12.2.2021

Mylykangas, K. 2020. Luennot. Viitattu 23.2.2021

Pettinen, R & Witting, L. 2004. Hitsauksen materiaalioppi. 1 painos. Oriveden Kirjapaino. Viitattu 14.4.2021

Puikko-hitsaus. Esabin osaamiskeskus. Saatavissa: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/puikko-hitsaus.cfm>. 17.2.2021

Tig-hitsaus. Esabin osaamiskeskus. Saatavissa: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/tig-hitsaus.cfm>. Viitattu 17.2.2021