

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2018

Joel Hytönen Rivero

# KOVAMETALLIPRÄSSIEN AUTOMATISOINTI

– Kovametallin ja jauheen sekoittaminen

Joel Hytönen Rivero

# KOVAMETALLIPRÄSSIEN AUTOMATISOINTI

## - Kovametallin ja jauheen sekoittaminen

Työn tavoitteena oli kehittää Turvanasta Oy:n kovametallituotantoa edistämällä kovametalliprässien automatisointia. Automatisoinnin kohteena oli kovametallitappien sekoittaminen jauheeseen ennen sintraamista. Ideaalissa sekoituksessa tapit eivät liimaudu toisiinsa sintrauksessa eivätkä hajoa sekoituksessa. Sekoitusmenetelmiin perehdyttiin sekä käytännön että teorian tasolla.

Erialaisten sovellusten toimivuutta testattiin ja verrattiin työntekijöiden tuloksiin. Testit suoritettiin tuotannon tiloissa toistamalla testit kullakin laitteella identtisesti. Työssä testattiin kolmea erilaista ratkaisua. Yksi hylättiin heti, toinen testattiin pienien muutoksien jälkeen ja kolmas tuotiin uutena ideana testaukseen. Testituloksissa verrattiin epäkeskosekoittimen ja sekoituslingon tuloksia työntekijän tulokseen.

Tulosten perusteella soveltuvaksi sekoittimiseksi valittiin sekoituslinko, joka hyödyntää pyörivän astian sekoitustekniikkaa. Sekoituslingosta suunniteltiin sovellus SolidWorks-ohjelmalla. Sekoituslinko tuotiin uutena ideana, joten sitä tullaan kehittämään jatkossa.

## ASIASANAT:

jauhemetallurgia, kovametalli, automaatio, sekoitus.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Machine and production technology

2018 | 25

Joel Hytönen Rivero

## HARD METAL PRESS AUTOMATION

- mixing hard metal with powder

The purpose of this thesis is to improve Turvanasta OY hard metal production by focusing in the press automation. The target of the automation is mixing fragile hard metal pieces with a certain powder before sintering process. In the ideal mixture the pieces do not attach to each other in the sintering process and do not break in the mixing process. Mixing methods were investigated in both theory and in practical levels.

Different applications were tested and compared to Turvanasta employees' results. Tests were carried out within ordinary production conditions and were repeated identically with each application. Three different solutions were tested. The first one was rejected immediately. The second was tested after some modifications and third one was brought as a new idea. Test results show difference between an employee, an eccentric mixer and a rotary mixer.

Based on results the rotary mixer was chosen as the most suitable option. The application was designed with SolidWorks. The rotary mixer was brought as a new idea so it will be developed further in future.

KEYWORDS:

powder metallurgy, hard metal, automation, mixing

# SISÄLTÖ

<b>SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 LÄHTÖTIETOJA JA SOVELLUKSIA</b>	<b>8</b>
2.1 Valmistusmenetelmä	8
2.2 Tärypöytä	9
2.3 Epäkeskopöytä	10
2.4 Sekoituslinko	11
<b>3 SEKOITTAMINEN</b>	<b>13</b>
3.1 Sekoitusmenetelmät	13
3.2 Epäkeskosekoitin	14
3.3 Sekoituslinko	15
<b>4 SOVELLUKSIEN TESTAUS</b>	<b>18</b>
4.1 Testiympäristö epäkeskopöydälle	18
4.2 Sekoituslingon testiympäristö	18
4.3 Datan kerääminen	20
<b>5 TULOSTEN ANALYSOINTI</b>	<b>21</b>
5.1 Tulokset	21
5.2 Vertailu	22
<b>6 POHDINTA</b>	<b>24</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>25</b>

## KUVAT

Kuva 1. Tapit voivat liimautua toisiinsa monella eri tavalla.	9
Kuva 2. Luonnos tärypöydästä.	10
Kuva 3. Epäkeskosekoitin.	10
Kuva 4. Sekoitusslinko.	11
Kuva 5. Kuljetin voidaan asettaa suoraan astiaan.	12
Kuva 6. Jauheen tunkeutuminen. (Richard H. 2002, 123).	13
Kuva 7. Epäkeskosekoittimeen vaikuttavat voimat.	14
Kuva 8. Astiaan vaikuttavia voimia. Kulmat ja luonnokset ovat kuvitteellisia.	15
Kuva 9. Poikkileikkaus sekoituksesta.	16
Kuva 10. Ämpäristä leikattu astia.	19

## TAULUKOT

Taulukko 1. Ratkaisujen hyvät ja huonot puolet.	23
---	----

## KUVIOT

Kuvio 1. Tuplien määrät verrattuna työntekijään.	21
--	----

## SANASTO

Frouden luku	Virtausmekaniikassa nesteosaseen vaikuttava inertiavoiman ja painovoiman suhteen neliöjuuri. Frouden luku $> 1$ häiriön aiheuttama aalto ei voi edetä vastavirtaan. Frouden luku $< 1$ häiriön aiheuttama aalto voi edetä vastavirtaan. (Rapp 2017, 243–263).
Jauhemetallurgia	Hyödyntää sintraamista esimerkiksi kovametalli tuotannossa. (EPMA 2018)
Kovametalli	Metallimatriisikomposiitti, joka omaa erittäin korkean kovuuden ja hyvän kulumisenkeston. (Davis, J.R. 2001, 573)
Sintraus	Menetelmä, jossa lämpötila nostetaan alle sulamispisteen, jolloin materiaali puristuu lopulliseen muotoonsa. Käytetään jauhemetallurgiassa. (EPMA 2018)

# 1 JOHDANTO

Työssä kehitetään kovametallituotannon manuaalisesti toteutettua sekoitusvaihetta. Tavoitteena on lisätä automaatiota kovametallin prässäyksen jälkeen. Ratkaisu tehdään yhdessä Turvanastan henkilökunnan kanssa.

Kovametallituotanto tapahtuu lähes kokonaan manuaalisesti lukuun ottamatta varsinaista prässäysvaihetta. Työprosessiin kuuluu materiaalin lisääminen prässäiin, prässäys, hauraiden kovametallitappien kerääminen astiaan, sekoitusvaihe, lavaus, sintraus, jäähditys ja lajittelu. Suunniteltava automatisointi koskee prässäyksen ja sintraamisen välisiä vaiheita.

Materiaalia lisätään prässäiin nosturin avulla, jonka jälkeen prässillä voidaan ajaa ohjelma. Ohjelma loppuu, kun ensimmäinen annos on valmis (grafiittia täynnä). Tämän jälkeen grafiittilaivaan lisätään jauhe, joka sekoitetaan kovametallitappeihin niin, etteivät tapit kosketa toisiaan ja liimaudu sintrauksessa. Sekoitusvaiheen päätyttyä astia lavataan kärrylle, joka siirtyy sintrausvaiheeseen sen ollessa täynnä. Prosessiin liittyy myös prässin puhdistaminen, mutta se on irrallinen osa varsinaisesta automaatioprosessista, johon työssä keskitytään.

Suunnittelu painottuu prosessin suurimpaan ongelmakohtaan, joka on sekoitusvaihe. Sekoittaminen tehdään heiluttamalla laivaa käsin samalla lisäten jauhetta. Jauheen tarkoitus on tunkeutua kovametallitappien väliin ja estää niiden liimautuminen kahden tai useamman tapin ryppäiksi. Nykyinen prototyyppi käyttää kahta tärymoottoria ja jousitettua alustaa. Sovelluksen ongelma on tappien ja hiekan tiheyserot, joka saa aikaan materiaalin ajautumisen astian nurkkiin.

Suunnittelun tavoitteena on löytää ratkaisuja automatisoinnille ja tulevaisuudessa tehostaa tuotantoa ja helpottaa työtä sen tekijöille.

## 2 LÄHTÖTIETOJA JA SOVELLUKSIA

Prässäyksessä käytettävät laivat ovat laatikon muotoisia, ja ne on tehty grafiitista. Grafiittilaivaan mahtuva tappiannos täyttää karkeasti puolet laivan tilavuudesta. Tyhjän laivan paino vaihtelee kuluman ja iän mukaan, ja täyden laivan paino riippuu tuotteesta. Laivat voidaan täyttää yläpintaan asti kokonaan jauheella. Määrät ja painot vaihtelevat eri tuotteilla ja eri laivoilla. Jauheen tunkeutuminen on hankalinta tuotteiden ollessa tasapintaisia ja kevyitä, sillä tällöin yksittäisen tappien kitkan vaikutus on suurimmillaan ja massa jää helposti yhtenäiseksi. Myös hiekan laatu vaikuttaa huomattavasti lopputulokseen.

Jauheen ja tappien suhde toisiinsa tulee olla optimoitu sekoituksen kanssa. Parhaan tuotannollisen hyötysuhteen saavuttamiseksi on edullista pitää tappien määrää mahdollisimman suurena. Tappimäärän kasvaessa sekoittaminen vaikeutuu ja hävikki kasvaa.

Prässien ohjelmat ovat pitkiä, joten sekoitusvaiheelle ja lavaukselle on runsaasti aikaa. Prässejä on useita, joten laitteisto pitää joko monistaa tai keskittää.

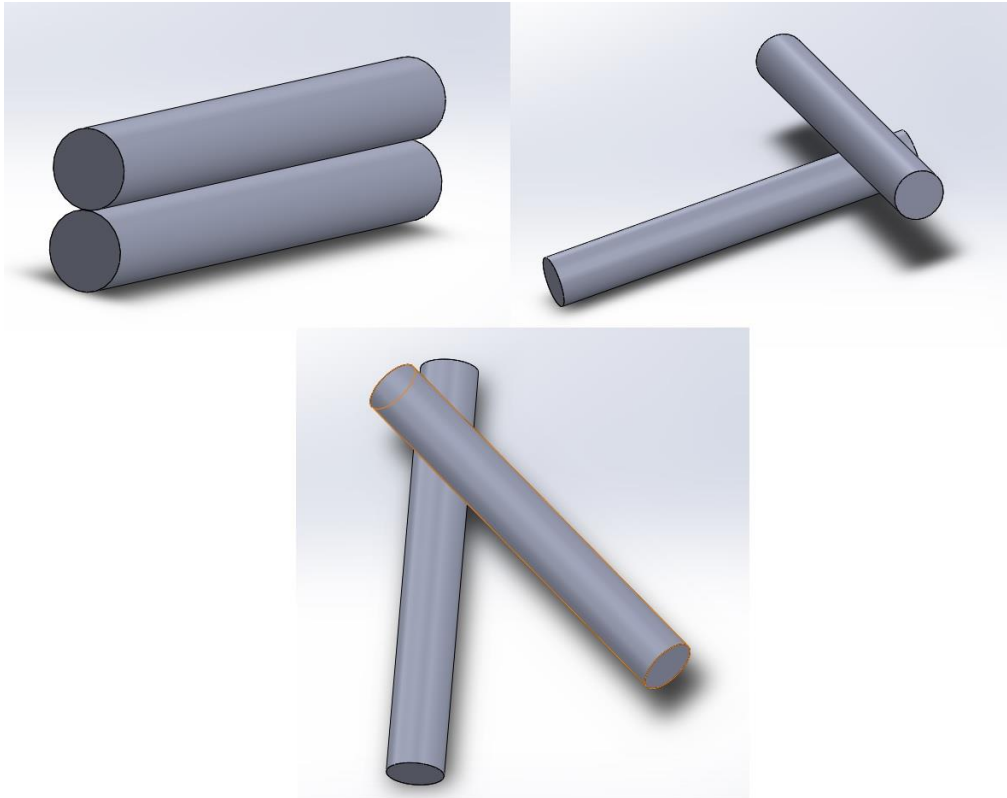
### 2.1 Valmistusmenetelmä

Kovametallitappien valmistuksessa hyödynnetään jauhemetallurgiaa. Jauhemetallurgia on yleisnimitys tekniikoille, joissa käytetään sintrausta. (EPMA 2018). Jauhemetallurgisilla valmistusmenetelmällä saavutetaan ominaisuuksia, joita ei muulla tavalla voida tehdä, kuten esimerkiksi haluttu huokoisuus tai magneettikentän suuntautuneisuus. Menetelmällä saavutetaan pienempi materiaalihukka ja valmis kappale yhdellä työvaiheella. Myös materiaalin laatu on tasaisempaa.

Kovametallitappien kovuuden vuoksi niiden valmistaminen on vaikeaa ilman sintrausta. Sintraamisessa lämpötila nostetaan sulamispistettä alempaan lämpötilaan. Sintrauksen vaikutuksesta tapit puristuvat lopulliseen lujaan muotoonsa.

Sintrauksen jälkeen tapit erotellaan jauheesta. Tappien liimautuminen tapahtuu, kun kaksi tasaista tapin pintaa koskettaa toisiaan. Jauheen tarkoitus on tunkeutua tappien väliin ja estää tämä ilmiö.





Kuva 1. Tapit voivat liimautua toisiinsa monella eri tavalla.

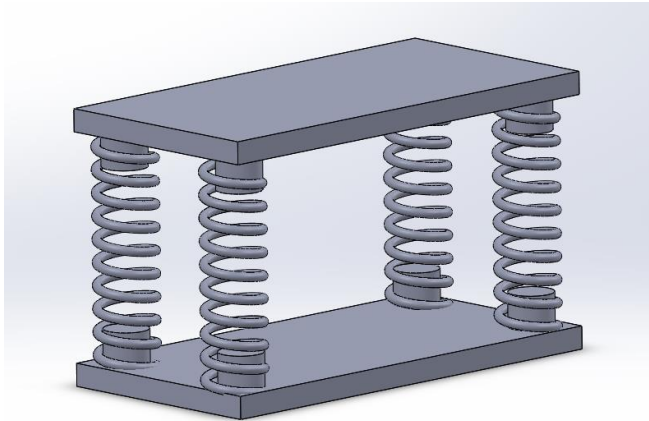
Manuaalinen sekoittaminen vaatii työntekijöiltä rutinoitunutta tekniikkaa, jonka kehittäminen saattaa kestää useita viikkoja. Lisäksi täysien laivojen käsittely on raskasta ja vaikeaa. Uusien työntekijöiden kouluttaminen nostaa hävikin määrää huomattavasti ja vaihtelevuus laadussa riippuu työntekijästä toiseen. Automatisoidun sekoittamisen tavoite on vakioida hävikki mahdollisimman lähelle työntekijän tulosta, jotta vaihtelevuus saadaan pieneksi ja työtä saadaan helpommaksi.

## 2.2 Tärypöytä

Tärypöytä on rakennettu tukialustasta, jonka päällä kannatellaan laivalle tarkoitettua telinettä neljällä jousella tuettuna jokaisesta kulmasta. Telineen pohjaan on asennettu kaksi tärymoottoria, jotka ovat ohjelmoitu pyörimään vastakkaisiin suuntiin.

Sovelluksen toiminta on epävakaata ja vaikeasti hallittua. Tärinä saa aikaiseksi poikkeuksetta hiekan ajautumista x-suuntaan. Testeissä huomattiin myös, että hiekka ja tapit hylkivät toisiaan eri tiheyksistä johtuen.

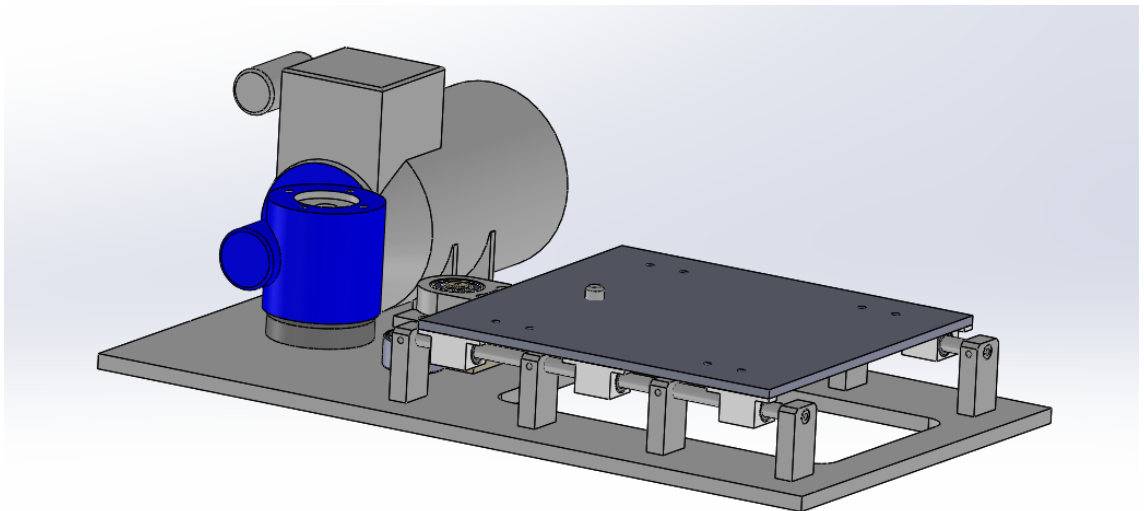
Tärypöydän todettiin olevan sopimaton tarkoitukseen.



Kuva 2. Luonnos tärypöydästä.

### 2.3 Epäkeskopöytä

Sekoituspöytä liikuttaa laivaa lineaarisesti x-suunnassa edestakaisin. Moottorin nopeutta säädetään taajuusmuuntajalla sopivaksi. Laitetta käytetään jatkuvalla liikkeellä tai vaihtoehtoisesti muutaman sekunnin ohjelmalla. Sekoitus suoritetaan lisäämällä hiekkaa ja käyttämällä konetta vuorotellen, kunnes astia on täynnä.



Kuva 3. Epäkeskosekoitin.

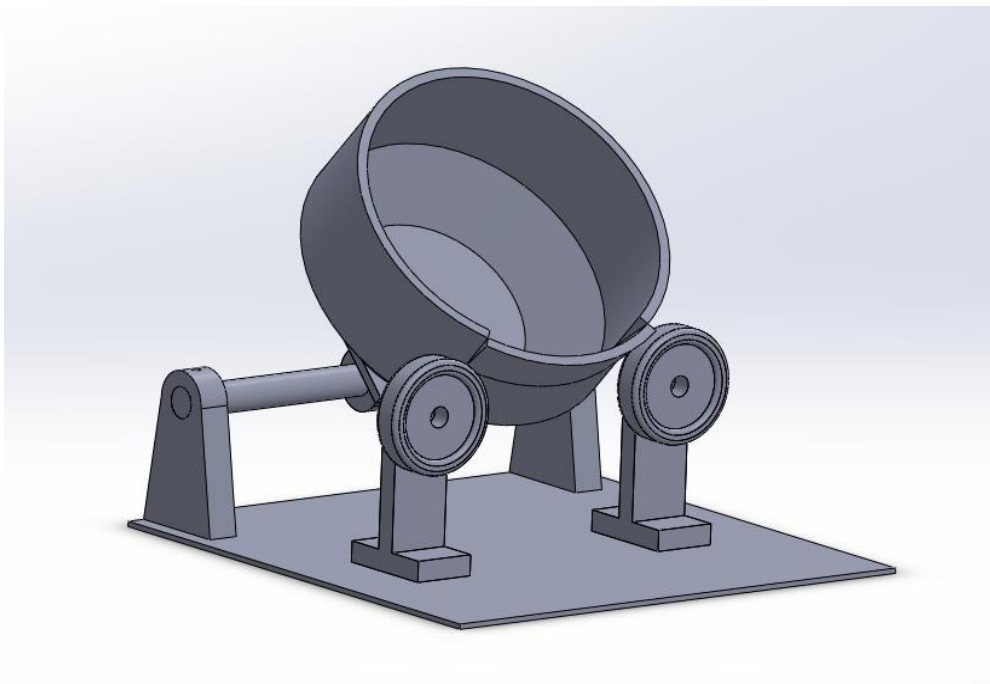
Laite on helppo käyttää ja sijoittaa tuotantolinjoille. Sekoitus tapahtuu suoraan grafiittiastiassa, joka helpottaa tappien ja jauheen käsittelyä. Laitteen tulee olla pultattu kiinni vakaalle alustalle ylimääräisen heilumisen estämiseksi.

Laitteeseen lisättiin myös sivusuuntainen liike, mutta se todettiin sopimattomaksi hiekan ajautumisen vuoksi. Pyörivä liike aiheutti sentrifugin, jonka vuoksi tiheämpi materiaali ajautui ulkokehälle.

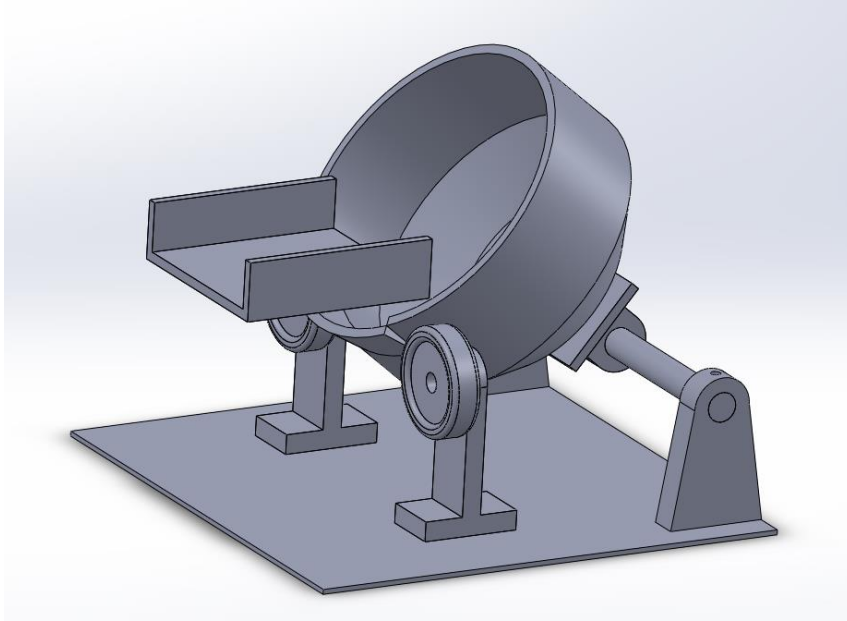
## 2.4 Sekoituslinko

Uutena ideana tuotu sekoituslinko käyttää hyväksi pyörivää liikettä. Suunniteltua laitetta ei rakennettu eikä testattu käytännössä, mutta teoriaa testattiin käytännössä nopealla väliaikaisratkaisulla.

Säiliö on kiinnitetty telakan päälle vapaaseen akseliin. Säiliö voi pyöriä vapaasti, ja se on mahdollista irrottaa tyhjennyksen tai huoltotoimenpiteen ajaksi. Säiliön sekoituskulmaa säädetään renkaiden telineen korkeuden ja etäisyyden avulla. Pyörimisliike tapahtuu pyörittämällä toista rengasta sähkömoottorilla. Säiliöön annostellaan täysilaivallinen tappeja ja hiekkaa, jolloin koko massa pyörii samanaikaisesti ja tyhjenetään sekoituksen jälkeen vastakkaiseen suuntaan kippaamalla.



Kuva 4. Sekoituslinko.

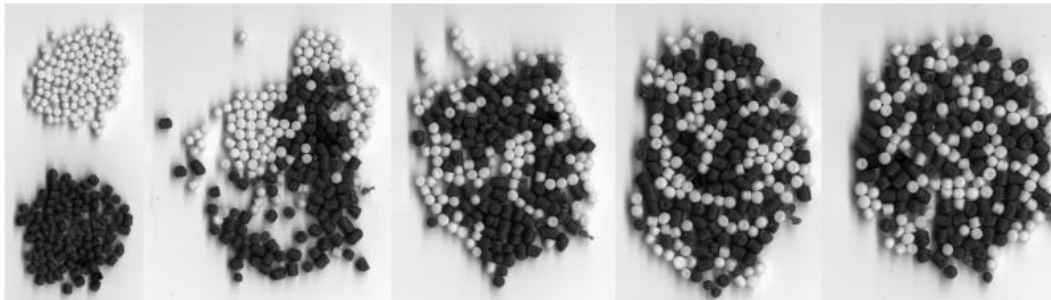


Kuva 5. Kuljetin voidaan asettaa suoraan astiaan.

Laitteen suunnittelussa otettiin huomioon sen sijoittaminen tuotantoon. Se voidaan asettaa suoraan prässin viereen, ja siihen voidaan tuoda tapit suoraan. Säiliö mahtuu pyörimään ja kääntymään telakan akselin ympäri esteettä. Säiliöön on lisätty taitos, joka helpottaa kippaamista laivaan. Säiliön sisäpinnat ovat tasaisia, jotta tapit eivät jäisivät jumiin tai ottaisivat iskuja epätasaisista pinoista. Säiliön pohjaan voidaan kiinnittää laakeroituja laippoja, jotka mahdollistavat pyörimisen ja kiinnittämisen.

### 3 SEKOITTAMINEN

Sekoittamisen tavoitteena on saada mahdollisimman satunnainen yhdistelmä. Sekoituksen asteeksi tavoitellaan jauheen tunkeutumista jokaisen tapin tasaisten pintojen väliin. Kuvan 6 mukaisesti jauheen tulee tunkeutua sopivissa määrin sekoitukseen. Työssä käytettävät sekoitustekniikat ovat sekoittaminen tärinän avulla, edestakainen liike epäkeskosekoittimella ja pyörivä liike sekoituslingolla.



Kuva 6. Jauheen tunkeutuminen. (Richard H. 2002, 123).

Sekoitukseen liittyviä keskeisiä tekijöitä ovat materiaalien tiheyserot, painot ja niiden väliset kitkat, sekoitusastian ja materiaalien välinen kitka, pyörimisnopeudesta syntyvä voima ja laitteen kiihtyvyyden aikaansaama voima. Sekoituksen tulee välttää äkillisiä iskuja, sillä vasta prässätty kovametalli hajoaa helposti. Sekoittamisen suurin ongelma on materiaalien väliset tiheyserot. Tiheämpi materiaali pyrkii pinnalle, jolloin toivottu tunkeutuminen ei toteudu.

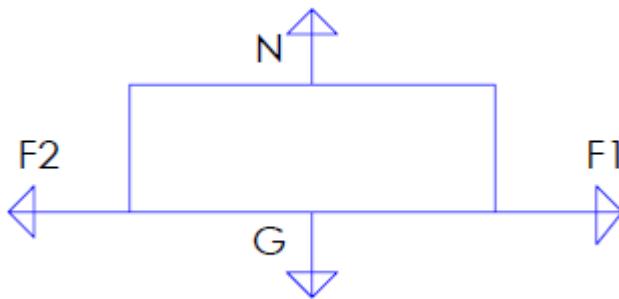
#### 3.1 Sekoitusmenetelmät

Sekoituslaitteen ja työntekijöiden työprosessista kerätystä datasta tarkastellaan hylkytappien yhteenlaskettua painoa. Koneen tavoite on vakioida hylkyjen määrä ja päästä määrässä mahdollisimman lähelle työntekijän suoritusta.

Kaikkia testituloksia verrataan työntekijöiden tulosten lisäksi toisiinsa. Tulosten perusteella valitaan tilastollinen malli, jolla kuvataan visuaalisesti tulosten eroavaisuuksia. Tilaston tulkitsemiseen käytetään Office Excel -ohjelmaa.

### 3.2 Epäkeskosekoitin

Epäkeskosekoittimessa pyörivän moottorin liike muutetaan suoraksi liikkeeksi tasossa  $x$ . Laitte soveltaa mekaniikan peruslakeja. Sekoitus tapahtuu kiihtyvyyden muutoksesta johtuen. Mitä nopeampi kiihtyvyyden muutos, sitä suurempi voima saadaan sekoitukseen. Fysiikan kaava  $F = ma$ , missä  $F$  on voima,  $m$  on massa ja  $a$  kiihtyvyys. Sekoitus perustuu kahden materiaalin eriävään painoon. Jauheen yksikön koko on hyvin kevyt verrattuna kovametallipuristeeseen, minkä vuoksi sen liike on paljon suurempi sekoituksessa. Tappien tulee liikkua vain sen verran, että jauhe pääsee tunkeutumaan väleihin. Kiihtyvyys on suurimmillaan silloin, kun liike vaihtaa suuntaa.



Kuva 7. Epäkeskosekoittimeen vaikuttavat voimat.

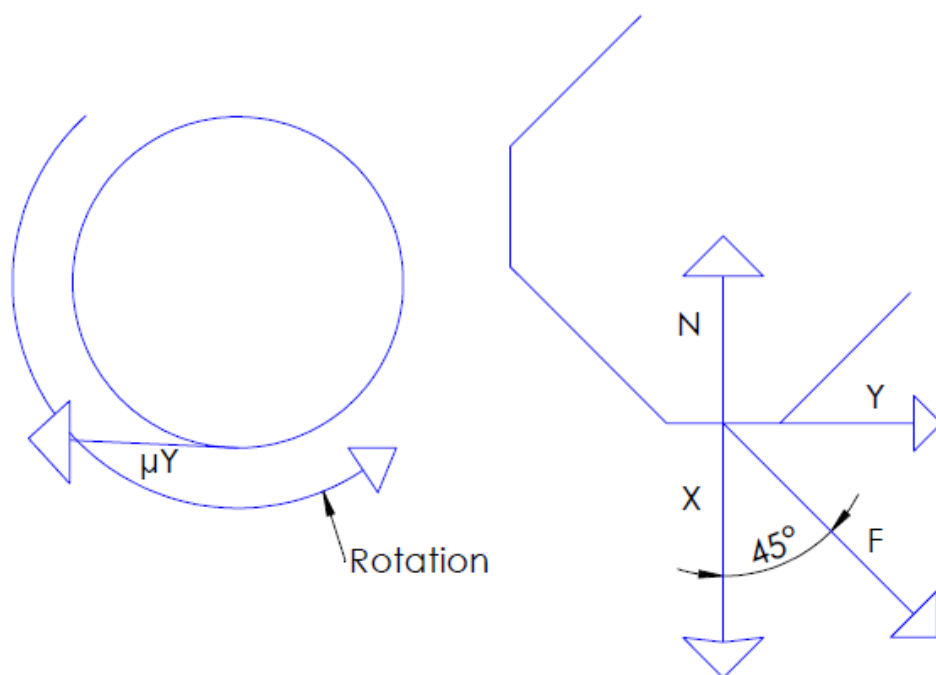
Kuvassa 7  $F2$  ja  $F1$  kuvaavat liikkeestä aiheutunutta voimaa.  $N$  ja  $G$  ovat kuvassa tukivoimat.

Astian paino kasvaa jatkuvasti sekoituksen edetessä asettaen vaatimuksia laitteelle. Liikkeen tulee säilyttää sekoittava vaikutus prosessin alusta loppuun. Ongelmana on astian täyttöaste. Jos vauhtia ylläpidetään samalla tasolla läpi prosessin, grafiitti astia vaatisi suojakannen, jotta jauhe ja tapit pysyisivät siinä. Jauhe leviää helposti laitteen toiminnassa, mikä aiheuttaa laitteessa toimintahäiriöitä ja mahdollisia rikkoja.

Asteittain täyttämällä voimaa on helpompi kontrolloida ja pohjan tappien sekoitus helpottuu. Sekoituksen toistuessa eri tiheydet saattavat hylkiä toisiaan, mikä on sekoittamisen kannalta epäedullista.

### 3.3 Sekoituslinko

Keskipakovoimaa käytetään paljon lääketieteellisyydessä lähinnä materiaalien erotteluun. Menetelmää voidaan soveltaa tappien ja jauheen sekoittamiseen optimoimalla sekoitusastian kulma ja pyörimisnopeus. Uusi sovellus käyttää myös betonimyllyjen toimintaperiaatetta. Massa nousee ylös säiliön seinämää, kunnes painovoima pakottaa sen putoamaan takaisin pohjalle. Sekoituksen tulee olla hellävarainen, jotta tapit eivät hajoa sekoituksessa.



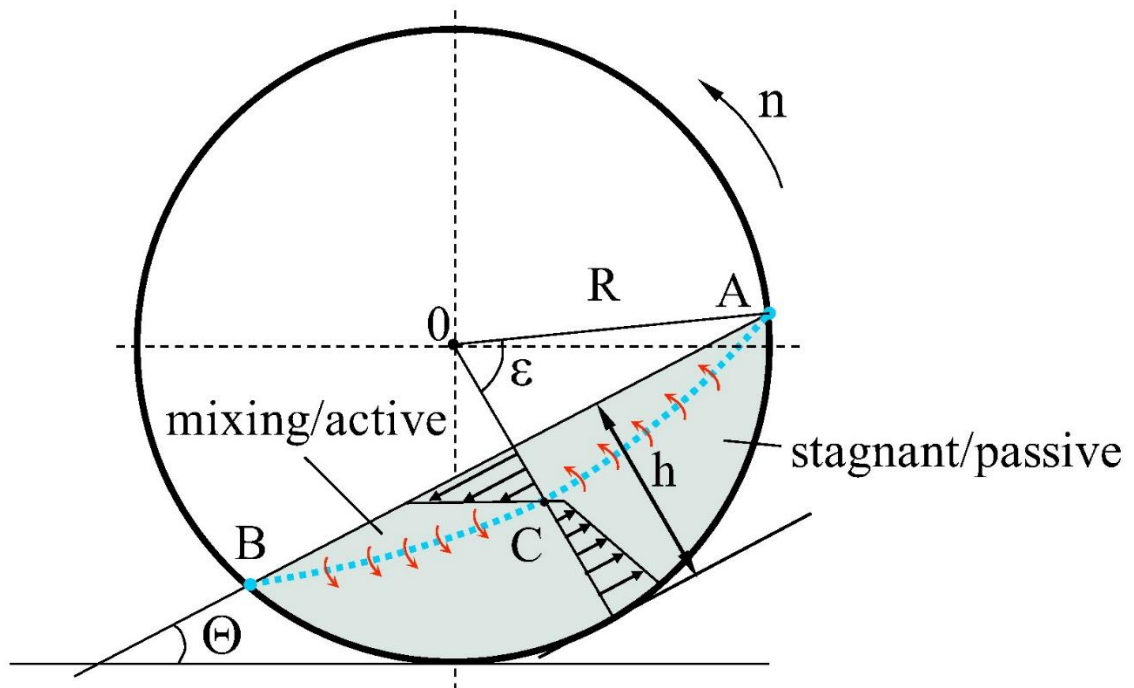
Kuva 8. Astiaan vaikuttavia voimia. Kulmat ja luonnokset ovat kuvitteellisia.

Pyöräminen aiheuttaa keskipakovoiman keskipisteestä ulospäin, jota kuvaa voima  $F$ . Painovoiman vaikutus voidaan jakaa  $X$ -komponentiksi ja  $Y$ -komponentiksi.  $F = \frac{mv^2}{r}$ , missä  $m$  on massa,  $v$  kehänopeus ja  $r$  kiertoradan säde. Painovoiman komponentit  $X = \sin \alpha \cdot mg$  ja  $Y = \cos \alpha \cdot mg$ , joissa  $\alpha$  on astian taivutuskulma ja  $g$  putoamiskihtiävyys. Painovoiman vaikutus on suurempi raskaille tapeille ja keskipakovoiman vaikutus suurempi jauheelle. Voiman kulman suuruus vaihtelee säätöjen mukaan. Sekoitukseen

vaikuttaa myös astian pinnan aiheuttama kitka kuin myös jauheen ja tappien välinen kitka.

Pyörivässä liikkeessä kiinteät massat käyttäytyvät nesteestä poiketen. Ominaisia liikkeitä ovat liukuminen, valahtaminen, pyöriminen, virtaus ja sentrifugi. Liiketyypit vaihtelevat riippuen käyttöparametreista (täyttöaste ja kierrosnopeus), säiliön parametreit (säiliön säde ja kallistuskulma) ja materiaalien parametreit. (Nafsun ym. 2018, 121–128). Tutkimukset aiheesta ja ilmiön kuvaukset ovat aiemmin tehneet Henein (1983, 191–220) ja Mellmann (2001, 251–270). Mellmann referoi liikkeen leikkaustasossa Frouden numeroon (Rapp 2017, 243–263) ja täyttöasteeseen ilmiön kuvaamisessa. Täyttöaste on määritelty annoksen poikkileikkauksen ja säiliön poikkileikkauksen suhteesta, joka voidaan määrittää

$$F = \frac{A_{solid\ bed}}{A_{drum}} = \frac{\varepsilon \sin \varepsilon \cos \varepsilon}{\pi},$$
 jossa  $\varepsilon = \cos^{-1}(1 - \frac{h}{R})$ , missä muut muuttujat kuva 9 osoittamalla tavalla.



Kuva 9. Poikkileikkaus sekoituksesta.

Pyörivä liike on haluttua kiinteiden aineiden sekoituksessa, sillä massa sekoittuu tehokkaasti. Kuva 9 kuvaa liikkeen laatua poikkileikkauksessa. Massan pinnan kuvataan sekoituksessa pysyvän lähes täydellisesti samalla alueella, joka määritellään dynaamiseksi toiminta kulmaksi  $\theta$ . Tämä alue on riippuvainen massan materiaalien



ominaisuuksista ja seinämän kitkasta. Kieriminen voidaan jakaa kahteen osaan: aktiiviseen ja passiiviseen. Kuvassa 9 nämä alueet erotellaan linjalla ACB. Passiivisella alueella materiaalit kulkevat kiinteänä massana seinämää ylös CA-väliselle alueelle. Passiivisella alueella ei tapahdu sekoittumista, vaan sekoitus keskittyy ACB-linjan läheisyyteen ja aktiiviseen alueeseen. CA-alueelta partikkelit siirtyvät aktiiviselle alueelle, josta ne vierivät painovoiman vaikutuksesta alas CB-alueelle. Kuvan punaiset nuolet (ACB-linjan leikkaavat nuolet) kuvaavat partikkeleiden virtauksen suuntaa. Prosessi toistetaan, kunnes haluttu sekoitusaste on saavutettu.

Sekoitustekniikan toimivuutta arvioidaan opinnäytetyössä visuaalisesti käytännössä. Nopeuden kasvaessa liian suureksi jauhe ja tapit eivät sekoitu, vaan ne ajautuvat erilleen. Testeissä hitaassa vauhdissa massassa ei tapahtunut muutoksia, vaan se pysyi paikallaan. Kulmaa säätämällä muutetaan voimien vaikutussuuntaa. Vaikutus näkyy selkeästi tappien käytöksessä. Liian suuri kulma puristaa tapit yhteen, ja ne ajautuvat pohjalle. Liian loiva kulma ajaa tapit ämpäristä ulos.

Nopeus ja sekoituskulma tulee säätää testaamalla. Kulmaa ja nopeutta vaihdetaan ja samalla tarkastellaan säiliön sisälle ja säädetään sekoitus optimiksi. Sekoitus on riittävää silloin, kun tapit eivät sitoudu kiinteäksi massaksi ja ajaudu jauheen alle. Hyvässä sekoituksessa tapit ja jauhe pyörivät samalla liikeradalla. Myös sekoitusastian tyhjennys voidaan laskea sekoitukseksi, sillä se kääntää koko massan ympäri toiseen suuntaan kiptaten tapit ja jauheen grafiittiasiaan.

## 4 SOVELLUKSIEN TESTAUS

Sovelluksien testaamisessa pyrittiin jäljittämään tavallisia tai mahdollisia tuotantomenetelmiä. Kullekin sovellukselle rakennettiin oma testiympäristö tulosten validoimiseksi.

### 4.1 Testiympäristö epäkeskopöydälle

Epäkeskopöydälle rakennettiin oma pöytä tuotantotilaan, johon se oli kiinnitetty tiukasti hallitsemattoman heilumisen ja liikkumisen estämiseksi. Testit tehtiin tavallisen tuotantoprosessin mukaisesti. Lisäksi laitetta pyrittiin testaamaan jakamalla prässäysvaihe ja sekoitusvaihe kolmeen osaan. Ohjelma keskeytyi aina, kun kolmannes tapeista oli prässäetty, jolloin tapit tasoitettiin laivassa, lisättiin jauhetta kolmannes kokonaismäärästä, ja sekoitettiin. Tämän jälkeen jatkettiin ohjelmaa ja toistettiin prosessi, kunnes laiva oli valmis.

Testien tekemiseen käytettiin vain yhtä prässäiä ja tuotelaatua. Tuote valittiin testikohteeksi sen hankaluuden vuoksi. Käyttämällä vain yhtä laatua vakioitiin eri tuotteista johtuvia muuttujia, joita olivat muun muassa koko, paino ja muoto. Huomattiin, että laivojen koot ja painot vaihtelivat vähän, mutta laivojen tilavuuteen ei huomattu tulevan merkittäviä muutoksia. Vaihtelevaa kokoa ei otettu huomioon. Kaikki vaiheet pyrittiin tekemään samalla tavalla ja konesekoituksessa käytettiin vain konetta.

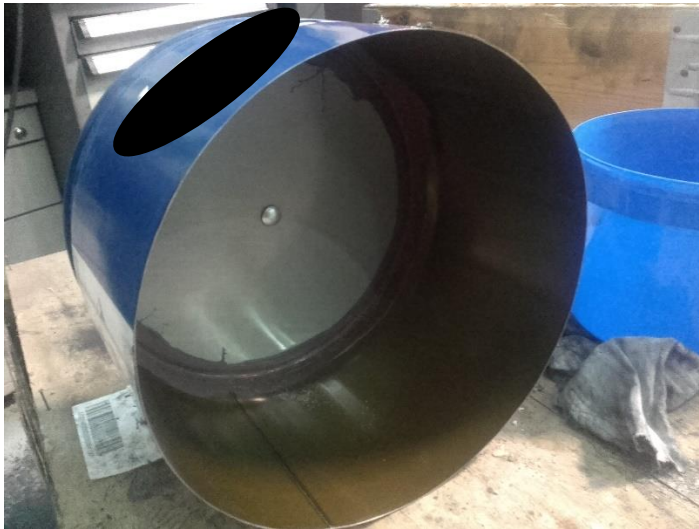
Ensimmäisissä testeissä valmiiden laivojen annokset tasoitettiin ennen sekoituksen ja jauheen lisäämisen aloittamista. Toisessa testissä tutkittiin, toimiiko sekoitus paremmin ilman tasoitusta ja jakamalla tappikasa kahteen osaan.

### 4.2 Sekoituslingon testiympäristö

Testissä pyrittiin pitämään sekoituskulmaa ja nopeutta vakiona. Annoskoko pidettiin grafiittilaivan kokoisena. Koko massa syötettiin astiaan, jonka jälkeen sekoitettiin ja tyhjennettiin laivaan.

Linkotekniikkaa varten käytettävä sovellus rakennettiin ämpäristä, jonka pohjan reuna täytettiin silikonilla, jotta tapit ja hiekka eivät tunkeudu pohjan rakoön. Samalla

loivennettiin ämpärin pohjan terävää kulmaa. Prototyyppi oli hyvä menetelmän testaamisessa. Ämpärin pyörimisnopeutta ja asennon kulmaa voitiin säätää helposti manuaalisesti. Lisäksi ämpärin ollessa avoin voitiin visuaalisesti tarkastella massan liikerataa ja todeta, sekoittuvatko jauhe ja tapit vai ei. Erilaista säiliön muotoa taikka sisäpinnan laatua ei voitu testata. Pyörminen tehtiin pyörittämällä pohjaan kiinnitettyä ruuvia porakoneella ja kulmaa säädettiin puulevystä leikatulla muotilla. Tästä johtuen kulman pysyvyys ja ämpärin kierrosnopeus saattavat vaihdella testauksessa, sillä testin aikana pyörivä massa kasvaa huomattavasti.



Kuva 10. Ämpäristä leikattu astia.

Testeissä astiaan lisättiin aluksi pohja pehmusteeksi jauhetta kolmannes kokonaismäärästä, jonka jälkeen lisättiin kokonainen annos tappeja. Ämpärin pyörittäminen ja kulman säätö tehtiin jauhetta lisäten. Sekoituksen ollessa valmis se kipattiin laivaan ja tasoitettiin kohouman poistamiseksi.

Sintrauksen jälkeen sekoituksesta eroteltiin jauhe ja tapit. Tämän jälkeen tappimassa voitiin ajaa seulan läpi, johon jäivät yhteen liimautuneet tapit. Erottelun jälkeen tapit pestiin ja lajiteltiin mitoista poikkeavat yksiköt pois. Testeissä keskityttiin pääasiassa yhteen liimautuneiden painoon, sillä sekoituksella oli suurin vaikutus niihin. Linkotekniikassa tarkastettiin tuplien lisäksi kokonaishävikki, sillä tekniikka on uutta ja sen vaikutusta tappien kulumaan tai murtumiseen ei tiedetty.

Pyörivällä tekniikalla sekoitetuista tapeista kerätiin satunnaisotanta, joka tarkastettiin laboratoriossa. Laboratoriossa tarkastettiin, olivatko tapit piirustuksien mukaiset, sekä muita rutiinitarkastuksia, joilla selvitettiin, aiheuttiko sekoitustekniikka virheitä tuotteissa.

#### 4.3 Datan kerääminen

Testisarjat tehtiin kymmenen kappaleen pinoista. Jokaisesta kymmenen laivan pinosta otettiin yhteen liimautuneiden kokonaismäärä. Testeissä tarkasteltiin, tuliko hylkymäärässä tappiryppäitä vai yksittäisiä liimautumisia. Massan erotteluun käytettiin seulaa, josta mahtuvat lävitse vain yksittäiset tapit.

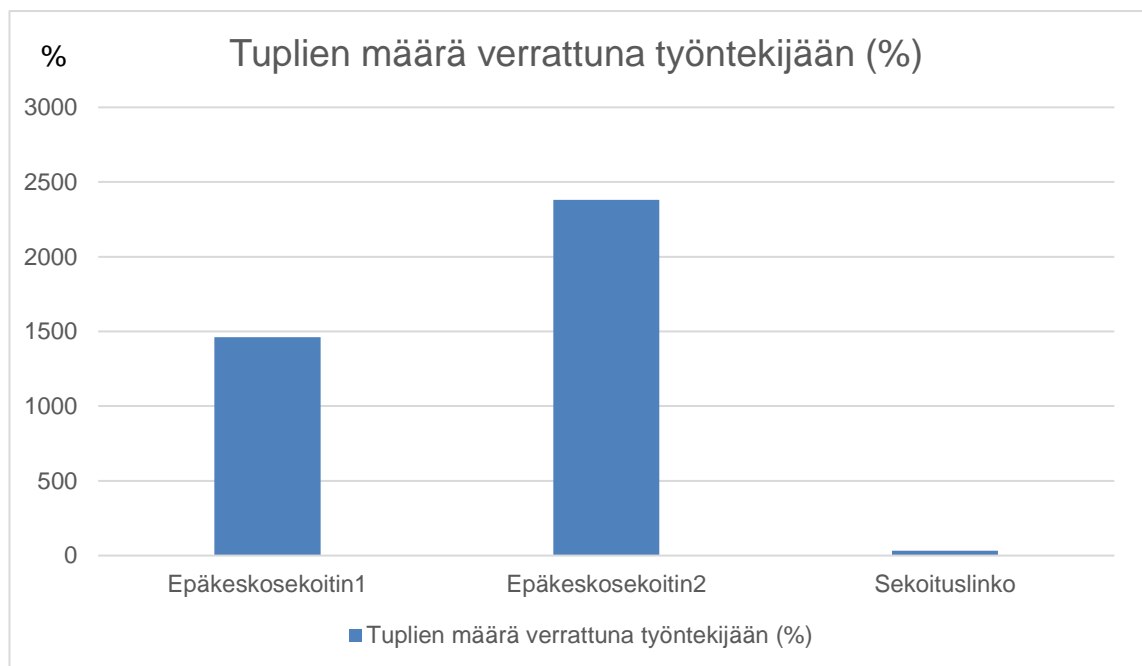
Testidatan keräämisen ohella tarkasteltiin sekoitusta ja tulkittiin sen yksityiskohtia, kuten jauheen ajautumista ja tunkeutumista. Tarkastelua voitiin tehdä vain visuaalisesti yhdessä henkilökunnan kanssa.

Työntekijöiden yksilölliset eroavaisuudet testattiin samaa menetelmää käyttäen ja otettiin huomioon tulosten analysoinnissa. Kaikki data kerättiin Excel-taulukoon ja esitetään histogrammissa keskiarvoina. Kaikkia keskiarvoja verrattiin suoraan työntekijöiden tulokseen.

## 5 TULOSTEN ANALYSOINTI

Työn tavoitteena oli automatisoida prosessin sekoitusvaihe, joten haluttiin päästä mahdollisimman lähelle alkuperäisen prosessin tulosta. Analysoinnissa otettiin huomioon varsinainen hävikki, jota tarkkailtiin testeissä, sekä soveltuvuus että hinta.

### 5.1 Tulokset



Kuvio 1. Tuplien määrät verrattuna työntekijään.

Kuviossa on esitetty kaikkien testitulosten tuplien määrät verrattuna työntekijän määrään prosentteina. Prosentit koostuvat tulosten keskiarvoista. Ensimmäinen palkki on epäkeskosekoittimen tuotannon mukainen testi. Toinen pylväs esittää epäkeskosekoittimen testin, jossa tappimassa jaettiin kahtia, jotta jauhetta saatiin sijoitettua grafiittiastian keskikohtaan. Kolmas palkki osoittaa sekoituslingon tuloksen. Ensimmäisen palkin tulokset vaihtelevat lähes 250 prosenttia. Tulokset sijoittuvat kuitenkin pääasiassa lähemmäs 1400 prosenttia. Toisen palkin tulos on noin 2400 prosenttia. Viimeinen on sekoituslingon testi, jonka keskiarvoksi saadaan 30 prosenttia. Sekoituslingolla tehtiin myös testi yhdellä grafiittilaivalla, jolla päästiin työntekijää

parempaan tulokseen, mutta sitä ei oteta muiden testien luonnon vuoksi huomioon. Testitulokset koostuvat 120 laivan otannasta.

Epäkeskosekoittimen tuloksen visuaalisessa tarkastelussa huomattiin tappien muodostavan useamman tapin ryppäitä tavallisten tuplien lisäksi. Työntekijöiden ja sekoituslingon testeissä ei havaittu ryppäitä. Epäkeskosekoituksessa henkilökunta havaitsi massan keskittyvän laivan keskelle ja hiekan tunkeutuvan hyvin reunoihin. Pyörivässä sekoituksessa huomattiin astian asennon ja pyörimisnopeuden vaikuttavan massan liikkeeseen paljon. Oikeassa asennossa hiekan todettiin tunkeutuvan hyvin tappien sekaan.

## 5.2 Vertailu

Testituloksissa paras tulos saatiin työntekijöiltä, seuraavaksi sekoituslingolta ja viimeisenä epäkeskosekoittimelta saadut tulokset. Epäkeskosekoittimella ei tehty proportionaalista sekoittamista, jossa tavallinen annos olisi jaettu osiin ja näin helpotettu sekoittamista. Tähän oli syynä ajanpuute.

Tulosten perusteella epäkeskosekoitinta ei voida pitää hyvänä, sillä tuplien määrä on yli kymmenkertainen tavalliseen verrattuna. Lisäksi jo tuplien kokonaismassa ylittää työntekijöiden tuloksen kokonaishävikin. Laitteen sijoittaminen tuotantoon vaatii liikkeen vuoksi paljon tilaa. Jauheen syöttäminen tulee suunnitella niin, että jauhe asettuisi tasaisesti grafiittiastiaan. Laite pitää suojata hyvin, ettei jauhe sotke itse laitetta tai prässä. Laite on jo valmis, joten kustannukset keskittyvät laitteen monistamiseen ja ohjelmoimiseen.

Sekoituslingon kokonaishävikki, eli tuplien ja pätkien kokonaismäärä, on verrattavissa tavallisen tuotannon tuloksiin. Testitulosten tapit ovat piirustusten mukaiset, joten sekoitusmenetelmän voidaan olettaa olevan sopiva tarkoitukseen. Laitteen sijoittaminen tuotantoon ei vaadi paljon tilaa, sillä liikkeen aikana laite pysyy paikallaan. Sekoitus tapahtuu koko massalle, joten annostelu voidaan tehdä kerralla. Liike voidaan saada aikaiseksi, joko liikuttamalla astiaa omalla akselillaan tai suunnittelemalla pyöritysmekanismi astian ulkopinnalle. Ongelma on annoksen syöttäminen grafiittiastiaan ja tappijauhemassan tasoittaminen. Sekoituslinko on kehityskelpoinen idea, jolla voidaan ratkaista sekoituksen automatisointi. Uuden laitteen kehittäminen on kallista ja sen takaisinmaksuaika tulee selvittää.

Henkilökunta valitsi parhaaksi ratkaisuksi sekoituslingon. Sekoituslingon pyörivä liike aiheuttaa jauheen ja tappien välillä hiovaa liikettä, joka voidaan nähdä edulliseksi tappeihin muodostuvan rönsyn vuoksi. Sekoituslinko on helppo toteuttaa, sillä siinä ei ole monimutkaista mekaniikkaa. Pienestä koosta on paljon hyötyä, sillä layoutiin ei tarvitse tehdä suuria muutoksia. Testitulokset osoittavat tekniikan olevan käyttökelpoinen ja sitä halutaan kehittää.

Taulukko 1. Ratkaisujen hyvät ja huonot puolet.

	Työntekijä	Epäkeskosekoitin	Sekoituslinko
Hyvää	<ul style="list-style-type: none"> <li>- halpa</li> <li>- hyvä laatu</li> <li>- sekoitustapaa voidaan muuttaa tarpeen mukaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- valmis ratkaisu</li> <li>- helppo sijoittaa tuotantoon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hyvä laatu</li> <li>- potentiaalia kapasiteetin kasvattamiseen</li> <li>- vaatii vähän tilaa</li> </ul>
Huonoa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vaatii rutinoitunutta tekniikkaa</li> <li>- rasittaa työntekijöitä</li> <li>- laatu vaihtelee työntekijän mukaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- suuri hävikki</li> <li>- vie paljon tilaa</li> <li>- jauheen lisääminen ongelmallista</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- valmista ratkaisua ei ole</li> <li>- tappimassan tasoittaminen sekoituksen jälkeen</li> </ul>

Taulukkoon on kartoitettu henkilökunnan mielipiteiden ja testitulosten perusteella kerätyt hyvät ja huonot puolet.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyössä onnistuttiin löytämään tekniikka, jota kehittämällä työn alkuperäinen tavoite voidaan saavuttaa. Työ tarjosi kokemusta tuotekehityksen kulusta ja haasteista. Soveltuvin laite valittiin käytännön testien perusteella. Parhaana sovelluksena pidettiin sekoituslinkoa. Uuden laitteen kehittäminen on kallista, mutta idealla on potentiaalia kasvattaa tuotannon kapasiteettia.

Pyörivän sekoituslaitteen suunnittelussa otetaan huomioon testien visuaalisessa tarkastelussa huomattuja massojen välistä käyttäytymistä. Erilaisten astioiden vaikutusta sekoittamiseen ei ole testattu, joten laitteeseen suunnitellaan säiliölle telakka, joka mahdollistaa astioiden vaihtamisen. Laitteelta vaaditaan säätömahdollisuuksia, kuten pyörimisnopeus ja astian kulma. Myös astian tyhjentämisen tulee olla automaattista.

Astian telakka on asetettu korotetun akselin keskelle. Telakkaan on asennettu säiliö. Säiliön halkaisija on testien ämpäriä vastaava. Astian edessä olevat renkaat ja niiden telineet tukevat astiaa ja asettavat sen sopivaan kulmaan. Renkaiden telineiden korkeutta ja sijaintia voidaan säätää, mikä mahdollistaa sekoituskulman muuttamisen. Astian pyörittämiseen käytetään toista rengasta, jota pyöritetään sähkömoottorin avulla.

Astiaan on tehty laivan levyinen taitos, joka helpottaa tyhjennyksessä. Astia mahtuu pyörimään akselin avulla tarvittaessa täyden kierroksen. Sekoitusingon ollessa sekoitusasennossa siihen voidaan tuoda tapit kuljettimella.

Jauheen syöttö voidaan asettaa suoraan laitteen yläpuolelle. Jauhe voidaan lisätä kippaamisen jälkeen, kun astia on palaamassa takaisin sekoitusasentoon. Laitteen yläpuolella tulee olemaan hyvin tilaa jauheen syötölle ja ratkaisu sille on valmiina.

Sovelluksen rakentaminen on helppoa, mutta siinä kertyy kustannuksia osien suunnittelusta, mahdollisesta pinnoituksesta, ohjelmoinnista, rakentamisesta, testaamisesta ja käyttöönotosta. Tekniikkaa testattiin vain yhdellä tappilaadulla, joten soveltuvuutta kaikkiin tappilaatuihin ei tiedetä. Sovellusta ei pidetä valmiina ratkaisuna, mutta sen kehittäminen nähdään hyvänä ideana.



## LÄHTEET

Davis, J.R. 2001. Alloying – understanding the basics. ASM international. Viitattu 26.2.2018 osoitteesta: [books.google.fi](https://books.google.fi) > haku: Volume 2, Properties and Selection: Non-ferrous Alloys and Special Purpose Materials, Special Purpose Materials, Cemented Carbides

EPMA. What is powder metallurgy? Viitattu 25.4.2018 [www.epma.com](http://www.epma.com) > powder metallurgy > What is powder metallurgy?

Nafsun, A.I.; Herz, F. & Liu, X. 2018 Influence of material thermal properties and dispersity on thermal bed mixing in rotary drums. Elsevier: Powder technology

Henein, H. Brimacombe, J. K. Watkinson, A. P. 1983. Metallurgical and materials transactions. Springer-Verlag

Mellmann, J. 2001. The transverse motion of solids in rotating cylinders – forms of motion and transition behavior. Elsevier: Powder Technology

Rapp, Bastian E. 2017. Microfluids: Modelling, Mechanics and Mathematics. Elsevier

Richard H. 2002. Fundamentals of particle technology. Micropore Filtration. Viitattu 25.4.2018 osoitteesta: [http://www.particles.org.uk/particle\\_technology\\_book/chapter\\_12.pdf](http://www.particles.org.uk/particle_technology_book/chapter_12.pdf)