

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Koneautomaatio

2017

Sebastian Vitri

# AUTOMAATTISEN TUOTANTOKONEEN MEKANIKKARAKENTEEN SUUNNITTELU

Sebastian Vitri

## AUTOMAATTISEN TUOTANTOKONEEN MEKANIKKARAKENTEEN SUUNNITTELU

Tierra Finland Oy:n tarkoituksena on automatisoida uurnien valmistus, koska prosessi on hidas ja kysyntää on paljon. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella mekaniikkarakenne saviurnien valmistukseen. Tavoitteena on tehdä mekaniikkasuunnittelu, jossa tehdään muotit kahdelle eri malliselle uurnalle sekä valita prosessiin soveltuvat moottorit. Valmista opinnäytetyötä on tarkoitus hyödyntää, kun Tierra Finland Oy automatisoi saviurnien valmistusprosessin. Työ tehdään Elomaticin tukemana.

Opinnäytetyön ensimmäinen vaihe oli suunnitella automatisointi pääpiirteittäin. Suunnittelua lähdettiin toteuttamaan tämän hetkisten konedirektiivien ja standardien avulla. Riskinarviointi ja vaaratilanteiden tunnistaminen ovat olennainen osa uuden koneen suunnittelua. Riskinarvioinnilla saatiin rajattua pois mahdolliset vaaratekijät ja suunniteltua koneesta niin turvallinen kuin sen kuuluukin olla. Tämän jälkeen työlle tehtiin mekaniikkasuunnittelu. Mekaniikkasuunnittelussa käytettiin SolidWorks-ohjelmaa. Koneelle valittiin myös uurnien valmistukseen soveltuvat moottorit.

Työssä onnistuttiin luomaan suunnittelupohja koneen valmistamiselle sekä mekaniikkarakenne kahdelle erimalliselle uurnalle ja niiden vastakappaleille. Työssä valitut moottorit sekä turvallisuus ratkaisut soveltuvat hyvin suunniteltuun prosessiin.

ASIASANAT:

Automaatio, Mekaniikkasuunnittelu, Koneturvallisuus, Mallintaminen.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Machine and production technology

2017 | 32

Sebastian Vitri

## MECHANICAL DESIGN FOR AUTOMATIC PRODUCTION MACHINE

Tierra Finland Oy's intend is to automate the manufacture of urns, because manufacturing process is slow and there is a lot of demand of products. The purpose of this thesis is to design the structural mechanics to produce clay urns. The goal is to do mechanical design for molds for two different urn models and select the engines that are suitable for the process. Ready thesis is intended to be used by Tierra Finland Oy to automate the process of clay urns fabrication. This thesis was commissioned by Elomatic.

First phase of the thesis was to design the draft for automation. The design was approached through the existing machinery directives and standards. Risk assessment and identification of hazards are an integral part of the design of a new machine. It is possible to limit the potential hazards with risk assessment and design the machine as safe as it should be. After that mechanical design was made by using SolidWorks program. And suitable engines were chosen for the machine.

The project succeeded in creating a design base for machine manufacturing and the structural mechanics for two different urn models and their counterparts. The selected engines and safety solution are well suited to the design process.

### KEYWORDS:

Automation, Mechanical design, Safety of machinery, Modelling

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT</b>	<b>8</b>
2.1 Lähtötilanne	9
2.2 Tavoitteet	10
<b>3 DIREKTIIVIT JA STANDARDIT</b>	<b>11</b>
3.1 Koneturvallisuus	11
3.2 Koneturvallisuusstandardit	12
<b>4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT</b>	<b>13</b>
4.1 Turvalaitteet	14
4.2 Lujuustarkastelut	15
4.3 Nurjahdus	16
<b>5 PAINOLAITTEEN SUUNNITTELU</b>	<b>18</b>
5.1 Mallinnus	19
5.2 Voimamittaukset	24
5.3 Servomoottori	24
5.4 Moottorin valinta	24
5.5 Ohjelmointi	26
5.6 Moottorin liikeradat	27
5.7 Turva-aita	28
5.8 Kustannusarvio	29
<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>30</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>31</b>

## KAAVAT

Kaava 1. Nurjahdusvoima (Valtanen 2002, 735).	16
Kaava 2. Sauvan jäyhyysmomentti (Valtanen 2002, 735).	17
Kaava 3. Nurjahduspituus (Valtanen 2002, 735).	17

## KUVAT

Kuva 1 Käsikäyttöinen prässi.	9
Kuva 2. Pyörintämoottori.	9
Kuva 3. Riskigrafi. (SFS-ISO/TR 14121-2.)	13
Kuva 4. Nurjahdus. (Nurjahdus 2011.)	16
Kuva 5. Suunnittelukaavio. (Timo Luoma, Elomatic)	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
Kuva 6. Pienen urnan muotti.	20
Kuva 7. Pienen urnan pohja.	21
Kuva 8. Pienen urnan vastakappale.	21
Kuva 9. Suuren urnan muotti.	22
Kuva 10. Leikkauskuva.	22
Kuva 11. Kokonaiskuva.	23
Kuva 12. Exlar Tritex II T2 Rullaruuvi lineaariaktuaattori. (Sks Group Oy 2017.)	26
Kuva 13. Rullaruuvi. (Sks Group Oy 2017.)	26
Kuva 14. Ignuksen DryLin W. (Ignus 2017.)	27
Kuva 15. Turva-aita.	29

## TAULUKOT

Taulukko 1. Moottorin tekniset tiedot.	25
--	----

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Direktiivi	Euroopan unionin jäsenvaltioille tarkoitettu lainsäädäntöohje
SolidWorks	Parametrinen 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto, joka sisältää tilavuus- ja pintamallinnustyökalut
3D	Kolmiulotteinen
I/O	Tulot ja lähdöt (Input/Output)
Integroitu	Sisäänrakennettu
Servovahvistin	Vahvistin, jonka tehtävänä on syöttää servomootorille sen tarvitsema virta
PLC	Programmable Logic Controller eli ohjelmoitava logiikka
Aktuaattori	Automaatiossa koneen toimielintä käyttävä laite
TR	Technical Reports
Anodisointi	Anodisointi eli eloksointi on metallien pintakäsittely

# 1 JOHDANTO

Automatisoinnin merkitys tuotannossa on ollut jo pitkään kasvussa maailmanlaajuisesti. Tuotannon tasalaatuisuutta sekä tehokkuutta pystytään parantamaan automatisoinnilla. Lisäksi sen avulla saadaan nopeutettua tuotteiden läpimenoaikaa ja näin myös parannettua kannattavuutta. Nykyään automatisointi on merkittävä kilpailutekijä. Suomella on hyvät edellytykset kilpailulle kansainvälisesti. Tällä hetkellä Suomi on kuitenkin jäämässä jälkeen automatisoinnin kehityksestä ja samalla myös kilpailun ulkopuolelle. Valtioneuvosto on hyväksynyt esityksen, jolla pyritään kehittämään sekä lisäämään Suomen automatisaatiota (Valtioneuvosto 2016.)

Tierra Finland Oy:llä on tarvetta automatisoida uurnan valmistus, koska prosessi on hidas ja kysyntää on paljon. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella mekaniikkarakenne saviurnien valmistukseen. Tavoitteena on tehdä mekaniikkasuunnittelu, jossa tehdään muotit kahdelle eri malliselle uurnalle sekä valita prosessiin soveltuvat moottorit. Valmista opinnäytetyötä on tarkoitus hyödyntää, kun yritys automatisoi saviurnien valmistusprosessin. Työ tehdään Elomaticin tukemana.

Opinnäytetyön toteutuksessa huomioidaan koneen suunnitteluun ja turvallisuuteen liittyviä vaatimuksia. Suunnittelu aloitetaan huomioimalla työtä koskevat standardit ja direktiivit. Näitä hyödynnetään riskinarvioinnin toteuttamisessa. Mallinukset tehdään SolidWorks ohjelmaa käyttäen.

## 2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

Toimeksiantaja työssä on Elomatic Mechanical Oy. Elomatic on maailmanlaajuisesti toimiva konsultointi-, suunnittelu-, tuotekehitys- ja projektinhallintapalveluita sekä tuotteita ja kokonaisratkaisuja tarjoava yritys. Tällä hetkellä Elomaticissa työskentelee 750 ammattilaista. Yhtiön päätoimipiste sijaitsee Turussa. Elomatic toimii Suomen lisäksi Puolassa, Hollannissa, Intiassa, Kiinassa, Serbiassa, Venäjällä, Italiassa ja Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa. (Elomatic 2017a.) Elomaticin osaamisalueita ovat ”biotekniikka- ja lääketieteellisyys, prosessiteollisuus, energiateollisuus, tärkkelys- ja ruokaperunateknologiat, kone- ja laitevalmistusteollisuus, meri- ja offshoreteollisuus sekä kaasu- ja öljyteollisuus” (Elomatic 2017a).

Elomatic Oy:n perusti Ari Elo vuonna 1970. Vuonna 1974 Elomatic investoi suunnittelumallitekнологiaan, jonka jälkeen kasvu oli nopeaa. 80-luvulla aloitettiin Cadmatic 3D-suunnittelujärjestelmän kehittäminen, joka on yksi merkittävimmistä tehdas- ja laiva-suunnitteluun tarkoitetuista 3D-suunnitteluohjelmista. Tämän jälkeen yritys on kasvanut ja monialaistunut vuosien aikana tasaisesti. (Elomatic 2017b.)



## 2.1 Lähtötilanne

Valmista opinnäytetyötä on tarkoitus hyödyntää Tierra Finland Oy:n automatisoidessa saviurnien valmistusprosessi. Yritys on 2016 perustettu kahden hengen pienyritys, joka tekee saviurnia. Uurnat tehdään täysin kierrätyskelppoisesta materiaalista, eikä niitä polteta. Uurnat kuivuvat huoneenlämmössä, eikä niissä käytetä ympäristölle haitallisia aineita tai menetelmiä, jonka vuoksi ne maatuvat nopeammin.

Tällä hetkellä yrityksessä on käytössä saven muokkaukseen käsikäyttöinen prässä, (Kuva 1) toisin sanoen tällä hetkellä uurnat tehdään kaikki alusta asti käsin. Savi asetetaan pöydälle, jossa on moottori, joka pyörittää savimassaa. Projektissa käytetään vanhaa pyörintämoottoria (Kuva 2).



Kuva 2 Käsikäyttöinen prässä.



Kuva 1. Pyörintämoottori.

Yritys haluaa automatisoida prosessin, jossa uurnalle tehdään muoto. Tämän jälkeen tehdään käsin viimeistelyt sekä pintakäsittelyt. Yrityksellä on tarvetta automatisoinnille, koska kysyntää on paljon ja tuotantoprosessi on hidas. Myös myynti ulkomaille lisää tuotannon kysyntää. Työntekijöitä on yrityksessä vain kaksi sekä uurnan tekeminen on todella hankalaa, minkä vuoksi osaavia ihmisiä on vähän.

## 2.2 Tavoitteet

Opinnäytetyö lähti liikkeelle yhteisestä palaverista, jossa päätettiin, mitkä alueet kuuluvat työhön. Työn tavoitteena on tehdä painolaitteen automatisoinnin mekaniikkasuunnittelu sekä valita tarvittavat moottorit. Työ on laaja, jonka vuoksi jätetään pois automatisoinnin ohjauksen suunnittelu. Opinnäytetyö sisältää

- koneturvallisuuden huomioitavat tekijät sekä turvalaitteet
- riskinarvioinnin
- tuotantokoneen uurnan muotin
- prässinkärjen eli uurnanmuotin vastakappaleen muodon suunnittelun
- moottorien valinnan
- tarvittavat lujuuslaskennat
- alustavan kustannusarvion.

Toimintaselostus tehdään laitteistosta, kun aloitetaan varsinainen toteutus ennen automaatio- ja sähkösuunnittelua. Tämän vuoksi työstä on jätetty selostus pois.

## 3 DIREKTIIVIT JA STANDARDIT

Standardisoinnilla on tarkoitus määrittää, kuinka jokin asia pitää tehdä. Sen on tarkoitus helpottaa elämää ja lisätä tuotteiden yhteensopivuutta sekä turvallisuutta. Standardien mukaan valmistetut tuotteet hyväksytään kansainvälisille markkinoille, koska niiden avulla saadaan yhteensopivuutta sekä poistetaan esteitä. Standardeihin perustuvat muun muassa paperi- ja vaatekoot, ruuvit ja mutterit. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2017a.)

Kirjainyhdistelmät ilmoittavat, missä maassa standardi on vahvistettu. Kansainvälisessä standardisoimisjärjestössä vahvistetun standardin tunnus on ISO, eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä CENissä vahvistettu standardi on EN ja Suomessa SFS. SFS-EN-ISO on vahvistettu kaikissa organisaatioissa. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2017b.)

CE-merkinnällä valmistaja ilmoittaa täyttävänsä sitä koskevien direktiivien turvallisuusvaatimukset. Merkintä antaa vain oleelliset turvallisuusvaatimukset, ja sen saa kiinnittää vain tuotteisiin, joissa sitä edellytetään. Merkintä esiintyy esimerkiksi koneissa ja sähkölaitteissa. Se ei ole laatumerkki, eikä se erottele tuotteiden paremmuutta. CE-merkinnällä saa vapaan liikkumisoikeuden Euroopan talousalueella. Merkintä on valmistajan osoitus siitä, että heidän valmistamansa tuote täyttää Euroopan unionin vaatimukset. (Tukes 2017a.)

### 3.1 Koneturvallisuus

Koneen määritelmä ”toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmä, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten” (SFS Online 2017a). Yleisiä turvallisuusvaatimuksia koneiden rakenteelle ja merkinnöille on annettu koneasetuksessa. Koneasetus (400/2008) on valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Tämän avulla on pantu täytäntöön konedirektiivi 2006/42/EY. (Tukes 2017b.)

### 3.2 Koneturvallisuusstandardit

Koneturvallisuuteen on useita tähän työhön liittyviä standardeja. SFS-EN-ISO 12100 on kansainvälinen standardi, joka on hyväksytty ja käännetty suomalaiseksi standardiksi. Standardi määrittelee peruskäsitteet, periaatteet, menetelmät turvallisuudelle suunniteltaessa, riskinarvioinnin, riskin pienentämisen, menetelmät vaarojen ja riskien tunnistamiseen sekä niiden poistamiseen ja pienentämiseen. Standardi on myös perustana A-, B- ja C-tyyppin standardeja laatiessa. (SFS EN ISO 12100.)

Turvallisuuden kannalta vaaratekijöiden tunnistaminen on tärkeää. Toisessa A-tyyppin standardissa SFS ISO 14121-2 esitetään opastusta ISO 12100 -standardin mukaiseen koneiden riskinarviointiin. Standardissa kuvataan riskinarvioinnin menetelmiä, kuten riskimatriisi sekä arvioidaan vaarat koko koneen elinkaaren aikana. (SFS ISO/TR 14121-2.)

B-tyyppin standardit eli turvallisuuden ryhmästandardit jaetaan kahteen ryhmään B1-tyyppin standardit, jotka koskevat tiettyjä yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia ja B2-tyyppin standardit, jotka taas käsittelevät suojateknisiä laitteita. C-tyyppin standardit ovat konekohtaisia standardeja, joissa käsitellään yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia tietylle koneelle tai koneryhmälle. C-tyyppin standardien vaatimukset ovat aina ensisijaisia, mikäli ne poikkeavat A- ja B- tyyppin standardeista. (Metsta 2017.)

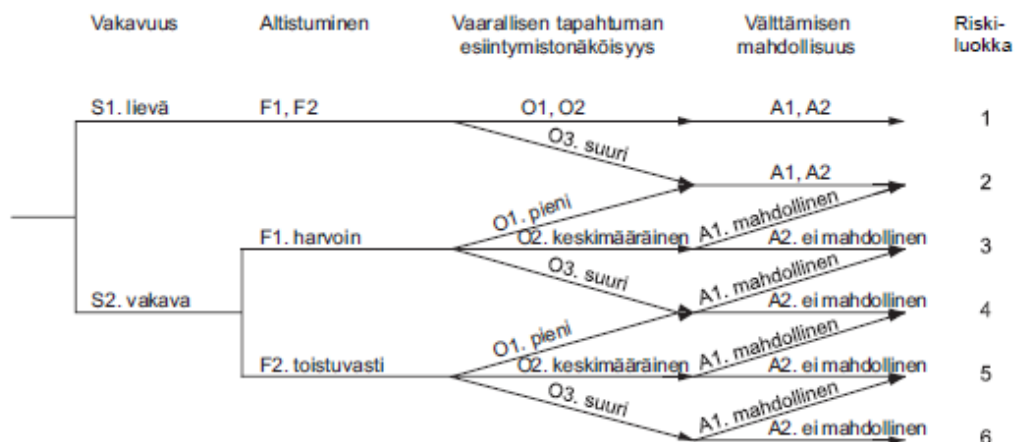
Tässä työssä B1-ryhmään kuuluu SFS-EN ISO 13855 standardi, jossa on tarkasteltu kehonosien lähestymisnopeutta (SFS-EN ISO 13855). Toinen B1-ryhmän standardi SFS-EN ISO 13857 turvaetäisyydet. Määriteltäessä turvaetäisyyksiä tulee tässä työssä huomioida ulottumistilanteet, tekniset ja käytännölliset näkökohdat sekä erityiset henkilöryhmät, kuten lapset. (SFS-EN ISO 13857.)

Työhön liittyviä B2-ryhmän standardeja on SFS-EN ISO 13850 hätäpysäytys-standardi. Standardissa esitetään vaatimukset sekä suunnitteluperiaatteet koneen hätäpysäytystoiminnolle. Hätäpysäytys on oltava koko ajan saatavilla ja toimintakunnossa toimintavasta riippumatta. Hätäpysäytyslaitteiden ei ole tarkoitus korvata muita turvalaitteita. (SFS-EN ISO 13850.) B2-ryhmään kuuluu myös standardi SFS-EN ISO 14119 suojusten kytkentä koneen toimintaan standardi. Standardissa käsitellään suojauslukituksia, joita tässä työssä käytetään turva-aidassa sähköisenä lukkona sekä niiden suunnittelusta ja valinnasta. (SFS-EN ISO 14119.)

## 4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Suunnittelu aloitettiin riskinarvioinnilla. Riskinarvioinnin tarkoituksena on tunnistaa mahdolliset vaarat ja arvioida riskin suuruutta koko koneen elinkaaren aikana sekä selvittää, kuinka niitä voidaan pienentää. Riskinarviointi tehdään koneelle suunnitteluvaiheessa sekä rakentamisen ja käyttöönoton aikana. Arviointi on hyvä myös tehdä koneen uudistamisen tai muutosten yhteydessä sekä vaaratilanteiden ja toimintahäiriöiden jälkeen. (SFS-ISO/TR 14121-2.)

Lähdin toteuttamaan yhdessä ohjaajan kanssa riskinarviointia Elomaticin riskinarviointipohjaan, joka perustuu standardiin EN-ISO 14121-1. Riskinarviointi löytyy liitteestä 1. Arvioinnissa määriteltiin vaaratyyppit ja niiden seuraamukset sekä mitä ne voivat mahdollisesti aiheuttaa. Vaaroille määriteltiin riskikertoimet käyttämällä SFS-ISO/TR 14121-2 riskigrafia (Kuva 3). Riskigrafi kertoo riskitason eli riskin suuruuden. Riskigrafi on päätöspuumallinen, jossa jokainen solmukohta edustaa jotain muuttujaa. Solmukohdista haarautuvat haarat, joissa ilmoitetaan esimerkiksi altistumisen tasoa. Jokaisella haarakohdalla on oma numeerinen arvo, joista määräytyy riskitason arvo.



Kuva 3. Riskigrafi. (SFS-ISO/TR 14121-2.)

Kun riskitaso on määritetty, koneelle suunnitellaan standardien mukaiset turvallisuustoimenpiteet. Turvallisuustoimenpiteitä tässä työssä ovat

- Turva-aidan turvallinen etäisyys toimilaitteesta
- Turva-aidan sähköinen lukitus
- Hätäseis
- Kuittaustoiminto
- Sähköisille vaaroille kotelot, eristeet, sulakkeet ja vikavirtasuojakytkimet.

Turvallisuustoimenpiteiden jälkeen tarkastellaan mahdolliset jäännösriskit ja niille tarvittavat toimenpiteet. Tässä tapauksessa kaikkien riskien jäännösriskin arvoksi jäi vähäiseksi, joten lisätoimenpiteitä ei tarvita.

#### 4.1 Turvalaitteet

Tuotantokoneen ympärille suunnitellaan turva-aita, jossa on sähköinen lukitus. Lukon avautuessa kone pysähtyy. Turva-aita on yksinkertaisin ja myös yksi parhaimmista tavoista suojata vaarallinen laite. Turva-aidan vuoksi suunnittelussa ei tarvitse ottaa huomioon turvaetäisyyksistä, pois lukien sormien mentävät aukot. Laite rajataan niin, ettei laitteen sisälle pääse kuin ovesta.

Suojauksen, tässä tapauksessa turva-aidan, tulee sijaita siten, että suojattu henkilö ei pääse eikä ulotu vaarakohtaan, myöskään suojauksen aukoista tai reunoilta. Suojusten etäisyyden riittävyys voidaan arvioida turvaetäisyysstandardin SFS-EN ISO 13857 mukaisesti. Suojauksen tulee ympäröidä koko laite. Aidan alaosan ja lattian väliin ei saa jäädä ihmisen mentävää aukkoa (oltava alle 180 mm). Korkeutta ei tässä tapauksessa oteta huomioon, koska suojaus ylettyy kattoon asti. Korkeuden tulisi olla muussa tapauksessa yli 2 metriä, jotta kiipeäminen ei olisi mahdollista. (SFS-EN ISO 13857.)

Yksi tavallisimpia turvalaitteita on koneen toimintaan liitettävä avattava suojuus, joka kiinnitetään tässä työssä turva-aidan oveen. Suojuksen avautuessa koneen liikkeiden tulee pysähtyä ennen kuin on mahdollisuus ehtiä vaarakohtaan. Tässä tilanteessa vaara on heti suojuksen takana, joten suojuksen saa auki vain vaarallisten liikkeiden ollessa pysähtyneenä. (Siirilä & Sundquist 2009,14.)

Koneeseen on hyvä tehdä pysäytyksen jälkeen kuittaustoiminto, jonka jälkeen uudelleen käynnistäminen on mahdollista. Tällä estetään, ettei koneen vaaravyöhykkeellä ole kehtään, kun kone käynnistetään. Turva-aidan lisäksi tulee hätäpysäytys. Sen tulee olla saatavilla ja toimintakunnossa koko ajan sekä sen on oltava ensisijainen muihin toimintoihin nähden. Hätäpysäytysten tulee sijaita niin, että ne ovat suoraan saavutettavissa ilman vaaran aiheutumista käyttäjälle tai ulkopuolisille. (SFS-EN ISO 13850.)

## 4.2 Lujuustarkastelut

Lujuustarkastelut ovat koneen toimivuuden sekä turvallisuuden kannalta oleellisia tekijöitä. Koneita suunniteltaessa tulee huomioida, että kone kestää. Näin voidaan välttää vaaralliset sekä mahdollisesti myös kalliit suunnitteluvirheet.

Lujuustarkasteluilla saadaan säästettyä materiaalikuluissa. Ohjelmilla nähdään mistä kohtaa kappale rasittuu ja mistä ei. Kappaleelta voidaan poistaa massaa ja materiaalin määrään voidaan keventää niistä kohdista, joihin rasitus ei kohdistu. Näin saadaan säästettyä materiaalikuluissa sekä koossa ja saadaan optimoitua kappale kestämään juuri sen, mihin se on tehty.

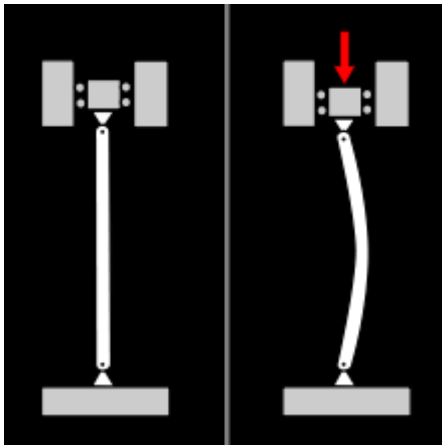
### **Kuormituslajit**

Erilaisia kuormituslajeja on monenlaisia, joiden avulla voidaan määrittää kappaleen rasitukset. Kuormituslajeja, joihin liittyy normaalivoima ovat puristavat ja vetävät voimat sekä taipuminen. Normaalivoima on mekaniikan suure newton (N), jota tarvitaan aineen lujuuden määrittämiseen. Muita kuormituslajeja on leikkaaminen, vääntäminen, nurjahdus ja kiepahtaminen. (Kari Kolehmainen 2017a.)

Tässä työssä voimat ovat kuitenkin pieniä, joten monet kuormituslajit jätetään huomiotta. Työssä tulee huomioida nurjahduksen ja taipumisen vaikutukset. Prässiä painaessa alaspäin ja tehdessä liikettä sivuttaissuunnassa sylinteriin kohdistuu taipumista sekä nurjahdusta.

### 4.3 Nurjahdus

Kun puristetaan tankomaista kappaletta, syntyy puristava voima, joka taivuttaa tankoa sivulle päin (Kuva 4). Nurjahtaminen tapahtuu, kun kappale menettää tietyllä voimalla vakavuutensa. Työssä muodostuu nurjahtamisen mahdollisuus, kun savea painetaan alaspäin muottia vasten. Nurjahduksen tapahtuminen on vähäinen lyhyillä tangoilla, mutta pidemmillä tangoilla se tulee ottaa huomioon. (Kari Kolehmainen 2017b.)



Kuva 4. Nurjahdus. (Nurjahdus 2011.)

#### Nurjahduksen laskeminen

Nurjahdus voidaan laskea Eulerin nurjahduskaavaa käyttäen. Tässä tapauksessa käytetään Eulerin nurjahduskaavan kolmatta tapausta, koska tanko on tuettu yläpäädästä.

Kaava 1. Nurjahdusvoima (Valtanen 2002, 735).

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{l_n^2},$$

jossa

$F_n$ = Nurjahdusvoima

$E$ = Kimmokerroin

$I$ = Sauvan jäyhyysmomentti

$l_n$ = Nurjahduspituus



Kaava 2. Sauvan jäyhyysmomentti (Valtanen 2002, 735).

$$I = \frac{\pi d^4}{64},$$

jossa

I= Sauvan jäyhyysmomentti

d= Halkaisija

Kaava 3. Nurjahduspituus (Valtanen 2002, 735).

$$ln = \beta l,$$

jossa

$\beta$ = Redusoidun pituuden kerroin

l= pituus

Nurjahdusta laskemaan lähtiessä selvitetään nurjahduspituus, jossa pituuden kerroin kerrotaan Eulerin tapaus kolmosen kertoimen mukaan.

$$ln = 0,699 * 350mm = 244,65mm$$

Tämän jälkeen selvitetään sauvan jäyhyysmomentti. Se lasketaan pyöreälle umpitangolle.

$$I = \frac{\pi 19mm^4}{64} = 6397,12mm^4$$

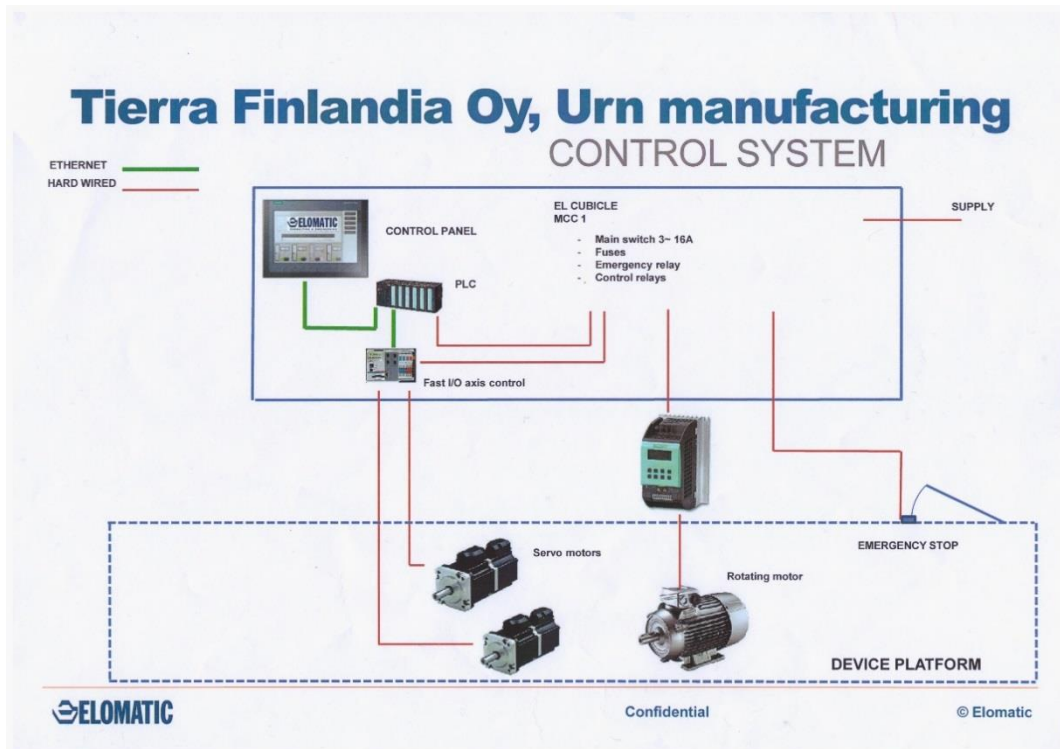
Sitten päästään laskemaan nurjahdusvoima. Kimmokerroin katsotaan ruostumattomalle teräkselle.

$$Fn = \frac{\pi^2 * \frac{200kN^2}{mm} * I}{ln^2} = 51kN$$

Laskemalla saadaan siis selville, että koneen voimat ovat liian pienet aiheuttamaan nurjahdusta. Tämän jälkeen voidaan valita työhön soveltuvat moottorit.

## 5 PAINOLAITTEEN SUUNNITTELU

Suunnitteluun alussa tehtiin suunnitelma siitä, mitä tuotantokone pitäisi sisällään (Kuva 5). Koneessa on ohjausyksikkö ja itse laite. Laitetta ympäröi turva-aita, jossa on oma sähköinen lukitus.



Kuva 5. Suunnittelukaavio. (Timo Luoma, Elomatic)

Laitteen liikkeet tehdään servomootoreilla sekä urnan muotin pyörittäminen tapahtuu jo olemassa olevalla pyörintämootorilla. Pystyservolla painetaan savea kasaan pystysuunnassa ja tämän jälkeen sivuttaisliike tehdään toisella servolla, jolla savi saadaan liikkumaan muotin reunoja vasten. Urnan muotti pyörii jo olemassa olevalla pyörintämootorilla, joten moottoreilla ei tarvitse kuin painaa savea seinämiin vasten.

Ohjausyksikkö sisältää konetta ohjaavan logiikan ja siihen liitettävän ohjauspaneelin, josta käyttäjä voi ohjata konetta sekä logiikkaan liitettävän I/O-yksikön. Turvakytkimen oveen sekä käyttäjälle hätäseispainikkeet. Sähkön syötöt, kuten taajuusmuuttajan pyörintämootorille, sulakkeet sekä releet. Ohjausyksikkö sijoitetaan koneen viereen turvaaidan kylkeen.

## 5.1 Mallinnus

Suunnitteluvaiheen jälkeen työtä lähdettiin mallintamaan. Lähtötietoja mallinnukseen oli todella niukasti sekä asiakkaalta saadut tiedot olivat vähäisiä. Asiakkaan antamat piirustukset olivat käsin piirrettyjä sekä suuntaa antavia. Saviurnat on tehty aikaisemmin käsin, jonka vuoksi mitat saattavat vaihdella urnien välillä. Mallintaminen aloitettiin siis täysin puhtaalta pöydältä. Tuotantokoneen 3D-mallinnus tehtiin SolidWorksilla.

Mallinnus lähti liikkeelle erilaisten ratkaisujen ideoinnista. Ideointivaiheessa mallinnus vaikutti helpolta, mutta sitä se ei ollut. Suunnittelimme paperille eri versioita, miten lähdemme työtä toteuttamaan. Päädyin toteuttamaan kaksiosaisen ratkaisun, jota mietimme jo alkuvaiheessa. Toinen varteen otettava vaihtoehto olisi ollut toteuttaa kolmiosainen muotti. Muotti olisi ollut rungon sisällä ja urnan valmistuttua nousisi ylös ja samalla myös aukeaisi. Ratkaisu olisi ollut todella monimutkainen ja etenkin kallis toteuttaa, joten päädyin yksinkertaiseen ratkaisuun.

### **Muotti**

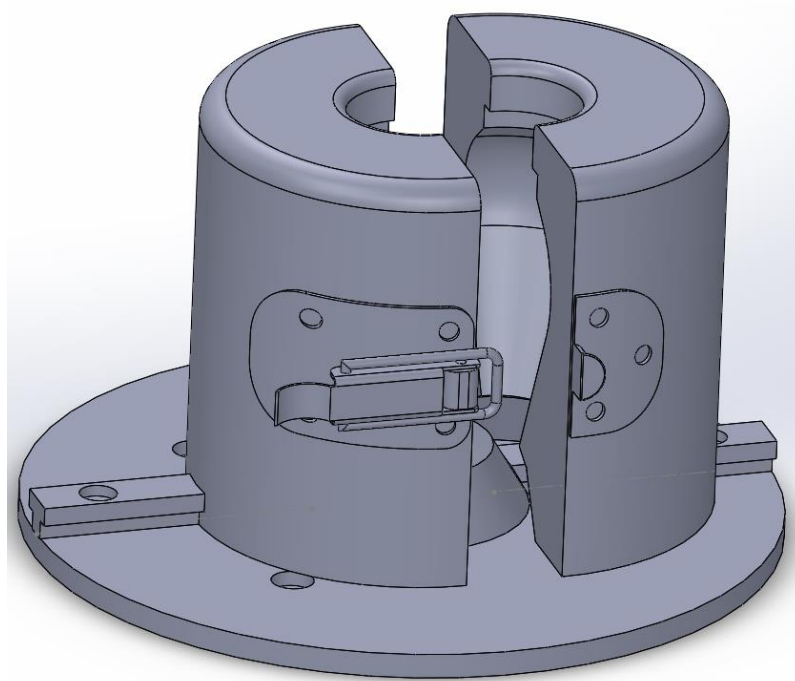
Mallinnusta lähdettiin toteuttamaan muotin suunnittelusta. Muotin mitat saatiin asiakkaalta. Urnanmuotin tulee olla mitoitettu saveen märkä mittoina, koska savi kutistuu kuivessaan ja samoin myös itse urna. Urnanmuotteja lähdettiin toteuttaa niin, että pienelle ja isolle urnalle löytyy omat muotit.

Molemmat muotit toimivat niin että, keskelle asetetaan tarvittava määrä savea. Tämän jälkeen savea painetaan ensin alaspäin, jonka jälkeen savimassaa ruvetaan painamaan seinämää vasten, jolloin urnan malli muotoutuu. Itse urnan muotti pyörii koko ajan. Pyörintä on toteutettu asiakkaan pyörintämootoria hyväksikäyttäen.

### **Pienen urnan muotti**

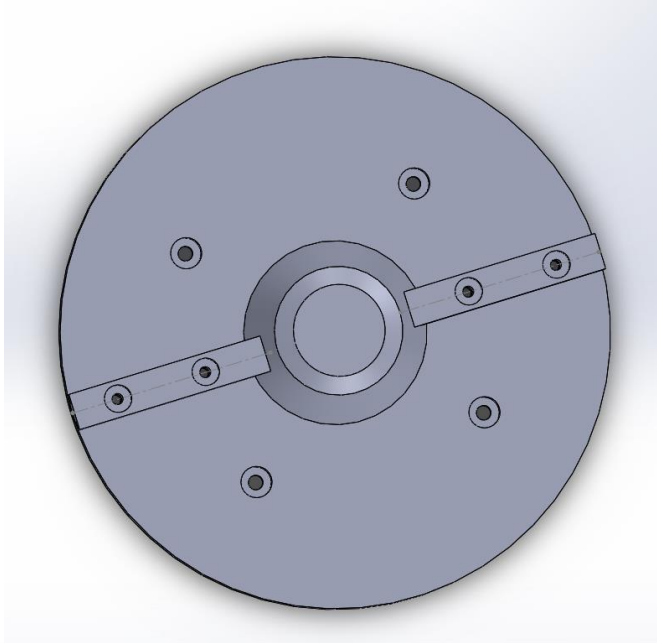
Pieni muotti on kaksiosainen (Kuva 6). Muotin osien kiinnitys on toteutettu salpalukolla molemmin puolin. Mikäli salpalukkojen kiinnitys ei ole riittävä voidaan niiden lisäksi muotin ympärille laittaa metallivanne, joka pitää muotit kiinni toisissaan. Muotin avaaminen on toteutettu mekaanisesti vetämällä muotit irti toisistaan. Avautumisen automatisoinnin

pois jättämisellä säästetään kuluissa sekä sähkösuunnittelussa. Muotit lähtevät kokonaan irti, joten uurnan pois ottaminen on helpompaa.

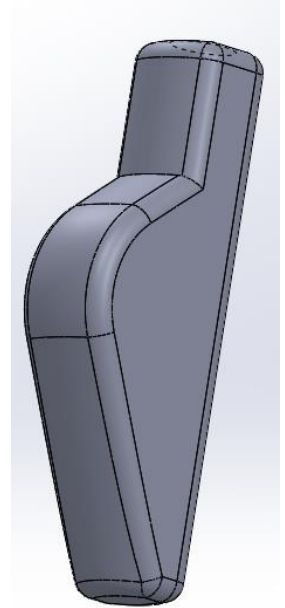


Kuva 6. Pienen uurnan muotti.

Pohjan (Kuva 7) kiinnitys pyörintämoottoriin on toteutettu M8-ruuveilla. Tarvittaessa ne voidaan irrottaa, kun halutaan vaihtaa muottia. Ruuvien omat paikat on suunniteltu siten, etteivät ruuvien omat kannat ota vastaan muotin osiin. Sama on tehty kiskoille, jota pitkin muotin osat kulkevat. Kiskot kiinnitetään pohjaan M6-ruuveilla. Kiinnityksissä on otettu huomioon ruuvien kantojen ja kierteiden mitat. Muottiin on tehty vastakappale, joka painaa savea muottia vasten (Kuva 8). Pienen uurnan seinämän paksuudeksi on määritelty 7 mm. Vastakappale on suunniteltu niin, että se jättää joka suuntaan halutun seinämän paksuuden ja muotoilee saveen oikean malliseksi (Kuva 8).



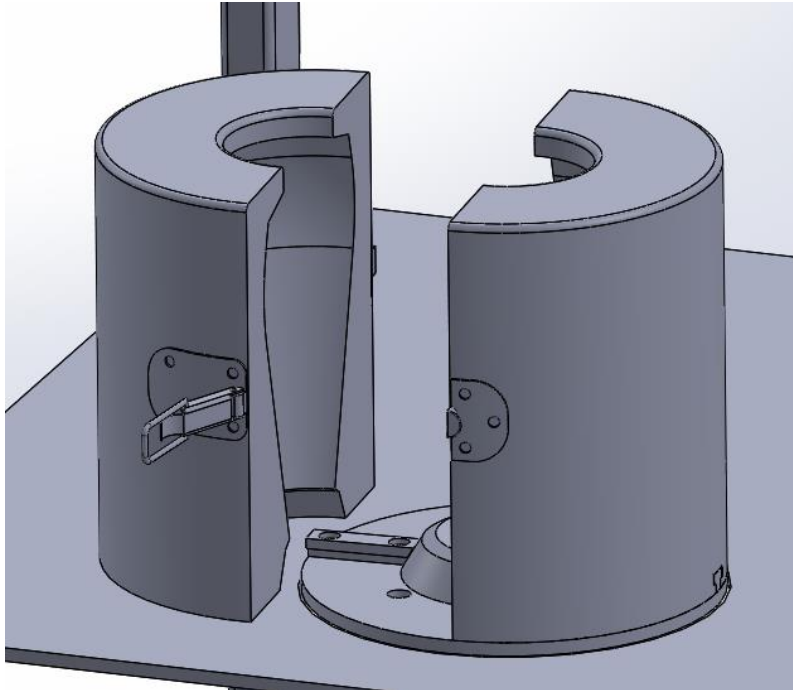
Kuva 7. Pienen uurnan pohja.



Kuva 8. Pienen uurnan vastakappale.

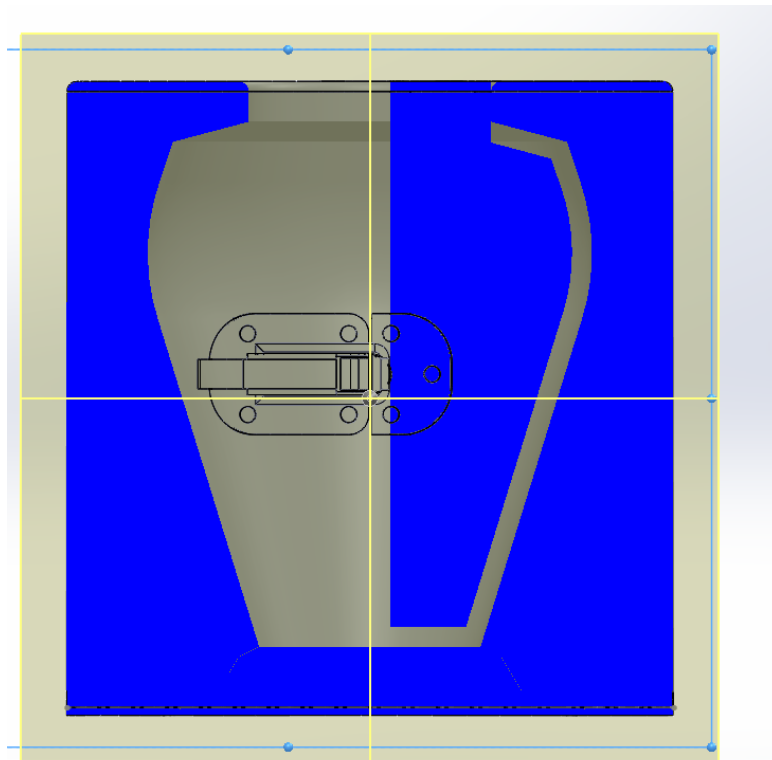
### Suuren uurnan muotti

Suuren uurnan muotti (Kuva 9) toimii täysin samalla periaatteella kuin pienempikin muotti. Suuren muotin malli on eri. Pienen uurnan suuaukko on erilainen kuin suuren ja muistuttaakin enemmän perinteistä uurnaa. Suuremman muotin mukaan on tehty myös valinnat moottoreihin. Tarkemmat mitat molemmista muoteista ja vastakappaleista ovat salassa pidettäviä tietoja, eikä siksi näytetä tässä opinnäytetyössä. Pohjapalojen keski-osat eroavat toisistaan vain kokonsa vuoksi. Samoin molempien muottien vastakappaleet on suunniteltu muotoilemaan molempien mallien mukaan, joten nekin tulee vaihtaa muottia vaihtaessa.



Kuva 9. Suuren uurnan muotti.

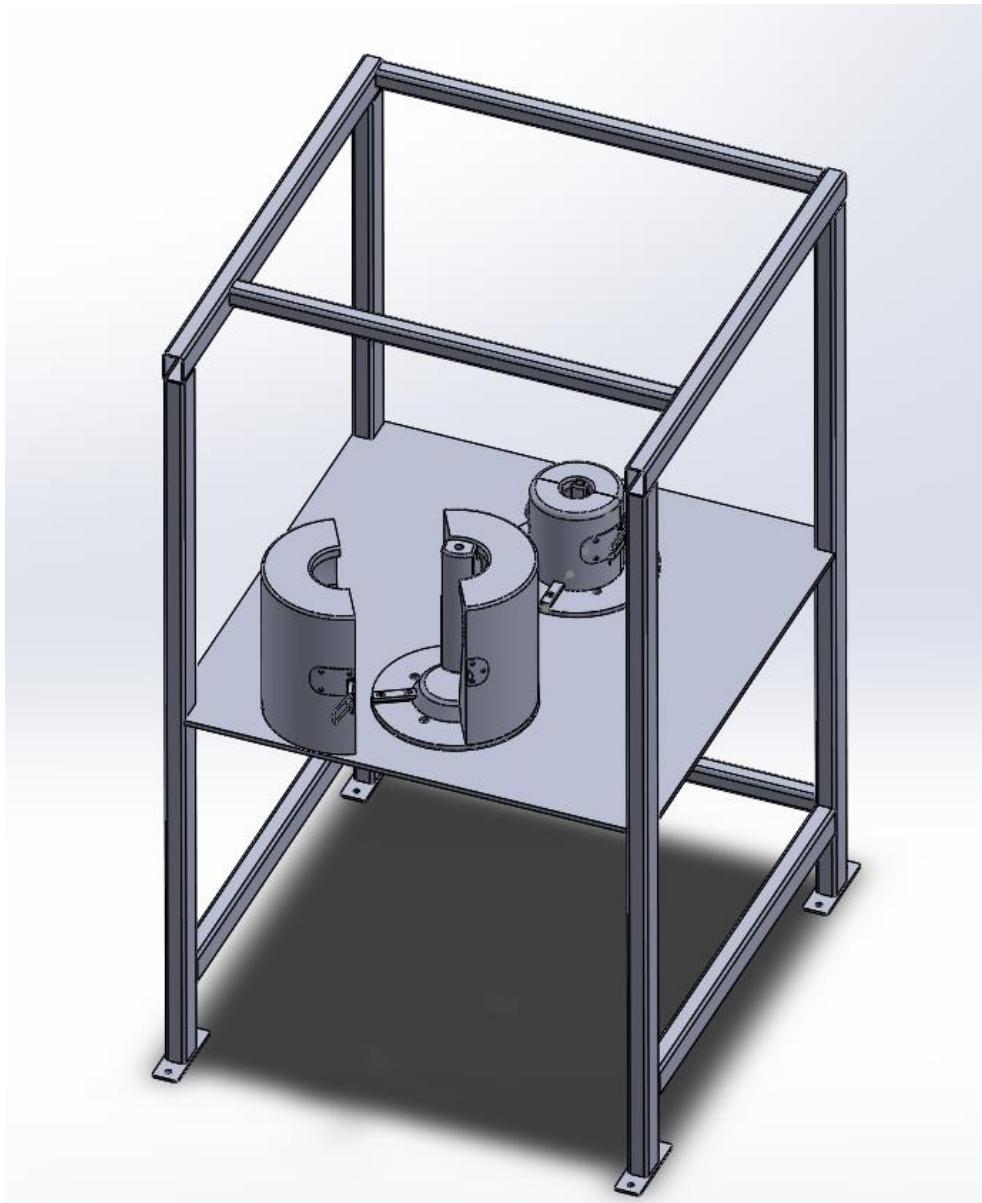
Leikkauskuvasta (Kuva 10) nähdään, kuinka uurnan malli muotoutuu kärjen painaessa savea muotin seinämiin. Suuremman uurnan seinämän paksuudeksi on määritetty 10 mm. Molempien uurnien malli muodostuu samalla periaatteella, vain malli ja koko muuttuvat.



Kuva 10. Leikkauskuva.

## Runko

Runko on toteutettu SFS-EN 10219-1 standardikokoisesta suorakaiteen muotoisesta putkipalkista. Putken mitat 60x40x3. Rungon saa kiinnitettyä ruuveilla lattiaan, joka tekee siitä vielä tukevamman. Sivutuet on tehty pienemmästä 40x40x4 kokoisesta neliönmuotoisista putkipalkeista. Rungon suunnittelussa on otettu huomioon, että mallinnetut putket ovat standardikokoisia, jotta ne olisivat helppo hankkia. Kokonaiskuvasta (Kuva 11) näkee rungon muodon ja rakenteen muotin kanssa. Moottoreita kokonaiskuvanmallinnuksessa ei ole, koska moottoreiden 3D-malleja ei ollut saatavilla. Moottorit sijaitsevat rungon yläosassa.



Kuva 11. Kokonaiskuva.

## 5.2 Voimamittaukset

Moottoria valittaessa oleellisin asia on, paljonko voimaa tarvitaan. Voiman mittaukseen on olemassa useita tapoja. Turun ammattikorkeakoulun fysiikan laboratoriosta sain käyttööni Celtronin s-tyypin voima-anturin. Anturilla voidaan mitata joko vetoa tai puristusta. Anturin päähän laitettiin kappaleita kuvaamaan erikokoisia sylintereitä, jotka painettiin saven läpi pöytään vasten. Näin saatiin tuloksia, joista pääteltiin tarvittava voima erikokoisille sylintereille. Voima-anturi ei näytä suoraa lukemaa newtoneina, vaan tulos piti kertoa vakiolla kalibroinnin takia. Voima-anturin kuormittava voima on suoraan verrannollinen voima-anturin lukemaan.

$$F = A * l$$

$F$  on voima-anturia kuormittava voima ja sitä vastaava lukema  $l$  sekä muutoskerroin vakio  $A$ , joka on määritelty kalibroinnin yhteydessä.

Saven alasajon maksivoimaksi saatiin 651N. Arvo on minimiarvo, jota valittavan servomoottorin tulee tuottaa. Sivuttaisliikkeelle emme saaneet määriteltyä voimaa, koska sen määrittämiseen soveltuvaa mittaria ei ollut saatavilla.

## 5.3 Servomoottori

Servokäyttö koostuu moottorista, asema- ja nopeusanturista. Yleensä samalta akselilta löytyy resolveri tai takometri sekä pulssianturi, joka mittaa pyörimisnopeuden sekä akselin kulman. Servomoottori toimii takaisinkytkentäperiaatteella ja sitä ohjataan elektronisen servo-ohjaimen avulla. Servo-ohjain vastaan ottaa asematiedon ja vertaa sitä haluttuun asematietoon. Servomoottori sopii hyvin tarkkuutta vaativiin kohteisiin. (Metropolia 2017a.)

## 5.4 Moottorin valinta

Moottorin valintaan vaikuttavia tekijöitä on voiman tarve ja kuinka liike halutaan toteuttaa. Tarkkaa vaatimusta moottoreiden nopeuksiin eikä kiihtyvyyksiin ei ollut, joten arvot perustuivat oletuksiin. Voimamittausten puutteellisuuden vuoksi jouduimme ylivoimittamaan moottoreiden voimat, jotta ne varmasti riittävät. Mikäli moottori valitaan sen mukaan, että



sen voimat juuri riittävät ja sen täytyy toimia koko ajan maksimivoimalla, moottori kuluu nopeammin. Valintaan vaikuttaa myös liikkeiden pituudet. Sivuttaissuunnassa liike on lyhyt, mutta korkeussuunnassa iskun pituus tulee olla vähintään suuren muotin korkeuden verran.

Valitsemamme moottorit tulevat SKS Oy:ltä. Moottoreiksi valittiin Exlar Tritex II -rullaruuvi lineaariaktuaattori (Kuva 12), missä on servomoottori, -vahvistin ja liikkeenohjain sekä lineaariliikkeen tuova rullaruuvi, tai akseli samassa paketissa. Moottoria voidaan ohjata, digitaalituloilla, analogiviesteillä tai kenttäväylän kautta. Moottorit soveltuvat hyvin tarkoitettuun prosessiin koteloinnin ja ominaisuuksien ansiosta. (SKS Group oy 2017a.)

Taulukko 1. Moottorin tekniset tiedot.

	Tekniset tiedot
Moottorit	Exlar Tritex II
Tyyppi	T2M075-1402-NFA-HD-138-40-230-SIO
Voima	1486N
Isku pystyliike	350mm
Isku vaakaliike	150mm
Nopeus	339mm/s
Hinta pystyliike	n. 3500e
Hinta vaakaliike	n. 3000e

Koska Exlar Tritex II -rullaruuvi lineaariaktuaattorissa on integroitu servovahvistin, voidaan ohjaus toteuttaa suoraan PLC:stä. Tämän vuoksi erillistä servo-ohjainta ei tarvita. Moottorit ovat siis valmiita paketteja. (SKS Group oy 2017a.)

Moottoreiden nopeus mahdollistaa myös erilaisten vastakappaleiden soveltamisen. Mikäli toteutusvaiheessa huomataan, että esimerkiksi pallomainen pää soveltuu työhön paremmin, pystytään hyödyntämään nopeaa liikettä moottoreiden kanssa. (SKS Group oy 2017a.)



Kuva 12. Exlar Tritex II T2 -Rullaruuvi lineaariaktuaattori. (Sks Group Oy 2017.)

Rullaruuvi (Kuva 13) toimii nimensä mukaisesti ruuveilla. Verrattain kuularuuviin, joka käyttää kuulia, ruuvit tarjoavat isomman kosketuspinta-alan ansiosta suuremman voiman sekä pidemmän käyttöiän. Rullaruuvi sopii hyvin saventyöstöön, koska se soveltuu hyvin epäsiisteihin olosuhteisiin sekä sillä on vähäinen huollontarve. (SKS Group Oy 2017b.)



Kuva 13. Rullaruuvi. (Sks Group Oy 2017.)

## 5.5 Ohjelmointi

Itse moottoreiden ohjelmointi toteutetaan vasta myöhemmässä vaiheessa ja siihen tarvittava logiikan valinta jätettiin työstä pois. Prosessi on kuitenkin niin pieni, että siihen riittää pienempikin logiikka, joten myöhemmässä vaiheessa logiikan valitseminen on helppoa.

Moottorit ovat monipuolisia sekä niiden ohjelmointiin löytyy monta eri tapaa. Perinteisen I/O-yksikön kanssa voidaan käyttää kenttäväylää esimerkiksi Modbussia, joka on avoin tietoliikennestandardi. Valitsemamme moottorit tukevat Modbus-kenttäväylää, kuten myös useat eri logiikat. (Schneider Electric 2017.)

Kenttäväylät yleisesti mahdollistavat tiedonsiirron kentälaitteiden ja automaatiojärjestelmien välille. Kenttäväylän etuja on kaksisuuntainen tiedonsiirto, kaapeloinnin ja ristikyt-kentöjen väheneminen sekä laitteiden keskinäinen käytettävyys. (Automaatio tietoliikenne tekniikka 2017, 2.)

## 5.6 Moottorin liikeradat

Moottoreiden kanssa tarvitaan lineaarijohde, jolla tehdään sivuttaisliike. Lineaarijohdeessa liikkuu kelkka, johon on kiinnitetty pystyliikkeen toteuttava moottori. Lineaarijohde tulee valita nopeuden, äänekkyuden, tasaisuuden ja tarkkuuden mukaan. Tähän työhön soveltuu hyvin Ignuksen DryLin W-lineaarijohde (Kuva 14), joka on helposti muokattavissa tarpeen mukaan. Johde on tehty anodisoitusta alumiinista, joten se kestää hyvin korroosiota ja kulutusta. Johteen tulee myös kestää likaantumista, sillä saveen työstössä saattaa lentää vettä sekä savea. (Ignus 2017.) Myös pienen painon sekä hiljaisuuden vuoksi se soveltuu mielestäni hyvin kyseiseen työhön.



Kuva 14. Ignuksen DryLin W. (Ignus 2017.)

Valituissa moottoreissa on paikoitus sisäänrakennettuna, joten tässä tapauksessa ulkoista anturitietoa ei tarvita. Moottoreiden liikkeet saadaan myös helposti rajoitettua erillisillä antureilla, mikäli valitaan moottorit, joissa ei ole antureita sisäänrakennettuna. Rajoitettavia liikkeitä on kotiaseman paikka, ääriasennot sekä paikoitus. Paikoitusta tarvitaan, kun halutaan tehdä pystysylinterin ajoliike alaspäin. Liikeratojen rajoittaminen voidaan toteuttaa induktiivisilla- tai mekaanisilla antureilla.

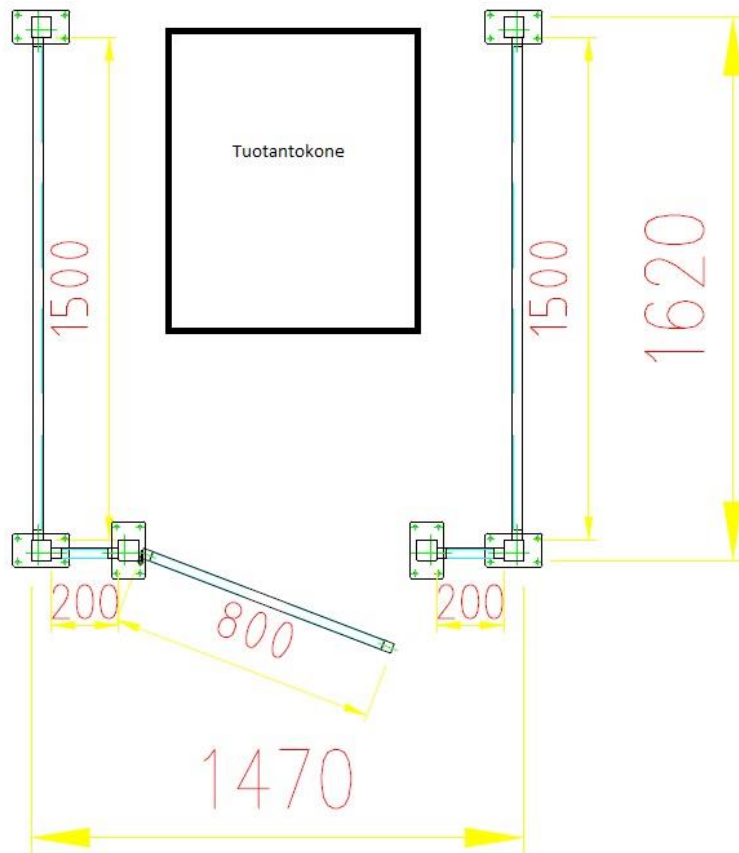
Mekaaninen rajakytkimiä käytetään yleensä turvakytkiminä niiden luotettavuuden takia, mutta ne soveltuvat hyvin myös liikeratojen määrittämiseen. Rajakytkin toimii vain selvän kosketuksen ansiosta. Induktiivinen anturi tunnistaa metallin, tai muun hyvin sähköä johtavan materiaalin. Toiminta perustuu yleensä värähtelypiiriin. Rakenne muodostuu oskillaattorista, tunnistuspiiristä ja vahvistimesta. Tunnistamiseen vaikuttavat tekijät ovat tuntopään halkisija, kappaleen sijainti suhteessa tuntopäähän ja materiaalin sähkönjohtavuus sekä magneettisuus. Induktiivinen anturi on monessa tapauksessa parempi kuin mekaaninen kytkin. Koskettoman toiminnan ansiosta se ei kulu. Ne ovat tunteettomia tärinälle, pölylle ja kosteudelle, jonka vuoksi ne soveltuvat hyvin tuotantokoneen valvontaan sekä paikantamiseen (Metropolia 2017b.)

## 5.7 Turva-aita

Turva-aidaksi valittiin Arion Pro-Tect turva-aita (Kuva 15). Turva-aidan yksi sivu on seinässä kiinni, joten aidattavaksi jää vain kolme sivua. Aita pitää sisällään

- verkkoelementit
- ovielementin
- tolpat
- käyntioven
- kuulalukon kahvalla
- kiila-ankkurit
- sähkölukon.

Turva-aidan sähköisen lukon saa ohjelmoitu niin, että sisään pääsee vasta tuotantokoneen pysähtyttyä.



Kuva 15. Turva-aita.

### 5.8 Kustannusarvio

Olen selvittänyt alustavat kustannusarviot osille. Työlle ja koneen rankentamiselle en määritä hintaa. Moottoreille tulee yhteensä hintaa noin 6 500 euroa. Pakettimuotoisella moottorilla säästetään erillisissä kaapelikustannuksissa, sillä erikoisservokaapeleita ei tarvita Turva-aidan osille tulee hintaa 830 euroa ja siihen lisäksi tarvittavat sähkölukko sekä lukon avaimet kustantavat 240 euroa. Linearijohde on metritavaraa, joten se ei tuo laitteelle paljoa lisähintaa. Johteen hinta on metriltä noin 50–60 euroa sekä johteelle tarvittavan kelkan hinta pyörii muutamissa kymmenissä euroissa. Koko koneen valmistamiselle lisähintaa tuo tietenkin muottien työstö, asennukset ja ohjausyksiköt.

## 6 YHTEENVETO

Työn keskeisenä tavoitteena oli tehdä painolaitteen automatisoinnin mekaniikkasuunnittelu sekä valita tarvittavat moottorit. Työssä lähdettiin liikkeelle täysin puhtaalta pöydältä. Koneen tarkoituksena on nopeuttaa asiakkaan tuotantoa, jotta kysyntään voitaisiin vastata paremmin.

Työn alussa käsiteltiin konesuunnitteluun liittyviä direktiivejä ja standardeja sekä miten ne liittyvät tämän koneen suunnitteluun. Näitä hyödynnettiin koneen suunnittelussa sekä riskinarvioinnissa, jonka avulla saatiin hyvin rajattua mahdolliset vaarat standardien mukaisesti. Turva-aita ja sen sähköinen lukitus rajasi pois ison osan suurimmista vaaratekijöistä. Vaikka turva-aita sijaitseekin lähellä tuotantokonetta toteuttaa se silti standardin SFS-EN ISO 13857 vaatimukset. Suunnittelu toteutettiin täyttämään standardien vaatimukset.

Muottien toteutustapaa ei ollut määritelty. Toteutustapaan pohdittiin useita eri vaihtoehtoja ja toteutin niistä parhaimmaksi osoittautuneen ratkaisun. Mallit toteutettiin asiakkaan antamista mitoista ja niin, että ne muistuttaisivat mahdollisimman paljon käsintehtyjä uurnia. Mekaniikkasuunnittelussa on huomioitu, että sähkökaapeleiden asentaminen on mahdollista. Työstä poistettiin tarkemmat mitat salassa pidon vuoksi, eikä niitä siksi esitetty tässä opinnäytetyössä.

Suurimmat ongelmat esiintyivät voiman mittauksissa. Tarvittavia mittareita voimien mittaamiseen ei ollut, jonka vuoksi voimat pystyttiin mittaamaan vain yhteen suuntaan. Tämä vaikutti oleellisesti moottoreiden valintaan. Moottoreiden voimat mitoitettiin suureksi, jotta ne olisivat varmasti riittävät.

Opinnäytetyön tekeminen oli haastavaa, koska vastaavanlaista konetta ei ole aikaisemmin tullut itselleni vastaan. En löytänyt myöskään tietoa, että vastaavanlaista konetta löytyisi Suomesta. Aiheen laajuuden vuoksi opinnäytetyöstä rajattiin automatisoinnin suunnittelu sekä sähkösuunnittelu pois. Opinnäytetyö onnistui hyvin antamaan suunnittelupohjan jatkoa varten koneen valmistukselle. Työssä valitut moottorit sekä turvallisuus ratkaisut soveltuvat hyvin suunniteltuun prosessiin. Elomaticin ohjaajan Timo Luoman opastus oli suureksi avuksi sekä opetuksen että suunnittelun kannalta. Tuotantokoneen valmistamisen täytäntöönpano tapahtuu tulevaisuudessa, mikäli tarvittava rahoitus löytyy.

## LÄHTEET

Automaation tietoliikennetekniikka 2017. Automaatioarkkitehtuurin nykytilanne. Viitattu 6.5.2017. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/05\\_0\\_Automaation%20tietoliikenne.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/05_0_Automaation%20tietoliikenne.pdf)

Elomatic 2017a. Elomatic lyhyesti. Viitattu 22.2.2017 <http://www.elomatic.com/fi/yritys/elomatic-lyhyesti.html>.

Elomatic 2017b. Meidän tarinamme. Viitattu 22.2.2017 <http://www.elomatic.com/fi/yritys/meidan-tarinamme.html>.

Ignus 2017. DryLin W – Advantages. Viitattu 11.5.2017 [http://www.igus.com/wpck/17374/dry-lin\\_w\\_vorteile](http://www.igus.com/wpck/17374/dry-lin_w_vorteile).

Kari Kolehmainen 2017a. Kuormituslajit lujuuslaskentaan. Viitattu 23.4.2017. <http://www.karikolehmainen.com/10789>

Kari Kolehmainen 2017b. Nurjahtaminen voimayhdistelmänä. Viitattu 29.4.2017 <http://www.karikolehmainen.com/181>.

Metropolia 2017a. AC- ja DC-servokäytöt ja sovellusalueet. Viitattu 27.4.2017 <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=44959828>.

Metropolia. 2017b. Induktiivinen rajakytkin. Viitattu 27.4.2017 <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Induktiivinen+rajakytkin>.

Metsta 2017. Standardien hierarkia. Viitattu 21.4.2017 [http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden\\_teemasivut/standardisointi/01-03-00.php](http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/standardisointi/01-03-00.php).

Nurjahdus 2017. Wikipedia. Viitattu 29.4.2017. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Nurjahdus>

Schneider Electric 2017. Modbus. Viitattu 6.5.2017 <http://www.schneider-electric.fi/fi/product-range/574-modbus/>.

SFS EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen Viitattu 5.3.2017

SFS ISO/TR 14121-2. 2013. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Viitattu 5.3.2017

SFS-EN ISO 13850. 2015. Koneturvallisuus. Häätöpysäytys. Suunnitteluperiaatteet. Viitattu 21.4.2017

SFS-EN ISO 14119. 2013. Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta. Viitattu 21.4.2017

Siirilä, T. & Sundquist, M. 2009. Käyttöasetuksen (403/2008) soveltamisohjeita. Koneyhdistelmien tekniset turvallisuusvaatimukset. Konelinjat, robottisolut, prosessien koneyhdistelmät. Viitattu 15.4.2017 [http://www.sundcon.fi/uploads/Kaytt\\_asetuksen\\_soveltamisohje.pdf](http://www.sundcon.fi/uploads/Kaytt_asetuksen_soveltamisohje.pdf).

SKS Group Oy 2017a. Tritex II -servoakuaattori. Viitattu 6.5.2017 [http://www.sks.fi/www/images/Tritex-II-Fin-250310.pdf/\\$FILE/Tritex-II-Fin-250310.pdf](http://www.sks.fi/www/images/Tritex-II-Fin-250310.pdf/$FILE/Tritex-II-Fin-250310.pdf).

SKS Group Oy 2017b. Rulla- vs kuularuuvi. Viitattu 6.5.2017 [http://www.sks.fi/www/images/Rullaruuvi-vs-Kuularuuvi\\_0812.pdf/\\$FILE/Rullaruuvi-vs-Kuularuuvi\\_0812.pdf](http://www.sks.fi/www/images/Rullaruuvi-vs-Kuularuuvi_0812.pdf/$FILE/Rullaruuvi-vs-Kuularuuvi_0812.pdf).

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2017a. Mihin standardeja tarvitaan? Viitattu 1.3.2017 [http://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi/mihin\\_standardeja\\_tarvitaan](http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/mihin_standardeja_tarvitaan)

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2017b. SFS, EN, ISO? Viitattu 1.3.2017 [http://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi/sfs\\_en\\_iso](http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/sfs_en_iso).

Tukes 2017a. CE-merkintä. Viitattu 1.3.2017 <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/CE-merkki/>.

Tukes 2017b. Koneet. Viitattu 1.3.2017 [http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/Tavaroiden-turvallisuusvaatimuksia/Kuluttajakayttoiset\\_koneet/](http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/Tavaroiden-turvallisuusvaatimuksia/Kuluttajakayttoiset_koneet/).

Valtanen, E. 2002. Tekniikan Taulukkirja. 12., painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy

Valtioneuvosto 2016. Valtioneuvoston periaatepäätös älykkästä robotiikasta ja automaatiosta. Viitattu 8.5.2017 <http://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f804c7484>.