

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät
Antti Aaltonen

Opinnäytetyö

Vaahdotuskoneen suunnittelu myyntiin soveltuvaksi

Työnohjaaja
Työn tilaaja
Tampere 5/2010

Lehtori Yrjö Viitanen
Tutkija Tomi Maksimainen, GTK

Tampereen ammattikorkeakoulu, ylempi amk-tutkinto

Kone- ja tuotantotekniikka

Modernit tuotantojärjestelmät

Tekijä	Antti Aaltonen
Työn nimi	Vaahdotuskoneen suunnittelu myyntiin soveltuvaksi
Sivumäärä	43 s. + 3 liitettä
Valmistusmispäivä	20.5.2010
Työn ohjaaja	Lehtori Yrjö Viitanen
Työn tilaaja	Tutkija Tomi Maksimainen, GTK

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Outokummun Geologian tutkimuskeskuksen laboratoriovaahdotuskoneen myyntiin saattaminen. Työn tavoitteena oli suunnitella vaahdotuskoneesta turvallisempi, minimoida kaikki sen liikkuvien osien aiheuttamat riskit, luoda ulkonäöllisesti paremman näköinen kokonaisuus, tehdä vaahdotuskoneesta kolmiulotteinen kokoonpano ja laatia sen pohjalta valmistusta varten tarvittavat työpiirustukset.

Vaahdotuskoneella tutkitaan rikastenäytteiden vaahdotusprosessia. Tutkimustuloksista selviää, mitä malmeja tutkittu näyte sisältää ja millaisen rikastusprosessin niiden käsittely vaatii. Tulosten pohjalta etsitään oikea menetelmä rikastamoa varten eli suunnitellaan sama vaahdotusprosessi isompia näyte-eriä varten.

Suunnitteluprosessi alkoi suunnittelupalaverilla, jonka jälkeen vaahdotuskoneesta alettiin laatia tarvittavia malleja. Suunnitteluprosessissa käytettiin apuna SolidWorks 2010 –mallinnusohjelmaa. Vaahdotuskoneeseen valittujen komponenttien mallit saatiin komponenttivalmistajilta ja mallinnusohjelman standarditietokannasta.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin 3D-mallit vaahdotuskoneen osista, osakokoonpanoista ja lopullisesta pääkokoonpanosta. Niiden pohjalta tehtiin 2D-piirustukset ja tekniset tiedostot.

Opinnäytetyö toimi osana koko vaahdotuskoneen valmistusprosessia ja antoi esimerkillisen pohjan suunnittelutyöstä, sen kulusta ja merkityksestä koko valmistusprosessissa.

Avainsanat vaahdotuskone, 3D-mallinnus, konesuunnittelu

TAMK University of Applied Sciences, Bachelor's Degree

Mechanical engineering

Writer	Antti Aaltonen
Thesis	Delivering a Flotation Machine into Market
Pages	43 p. + 3 attachments
Graduation time	20.5.2010
Thesis Supervisor	Professor Yrjö Viitanen
Co-operating Company	Researcher Tomi Maksimainen, GTK

ABSTRACT

The aim of this engineering thesis was to help deliver into market a flotation machine owned by Outokumpu Geological Survey of Finland (GTK). The main mission was to develop a safer flotation machine. The risks that the moving parts could potentially cause were minimized and the appearance of the machine was improved. A three-dimensional model of the assembly was made, which was then used for making two-dimensional drawings required for manufacturing the machine.

The flotation machine is used to examine the flotation process of concentration samples. The results reveal which ores the sample includes and what kind of a concentration process they require. Based on the results, the correct flotation procedure for larger sample quantities can be found.

The designing process started with a planning meeting after which the modeling of the flotation machine started. The designing process was made with Solid Works 2010 designing software. All the component models selected for the flotation machine were chosen from component producers' and modeling programs' databases.

As a result of this thesis, 3D-models of the flotation machine's parts, part assemblies and the final main assembly were created. 2D-drawings and technical files were made based on the 3D-models.

This thesis was a part of the entire production process and gave a comprehensive picture of designing work, designing process work flow and its role in the production process.

Keywords flotation machine, 3D-modeling, machine designing

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
1.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	6
1.2	Geologian tutkimuskeskus	7
1.3	AMT Systems Oy	10
2	Vaahdotusprosessi ja -laitteisto	11
2.1	Vaahdotusprosessi	11
2.2	Vaahdotuskone	12
3	Suunnitteluprosessin lähtökohdat	15
3.1	3D-mallintamisen ja 2D-piirustuksen periaatteet	15
3.2	Suunnittelun periaatteet	16
3.2.1	<i>Valmistusprosessin kulku</i>	<i>16</i>
3.2.2	<i>Suunnittelussa huomioitavat asiat</i>	<i>17</i>
3.2.3	<i>3D-suunnittelun periaatteet</i>	<i>18</i>
3.3	Konedirektiivit.....	19
4	Mallinnusprosessin kuvaus	20
4.1	Mallinnusprosessin merkitys työssä.....	20
4.2	Ensimmäinen ideointi.....	20
4.3	Kappalekohtainen mallinnus	21
4.4	Kokoonpano.....	21
4.5	Kokoonpanomuutokset toimivaksi kokonaisuudeksi.....	23
4.5.1	<i>Moottorin sijoitus.....</i>	<i>23</i>
4.5.2	<i>Kaavinyksikön sijoitus ja säätömekanismi.....</i>	<i>24</i>
4.5.3	<i>Liikkuvien osien suojat ja työturvallisuus.....</i>	<i>24</i>
4.5.4	<i>Ulkonäkö ja kasaaminen.....</i>	<i>25</i>
4.5.5	<i>Ohjauspaneelin sijoitus ja käyttäjän näköyhteys prosessiin.....</i>	<i>25</i>
4.6	Toimivan kokoonpanon valinta	26

4.7 Työkuvien laatiminen	26
5 Suunnitteluprosessin tulosten esittely	27
5.1 Runko.....	27
5.2 Moottori	29
5.3 Kaavinyksikkö	30
5.3.1 Pystysuunnan sylinteri	30
5.3.2 Vaakasuunnan sylinteri.....	32
5.4 Suojalaitteet	32
5.4.1 Vastapaino	33
5.4.2 Kaavinsylinterin tehojen laskeminen	35
5.4.3 Käynnistyksen esto	36
5.4.4 Valaistus.....	36
5.5 Ohjauspaneeli	36
5.6 Sähkökomponentit	37
5.7 Pneumatiikka	37
5.8 Vaahdotuskonetta koskevat standardit.....	38
6 Yhteenveto ja oman työn arviointia	40
6.1 Työn tavoitteet ja toteutuminen.....	40
6.2 Opinnäytetyöni asema vaahdotuskoneen valmistusprosessissa	41
6.3 Kehittämissideat	42
Lähteet	43
Liitteet	

ERITYISSANASTO

Direktiivi	Euroopan unionin lainsäädäntöohje.
Kokoonpano	Useita malleja sisältävä esitys, jossa osat on sidottu toisiinsa sidosehtoja käyttäen.
Kuvageneraattori	Kuvakääntäjä, joka kääntää 3D-mallista 2D-piirustukset.
Malli	Kappaleen tarkka 3D-kuvaus
Rikastus	Malmien arvomineraalien eroitusprosessi.
Sketsi	Mallin tuottamiseen tarkoitettu ahiopiirros, joka piirretään tasolle tai valittuun pintaan.
Standardi	Organisaation esittämä ohje tietyn asian oikeanlaisesta suorittamisesta.
Toleranssi	Valmistustarkkuuden raja-arvot
3D-mallinnus/suunnittelu	Kolmiulotteinen suunnittelu

1 Johdanto

Tämä raportti on Tampereen ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö. Sen tavoitteena on edistää laboratoriovaahdotuskoneen myyntiin saattamisprosessia. Työssä on suunniteltu Geologian tutkimuskeskuksessa käytössä olevalle vaahdotuskoneelle vaadittavat suojausmekanismit ja valmistusta silmällä pitäen toimivampi kokoonpano sekä laadittu tarvittavat osa-, ja työpiirustukset sekä tekniset rakennetiedostot. Suunniteltua vaahdotuskonetta tullaan valmistamaan myyntiin suunnitteluprosessin pohjalta kolme kappaletta ja myymään lähitulevaisuudessa niin kotimaahan kuin ulkomaille.

Mallinnus tapahtui pääasiassa valmistuksesta vastaavan AMT Systems Oy:n tiloissa, jossa suunnitteluprosessiani varten oli nähtävillä suurin osa vaahdotuskoneen rakennusmateriaalista ja ammattitaitoinen työnohjaus. Sain sieltä alkuperäispiirustuksia ja pitämäni esityksen pohjalta käyttäjien palautetta työtäni varten.

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Vaahdotuskoneella tutkitaan rikastenäytteiden vaahdotusprosessia. Tutkimustuloksista selviää, mitä malmeja tutkittu näyte sisältää ja millaisen rikastusprosessin niiden käsittely vaatii. Tulosten pohjalta etsitään oikea menetelmä rikastamoa varten eli suunnitellaan sama vaahdotusprosessi isompia näyte-eriä varten.

Tutkintotyöni tarkoituksena oli suunnitella myyntivalmis ja CE-hyväksyttävä vaahdotuskone, jossa olisi vaadittavat suojalaitteet turvallisen käyttämisen takaamiseksi. Turvallisuutta suunniteltaessa arvioitiin vaahdotuskoneen käytöstä aiheutuvia mahdollisia riskejä ja huomioitiin vaahdotuskonetta käyttäneiden laboranttien palaute, ja tämän pohjalta koneeseen kehitettiin mahdollisimman esteettömästi toimivat suojaratkaisut. Samalla koneen rakennetta muutettiin, jotta kone olisi nopeampi, yksinkertaisempi ja halvempi valmistaa. Työssä laadittiin myös myyntiin ja valmistukseen tarvittavat koneen osia määrittävät osa-, osakokoonpano- ja levytyöstöpiirustukset sekä tekniset ra-

kennetiedot.

Geologian tutkimuskeskuksen Outokummun yksikössä on laboratoriokäytössä vaahdotuskoneita neljä kappaletta. Kyseisiin koneisiin ei ole suunniteltu suojalaitteita eikä niihin tulla tekemään tässä työssä suunniteltuja muutoksia, koska koneita käytetään ainoastaan yksikön omassa tutkimustyössä. Alkuperäinen rakenne koneesta esitellään tässä työssä lyhyesti. Oma tehtäväni oli suunnitella alkuperäiseen koneeseen konedirektiivit täyttävät suojat pyörivien ja liikkuvien osien eteen. Myyntiin saattamiseksi koneen on oltava CE-hyväksytty, mikä edellyttää sen täyttävän tietyt sille asetetut vaatimukset ja turvallisuusmääräykset. Turvallisuusmääräykset ovat pääasiallisesti direktiivien asettamia vähimmäisvaatimuksia, jotka pysyvät samoina Euroopan talousalueeseen kuuluvissa maissa.

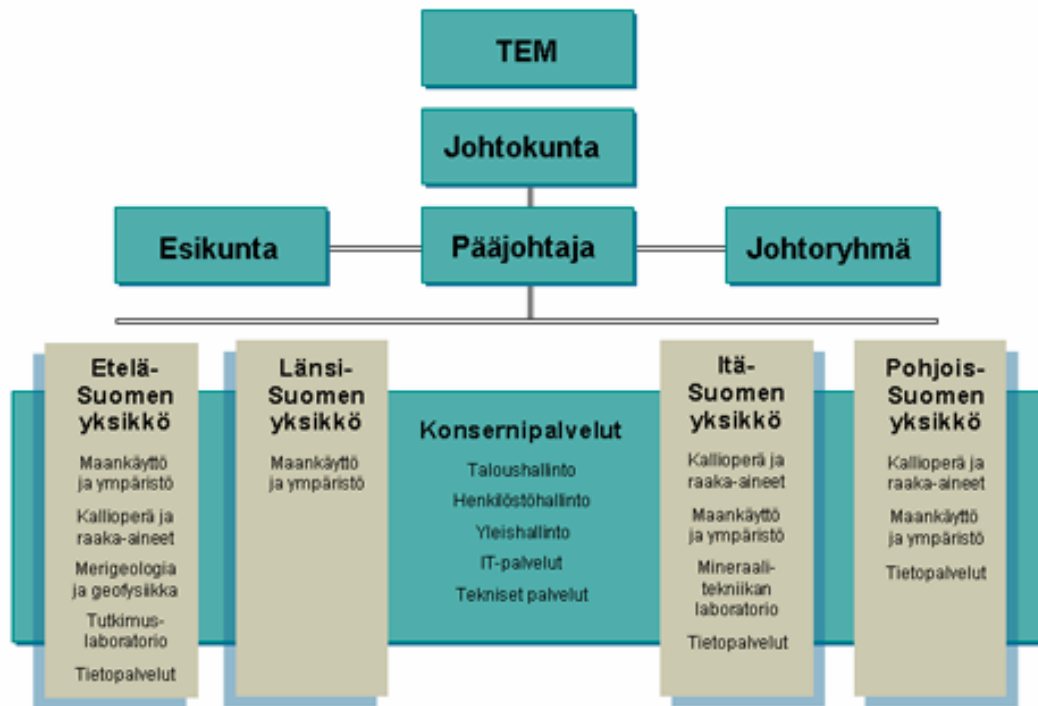
Esitän tutkintotyöni alussa lyhyesti Geologian tutkimuskeskuksen toimintaa Suomessa, Outokummun toimipisteen ja AMT Systems Oy:n toimintaa. Luvussa 2 esittelen rikastus- ja vaahdotusprosessin sekä itse vaahdotuskoneen toimintaperiaatteen, luvussa 3 suunnitteluprosessin lähtökohdat ja luvussa 4 raportoin mallinnusprosessin kulun vaiheittain. Lopuksi selvitän, millaiseen kokonaisuuteen olen päätenyt suunnitteluprosessin myötä. Havainnollistan vaahdotuskoneen suunnitteluprosessia piirtämälläni 3D-kuvilla.

1.2 Geologian tutkimuskeskus

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) tehtävänä on tuottaa ja levittää geologista tietoa, jolla edistetään maankamaran hallittua ja kestävästä käyttöä. GTK kartoittaa ja tutkii maankamaraa ja sen luonnonvaroja, vastaa alansa kansallisesta tietopalvelusta sekä tuottaa asiakkaidensa tarvitsemia palveluja ja toimii aktiivisesti kansainvälisissä projekteissa. GTK on työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) alainen asiantuntijaorganisaatio, joka perustettiin 1885. (Geologian tutkimuskeskus.)

GTK:n toimintaa ohjaa ja valvoo valtioneuvoston nimittämä johtokunta ja toimintaa johtaa pääjohtaja. GTK:n toimintaorganisaatio muodostuu tutkimusohjelmia toteuttavista

ta tulosyksiköistä ja muista yksiköistä (kuvio 1). Yksiköiden tehtäväalat on määritelty GTK:n työjärjestyksessä. (Geologian tutkimuskeskus.)



Kuvio 1. GTK:n organisaatiokaavio (Geologian tutkimuskeskus).

Vaahdotuskone on käytössä GTK:n mineraalitekniikan laboratoriossa. Laboratorion pääasiallinen tehtävä on kehittää uutta osaamista mineraalien jauhatus- ja rikastusprosesseihin ekotehokkuus huomioiden ja tuottaa rikastusteknisiä tutkimuspalveluja kaivosteollisuuden tarpeisiin. Mineraalitekniikan tutkimuskokonaisuus kattaa ketjun mineralogisesta tutkimuksesta ja laboratoriomittakaavan rikastuskokeista lähtien aina jatkuvatoimisiin pilotmittakaavan koeajoihin saakka, mikä tekee laboratoriosta harvinaislaituuden kansainvälisestikin tarkastellen. (Geologian tutkimuskeskus.)

Mineralogisen tutkimuksen pääpaino on prosessimineralogiassa. Mineralogisista analyyseistä on tullut oleellinen työkalu kehitettäessä mm. mineraalien rikastusmenetelmiä. Erityisesti nykyaikainen Mineral Liberation Analyser (MLA) on avannut uusia mahdollisuuksia karakterisoida malminetsinnän, kaivostoiminnan, rikastustekniikan ja sulattojen mineraalituotteita sekä ympäristönäytteitä. (Geologian tutkimuskeskus.)

Mineraalitekniikan laboratoriomittakaavan valmiuksiin kuuluvat prosessikemian tutkimus (mm. hydrofobisuus- ja elektrodipotentialimääritykset) sekä jauhautuvuus- ja rikastustutkimukset. Pääasiallisen rikastustutkimusmenetelmän, vaahdotuksen, ohella laboratoriossa tehdään mm. painovoima- ja magneettierotuksia sekä sakeutus- ja suodatus tutkimuksia. Laboratoriossa kehitetään rikastusprosessimenetelmä, jonka toimivuutta testataan laajemmassa skaalassa minipilot- ja pilot-tutkimuksin. Vaikeasti rikastettavia mineraaleja on mahdollista erottaa hydrometallurgisesti liuottamalla (normaali- ja korkeapaineliuotukset). Bioliuotusta on hyödynnetty erityisesti perusmetallien talteenotto-menetelmänä. (Geologian tutkimuskeskus.)

Minipilotissa materiaalin syöttökapasiteetti on tavallisesti 10 – 20 kg/h ja sillä on mahdollista saada alustava käsitys jatkuvatoimisen prosessin toiminnasta. Minipilot-laitteisto on rakennettu konttiin, joten se on helposti siirrettävissä paikan päälle haluttuun kohteeseen. (Geologian tutkimuskeskus.)

Koetehdaskokonaisuus käsittää useita erilaisia yksikköprosesseja (mm. murskaus, jauhatus, luokitus, painovoima-, raskasväliaine- ja magneettierotukset, vaahdotus, sakeutus), jotka ovat helposti yhdistettävissä toimivaksi, kuhunkin tapaukseen soveltuvaksi kokonaisprosessiksi. Prosessinohjaus ja tiedonkeruu tapahtuvat uudenaikaisella prosessinohjausjärjestelmällä. Koetehtaassa materiaalin syöttökapasiteetti on 0.5 – 5 tonnia/h, joten koeajojen tulosten perusteella voidaan saada kuva todellisen mittakaavan rikastusprosessin tehokkuudesta ja arvioida mineraaliesiintymän kaupallista hyödynnettävyyttä. Tyypillinen näytemäärä jauhatus-vaahdotus-koeajoa varten on 100 – 300 tonnia. (Geologian tutkimuskeskus.)

Mineraalitekniikan prosessien soveltuvuus ympäristö- ja kierrätystutkimuksiin on todennettu eri hankkeissa, esimerkkeinä pilaantuneiden maiden puhdistus sekä metallien erottaminen teollisuuskuonista. Menetelmiä ja uusia hyödyntämiskohteita kehitetään edelleen. (Geologian tutkimuskeskus.)

1.3 AMT Systems Oy

AMT Systems Oy on Polvijärvellä toimiva tutkimuslaitteita ja -menetelmiä tilaustyönä suunnitteleva ja valmistava yritys. Sen tarjolla oleviin palveluihin ja tuotteisiin kuuluvat automaattisesti toimivat PC-ohjatut mittaus- ja testauslaitteet sekä analyysimekaniikat, automaattiset tuotantokoneet, kappaleenkäsittelijät ja kokoonpanoautomaatit, olemassa olevien teollisuus- ja tutkimuslaitteiden modernisointi ja automatisointi (esim. tämän opinnäytetyön vaahdotuskone) sekä kappaleen käsittelysolut teollisuusroboteilla. (AMT Systems Oy.)

2 Vaahdotusprosessi ja -laitteisto

2.1 Vaahdotusprosessi

Vaahdotus on yleisin rikastusmenetelmä sekä metalleja sisältäville malmeille että teollisuusmineraaleille. Vaahdotusta voidaan lisäksi käyttää mm. kierrätysmateriaalien käsittelyssä, pilaantuneiden maiden puhdistuksessa ja vedenpuhdistuksessa. (Geologian tutkimuskeskus.)

GTK Mineraalitekniikassa on vaahdotustutkimuksiin monipuoliset laitteistot ja kokemusta satojen eri malmien ja muiden näytteiden rikastamisesta. Tutkimusten mittakaava ulottuu laboratoriossa tehtävistä panoskokeista koetehtaalla jatkuvatoimisina ajettaviin mittaviin kampanjoihin. (Geologian tutkimuskeskus.)

Uuden malmi- tai muun näytteen tutkimukset aloitetaan laboratoriokokeilla, joihin näytettä tarvitaan muutamista kymmenistä joihinkin satoihin kiloihin, tavallisesti kairasydäminä. Tutkimuksen alkuun kuuluu oleellisena osana näytteen kemiallinen ja mineraloginen analysointi. Laboratoriokokeilla selvitetään vaahdotuksen perusmuuttujat ja saavutettavissa olevat saanti- ja pitoisuustasot arvokomponenteille. Tältä pohjalta voidaan sitten suunnitella isomman mittakaavan kokeet joko minipilot- tai pilot-ajoa varten. (Geologian tutkimuskeskus.)

Jatkuvatoimisen minipilot-piirin vaahdotuskoneissa on samat roottori- ja staattorimekanismit kuin laboratoriolaitteissa, mutta kuhunkin koneyksikköön on asennettu neljä kennoa peräkkäin. Tällä siirrettävissä olevalla rikastuspiirillä tutkimuksia voidaan suorittaa noin 0,5 – 2 tonnien näytteillä. (Geologian tutkimuskeskus.)

Koeajo pilot-mittakaavassa tarjoaa mahdollisuuden tutkia monipuolisesti erilaisia rikastuskaavioita ja erilaisia menetelmä- ja laitevaihtoehtoja. Näytettä tarvitaan tavallisesti noin 50 – 300 tonnia, joskus useita tuhansia tonneja. Vaahdotuspiirien peruslaitteina on laaja valikoima mekaanisia vaahdotuskoneita kennokooltaan 50 litrasta 1,5 m³:iin. Käytettävissä on lisäksi 70 litran Skim-Air-kone karkeavaahdotukseen, SIF-karkeavaahdotuskenno (300 litraa) sekä useita erityyppisiä vaahdotusvalmentimia tilavuuksiltaan muutamasta litrasta kolmeen m³:iin. Vaahdotuspiirin seuranta ja säätöä

varten koetehdas on varustettu jatkuvatoimisella analysaattorilla sekä korkeatasoisella instrumentoinnilla ja automaatiolla. (Geologian tutkimuskeskus.)

2.2 Vaahdotuskone

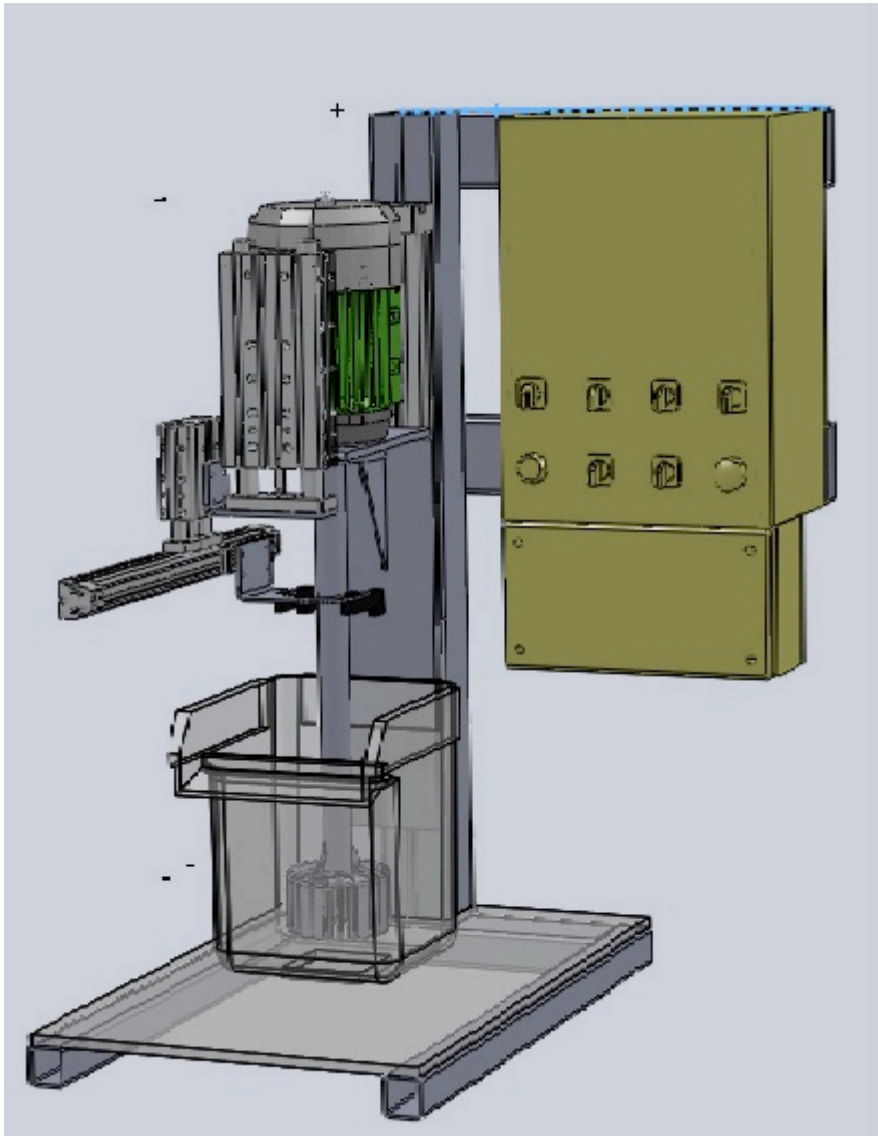
Koneen toimintaperiaate perustuu staattorin, roottorin ja pyörivän roottorin akselin läpi johdetun ilman, kaasun ja veden synnyttämään vaahtoamiseen, jonka ilmakuplien mukana näytteessä olevat rikastehiukkaset nousevat näytteen pinnalle. Koneeseen rakennettu kaavin kaapii automaattiliikkeellä syntyneen vaahdon kennon pinnalta erilliseen astiaan. Automatiikalla taataan tarkasti toistettavat koetulokset. Vaahdon muodostumista säädelään roottorin kierrosnopeudella, ilman, hiilidioksidin ja veden syötöllä. Vaahdotusprosessi toistetaan näytteelle useita kertoja, jotta näytteestä saataisiin tarkemmat arvot ja suuri rikastesaaanti.

Laboratoriotutkimuksissa käytetään vaahdotuskoneita, joissa kennokoko on valittavissa 1.5 litrasta 15 litraan. Vaahdotuksen kemiallisia olosuhteita säädetään ja seurataan pH:n, elektrodipotentiaalien ja happipitoisuuden mittauksilla. (Geologian tutkimuskeskus.)

Kyseinen vaahdotusmenetelmä poikkeaa normaalista vaahdotusprosessista. Normaali vaahdotusprosessi tapahtuu jatkuvassa virtauksessa ja näin vaahto virtaa ulos koko ajan. Laboratoriotason vaahdotusprosessissa puhutaan näin ollen panoskoikeesta, koska vaahto syntyy virtaamattomaan astiaan ja käsiteltävän näytteen koko on huomattavasti pienempi.

Vaahdotuskone on rakennettu alun perin GTK:n omaan tutkimuskäyttöön. Ensimmäinen versio laitteesta tuli käyttöön noin 10 vuotta sitten. Kyseinen malli oli kiinteärakenteinen kone, jossa kaavinta tapahtui kokonaan manuaalisesti.

Seuraavassa mallissa koneen käyttäjän rasiusta haluttiin vähentää automatiikalla, ja koneeseen lisättiin paineilmasyylinterit ja ohjelmoitu logiikka. Paineilmasyylinterillä säädelään roottorin sekä staattorin korkeutta, kaapimien vaakataso liikeradan korkeutta ja itse kuorijoiden liikettä (kuvio 2).



Kuvio 2. Vaahdotuskone.

Vaahdotuskoneen osista noin 20 % on rakennettu itse ja loput osista on teetätetty tilaustyönä tai tilattu valmiina komponenteinä. Koneeseen hitsataan runko ja moottorin kiinnitysalku sekä roottorin suojausputken kokoonpano. Muoviosat eli kaavinyksikön korkeuden säädin ja pohjalevy leikataan käsin. Valmiina komponentteina koneeseen tilataan männän varrettomat paineilmasylinterit, sähkökaapit, pneumatiikkaosat, liittimet, virtausmittarit, letkut ja moottori. Tilaustyönä teetetään kaavinjalat, kaavinjalkojen kiinnitykset, roottorin akseli, roottorin suojausputken pätylaippa, staattorin ja roottorin lavat ja rungot.

Koneessa on käytetty pääsääntöisesti haponkestävää terästä, koska näytteisiin käytetään eri happoja. Hapon kestävästä teräksestä valmistetaan runko, moottorin kiinnitysalku, roottorin suojaletki sekä staattori- ja roottorikokoonpanot. PVC-osat ovat kaavinyksikön korkeuden säädin, kaavinalku, pohjalevy, kennot 2 litrasta 15 litraan ja käytetyt säätöpalkit.

3 Suunnitteluprosessin lähtökohdat

3.1 3D-mallintamisen ja 2D-piirustuksen periaatteet

3D-mallinnuksella tarkoitetaan erilaisten tuotteiden suunnittelua kolmiulotteisesti. Suunnittelijan näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että kappaleet, osat ja kokoonpanot näyttävät oikeilta ja niille annetaan kaikki ne fysikaaliset sekä mekaaniset ominaisuudet, jotka valmistettavalla tuotteella todellisuudessa on. Tuote suunnitellaan kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaattiakseleista. (Tuhola & Viitanen 2008, 17.)

3D-mallinnus tapahtuu seuraavia vaiheita noudattaen:

- Lähtötiedot
 - Suunnittelijalla on idea, valmis luonnos tai jopa valmis tuote tai toimeksianto, jota hän lähtee työstämään.
- Esivalmistelu
 - Järjestelmä viritetään syöttämällä siihen asiakkaan tuotteen pohjatiedot ja tarvittavat määrittelyt.
- Mallinnus
 - Suunnittelija tekee toimeksiannon pohjalta karkean luonnoksen eli sketsin.
 - Sketsistä luodaan malli.
 - Kahta edellä mainittua vaihetta toistetaan, kunnes tuote on kokonaisuudessaan mallinnettu eli siitä on tehty osamallit.
 - Osamalleista tehdään kokoonpano.

- Kokoonpanosta ja osamalleista tuotetaan tarvittavat 2D-piirustukset tuotetietoineen.

Kaikki tuotannolliset dokumentit ovat edelleenkin paperille tulostettavia, yleensä sähköisessä muodossa olevia 2D-dokumentteja. 2D-piirustukset luodaan suoraan jo tehdyistä 3D-malleista kuvageneraattoreiden avulla. Kuvageneraattori kääntää 3D-mallit automaattisesti standardipiirustuksiksi. Piirustukseen lisätään vielä tämän jälkeen tarvittavaa informaatiota, kuten osaleikkaukset, leikkauskuvat, osasuurennot, mitoitukset, toleranssit, pintamerkit, osanumerointi, osakuvien tuotetiedot ja selventävät tekstit. (Tuhola & Viitanen 2008, 137.)

Piirustukseen välittyvät siis 3D-mallin kaikki yksityiskohdat. Kappalekohtainen malli ja sen piirustus on linkitetty toisiinsa. Tehdyt muutokset 3D-malliin päivittyvät näin automaattisesti 2D-piirustukseen. Linkityksellä säästetään paljon aikaa ja vaivaa piirustusprosessissa (Tuhola & Viitanen 2008, 137.)

3.2 Suunnittelun periaatteet

3.2.1 Valmistusprosessin kulku

Konepäätös sisältää valmistajan tehtävät ennen koneen myyntiä. Valmistajan tehtäviä ovat:

1. koneen riskien arviointi
2. koneen suunnittelu ja rakentaminen riskien arvioinnin tulokset huomioon ottaen konepäätöksen olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti
3. koneen suunnittelu ja rakentaminen ottaen huomioon muut mahdolliset sitä koskevat vaatimukset, mm.

a. sähköturvallisuutta koskevat vaatimukset (pienjännitedirektiivi 2006/95/EY)

b. sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset (EMC-direktiivi 2004/108/EY)

4. teknisen tiedoston laatiminen
5. käyttöohjeiden laatiminen
6. konepäättöksen liitteessä 4 mainittavien koneiden mahdollinen tyyppitarkastus
7. vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatiminen
8. CE-merkinnän kiinnittäminen. (Siirilä & Kerttula 2007, 14.)

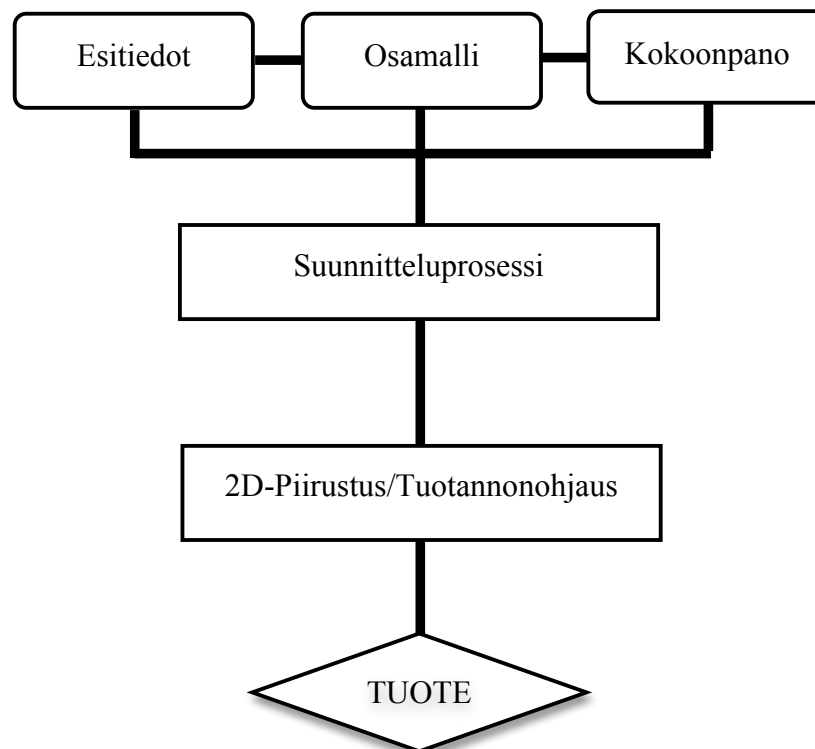
3.2.2 Suunnittelussa huomioitavat asiat

Kone on suunniteltava ja rakennettava niin, että se täyttää konepäättöksen olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset ovat konepäättöksen liitteessä 1. Olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisessa suunnittelussa noudatetaan ns. kolmen askeleen periaatetta (Siirilä & Kerttula 2007, 16.):

1. vaarat poistetaan tai vähennetään suunnitelemalla ja rakentamalla kone turvallisiksi
2. vaarat poistetaan turvallisuustekniikan avulla
3. vaarat poistetaan laatimalla käyttö- ja huolto-ohjeet, merkinnät sekä muut varotoimenpiteet.

3.2.3 3D-suunnittelun periaatteet

Mallintamisen käyttö suunnittelusprosessin osana perustuu 3.1 -luvussa mainittuihin kolmeen vaiheeseen, jotka ovat vahvasti kytköksissä toisiinsa: esitiedot, osamalli(t) ja kokoonpano. Jotta 3D-mallintamisen prosessi voitaisiin viedä läpi siten, että lopputulokseksi saadaan halutunlainen tuote, täytyy suunnittelijalla olla esitiedot suunniteltavasta tuotteesta. Esitietojen pohjalta suunnittelija luo osamallin ja osamallien avulla kokoonpanon. Yhdessä nämä kolme muodostavat 3D-mallintamisen suunnitteluprosessin, jonka kautta tuotetaan 2D-piirustukset, tarvittavat tiedot tuotannonohjaukselle varten sekä lopullinen valmis tuote. Kuvassa 3 esitellään 3D-mallintamisen suunnitteluprosessi vuokaaviona. (Tuhola & Viitanen 2008, 54.)



Kuvio 3. 3D-mallintamisen suunnitteluprosessi (Tuhola & Viitanen 2008, 54).

3.3 Konedirektiivit

Lakitasolla koneiden turvallisuudesta Suomessa säädetään ns. konelaisissa (1016/2004) ja työturvallisuuslaissa (738/2002). Laissa on kuitenkin vain yleiset periaatteet, ja yksityiskohdat säädetään asetuksilla, valtioneuvoston päätöksillä ja ministeriöiden päätöksillä. (Siirilä 2008, 27.)

Konelaki koskee koneiden valmistajia, maahantuojia, myyjiä ja muita henkilöitä, jotka luovuttavat koneen tai muun teknisen laitteen Suomessa markkinoille tai käyttöön. Heidän velvollisuutensa on huolehtia siitä, että valmistettavat, myytävät ja käyttöön luovutettavat koneet ovat niitä koskevien määräysten mukaisia ja turvallisia. (Siirilä 2008, 27.)

Työturvallisuuslaki edellyttää työnantajilta työn, työympäristön ja koneiden jatkuvaa tarkkailua ja niihin liittyvien riskien arviontia ja todettujen riskien vähentämistä (8 ja 10§). Koneita koskevassa pykälässä (41§) sanotaan, että koneiden on oltava sellaisia, että niillä ei satu tapaturmia eikä niistä aiheudu muitakaan terveyshaittoja. (Siirilä 2008, 27.)

4 Mallinnusprosessin kuvaus

4.1 Mallinnusprosessin merkitys työssä

Kuvaan tässä luvussa vaahdotuskoneen mallinnusprosessin, jonka avulla selvitin suunniteltujen osien fyysisen ulkonäön, kokoonpanojen toimivuuden ja pystyin muokkaamaan koneen lopullista kokonaisuutta suunnittelun aikana. Sen pohjalta piirsin valmistusta varten myös työpiirustukset.

3D-mallinnus kyseisessä projektissa oli pakollinen. 3D-kokoonpanon pohjalta pystyin vasta näkemään, miten sijoittaa eri osat ja osakokoonpanot toimivaksi kokonaisuudeksi. Kun 3D-mallit oli kerran tehty, niiden pohjalta pystyin helposti tekemään 2D-töpiirustukset sekä räjäytyskuvat valmistusta varten.

4.2 Ensimmäinen ideointi

Ensimmäinen palaveri käytiin GTK:n edustajan ja AMT Systems Oy:n toimitusjohtajan kanssa projektin alussa. Palaverissa käsiteltiin vaahdotuskoneen rakentamisen aikataulua, sen nykyistä rakennetta ja ideoitiin mahdollisia parannusvaihtoehtoja.

Seuraavat kohdat koneessa saivat uusia parannusvaihtoehtoja:

1. koneen hitsattu runko
2. moottorin hitsattu kiinnitysalku
3. kaavinyksikön ja moottorin korkeuden säätömekanismit
4. ohjausyksikön sijainti
5. liikkuvien osien suojat

6. vaahdotuskoneen ulkonäkö
7. työturvallisuus
8. käytettävyys.

4.3 Kappalekohtainen mallinnus

Mallinnusprosessi tehtiin SolidWorks 2010 –mallinnusohjelmalla. Mallinnettavana olivat kaikki osat vaahdotuskoneesta, niin vanha kokoonpano kuin myös suunnittelun tuotoksena syntynyt uusi kokoonpano.

Mallinnus tapahtui olemassa olevien CAD-piirustusten pohjalta tai suoraan fyysisestä osasta saatujen mittojen pohjalta. Moottorin, sylinterien, alumiiniprofiilien ja venttiilien mallit sain valmiina valmistajilta. Mutterit, pultit ja välilevyt sain SolidWorks-ohjelman Toolbox-tietokannan standardiosien listoilta. Liitteessä 1 on esitelty Solid Works 2010 –mallinnusohjelman työnäkymä.

Pääkokoonpanomallin myötä selvinneiden muutosten pohjalta yksittäisten osien malleja täytyi muuttaa toimivammiksi ottaen huomioon käytössä olevat valmistusmenetelmät ja osan sijoitus pääkokoonpanossa. Runko muuttui projektin aikana eniten siihen lisättyjen komponenttien myötä.

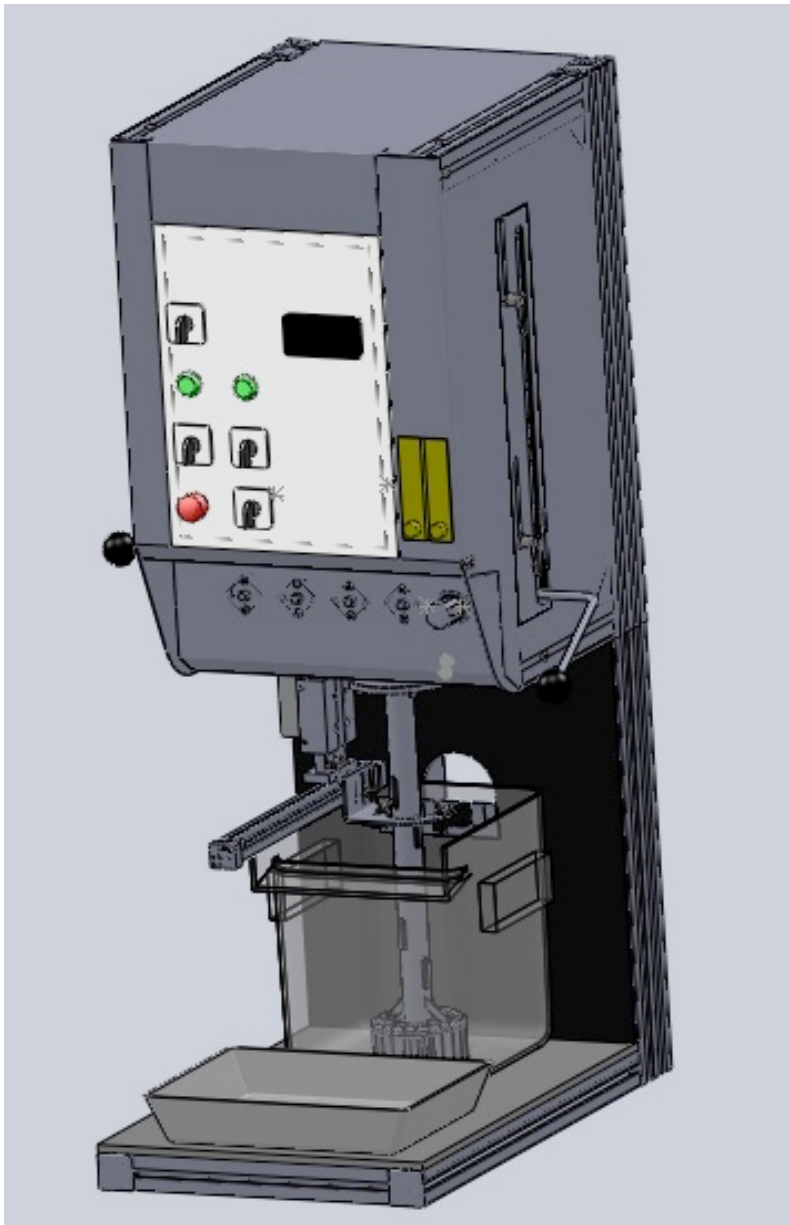
Kokonaan uusina komponentteina projektiin tulivat vaahdotuskoneen yläosaa suojaava kotelo, virtausmittarin teline, sähkökaapin ja pneumatiikkaosien kiinnityslevyt, moottorin kiinnityksen osat, vastapainot ja vastapainojen kotelot sekä kaavinyksikön kiinnitys-jalka.

4.4 Kokoonpano

Mallinnettuani tarvittavat yksittäiset osat loin osista pieniä osakokoonpanoja, kuten kaavinyksikkö, moottorin kiinnitysyksikkö ja sähkökaappiyksikkö ohjauspaneelin kans-

sa. Jokaiselle pääkokoonpanoon lisätylle osalle täytyi tehdä kiinnitykset ja tehdä tilaa osalle tarvittavilla rakennemuutoksilla.

Aloitin pääkokoonpanon rakentamisen alumiiniprofiilirungon ympärille lisäämällä yksittellen osakokoonpanoja sekä yksittäisiä osia. Lopullisen pääkokoonpanon kuva on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. Lopullinen vaahdotuskoneen kokoonpano.

4.5 Kokoonpanomuutokset toimivaksi kokonaisuudeksi

Ennen lopullisen kokoonpanon valmistumista koneeseen vaihdettiin useita eri komponenttejä, koska niiden saatavuus ja toimitusajat vaihteli suuresti. Projektin aikataulun asettamat rajoitteet eivät sallineet pitkiä toimitusaikoja. Suurimmat muuttujat olivat sylinterit, moottori ja kytkentäkaappi. Muita koneen ulkonäköön huomattavia muutoksia tehneet asiat olivat mm. prosessissa käytettävien lisäaineiden säätöventtiilien tuonti koneen takalevystä etupuolelle, takapuolelle kiinteästi sijoitetun suodattimen uudet liitännät ja liitäntöjen läpiviennit.

Koneen rakenteeseen vaikuttivat eniten suojausmekanismi, moottorin liikerata, kennojen koko, kennojen sijainti suhteessa pohjalevyyn, kennojen korkeus ja kaavinyksikön sijainti, staattorin koko, koneen lopullinen ulkonäkö, vaahdotuskoneen kasaaminen, ohjauspaneelin sijainti ja käyttäjän näköyhteys kennon pinnalle kaavintaprosessin aikana.

4.5.1 Moottorin sijoitus

Pääkokoonpanoa tehdessäni jouduin miettimään moottorille helppoa ja yksinkertaista mekaniikkaa, jolla nostaa ja laskea moottoria halutulle tasolle käytettävän kennon ja staattorin mukaan.

Mahdollisiksi vaihtoehtoiksi syntyi erilaisia ratkaisuja, joissa pohdittiin moottorin kiinnitystapaa ja sen liikutusmekanismia. Liikutusmekanismien vaihtoehtoina olivat sylinterit tai vastapainomekaniikka.

Moottorin etäisyys takaseinästä oli toinen keskeinen määre. Vaahdotuskoneen rakenteen tavoitteena oli saada ohjauspaneeli ja tutkittava näyte kennossa mahdollisimman lähelle käyttäjää, ja näin ollen kenno pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman taakse konetta, jotta vaahdotuskoneen pohja lyhenisi ja ohjauspaneeli lähenisi käyttäjää. Moottorin akselin tulee olla keskellä kennoa. Alkuperäisessä kokoonpanossa moottori on sijoitettu hitsatun profiilin varaan, joka ei tue moottoria tarpeeksi hyvin.

4.5.2 Kaavinyksikön sijoitus ja säätömekanismi

Kaavinyksikön sijoittaminen pääkokoönpanossa oli haastava. Vaahdotuskoneen runkoa lyhennettäessä sen tuomisessa lähemmäs käyttäjää oli kaavinyksikköä vietävä taaksepäin. Haasteena oli kaavinyksikön pystysuunnan ja vaakasuunnan liikkeitä ohjaavien sylinterien toisiinsa kiinnitys sekä kaavinjalcojen kiinnittimen liike suhteessa kennon reunaan ja roottorin akseliin.

Toinen kaavinyksikköön liittyvä kohta oli, miten ja mistä säätää sen korkeutta halutulle tasolle. Vaihtoehtoiksi syntyivät mekaaninen käsiasäätöinen vipu ohjauspaneelin vasemmalle sivulle tai ohjauspaneelin alle kohtisuoraan käyttäjää kohti.

4.5.3 Liikkuvien osien suojat ja työturvallisuus

Moottorin pystysuunnan liikkeen suojaamisessa tuli huomioida se, että käyttäjä tai kukaan ulkopuolinen henkilö ei saisi laitettua esimerkiksi kättänsä kennon ja staattorin väliin moottorin laskun aikana.

Vaaratekijän poistamiseksi mietittiin seuraavalaisia ratkaisuja:

1. Kenno nousisi sylinterin voimalla ylöspäin rungon suojakotelon sisälle piiloon. Tällöin moottoria ei tarvitsisi laskea lainkaan, pyörivät osat ja kaavinliikkeet jäisivät suojakotelon sisälle piiloon käyttäjältä, eikä niistä syntyisi vaaraa.
2. Vaahdotuskoneen ympärille rakennettaisiin kokonaan kiinteä suoja, jossa olisi kennon ja kaapimen puhdistamista varten suojan keskikohdassa verkko-osa. Näin käyttäjä pystyisi valvomaan koko prosessia ja pääsisi suihkuttamaan vettä verkon reikien läpi.
3. Edellisen mallin verkko vaihdettaisiin valoverhoon. Näin moottorin lasku pysähtyisi heti, jos valoverhon singaalin katkaisisi jokin.

4. Moottorin laskeminen tapahtuisi käsisääteisellä vastapainomekanismilla. Moottori niin sanotusti leijuisi ilmassa vastapainon varassa.

Kaavinyksikössä vaaratekijät olivat pystysuunnan sylinteri ja vaakasuunnan sylinteri. Niiden suojaamiseksi ajateltiin edellä mainittua kiinteää kokosuojasta tai sylinterien käyttämien voimien pienentämistä siten, että ne pysähtyvät jos liikeradalle tulee jokin este.

4.5.4 Ulkonäkö ja kasaaminen

Vaahdotuskoneen myyntiin vaikuttava tekijä on koneen ulkonäkö. Ulkonäköä suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon koneen helppo kokoaminen ja koneen huoltaminen. Suunniteltavan suojakotelon tulee peittää käyttäjän näkyvistä moottori, sähkö- ja pneumatiikkaliitännät sekä mahdollisimman paljon koneen tukirungosta. Samalla kotelon tulee olla helposti avatta mahdollisen huollon ajaksi.

4.5.5 Ohjauspaneelin sijoitus ja käyttäjän näköyhteys prosessiin

Vaahdotuskone on suunniteltu pöytämalliksi. Ohjauspaneelin sijoittamista ja suojakoteloita suunniteltaessa täytyi ottaa huomioon käyttäjän näköyhteys vaahdotusprosessiin sekä esteetön ja ergonomisen koneen ohjaus. Ristiriidaksi muodostui se, että ohjauspaneelin tulee olla mahdollisimman lähellä käyttäjää helpon ohjaamisen vuoksi ja samaan aikaan mahdollisimman kaukana käyttäjästä hyvän näköyhteyden vuoksi.

Ratkaisuksi mietittiin erikokoisia sähkökaappeja ja niiden sijaintia. Ohjauspaneelin sijainti koneen etuosassa toisi ohjauspaneelin lähemmäs käyttäjää ja saisi koneen näyttämään yhtenäisemmältä kokonaisuudelta. Alkuperäiskokoonpanon tapaan sivulle sijoitettuna se ei peittäisi niin paljon näkyvyyttä, mutta ohjaus jäisi silloin käyttäjästä kauemmaksi.

4.6 Toimivan kokoonpanon valinta

Toimivaan kokoonpanoon päädyttiin yksi kokonaisuus kerrallaan pääkokoonpanon 3D-mallissa parhaiten toimineiden ratkaisujen pohjalta. Ratkaisuun vaikuttivat valmistusmenetelmät ja käytettävät komponentit, huomioitavat turvallisuustekijät, käytössä oleva budjetti ja vaahdotuskoneen käytettävyys.

4.7 Työkuvien laatiminen

Aloitin työkuvien laatimisen muuttumattomista vakio-osista. Näin saimme aloitettua koneeseen tulevien osien valmistuksen, vaikka koneen loppullista kokoonpanoa jouduttiin pitämään avoinna mallinnuksen loppusuoralla vaihtuen komponenttien takia.

Tein työkuvista piirustusnumeroiden mukaan sarjoja selkeyttämään koko projektiin kuuluvien osien sijoitusta. Pääkokoonpano nimettiin tunnuksella VA1000, jonka alle tulevien isojen osakokoonpanojen numerointi meni sadan yksikön välien (esim. VA1100, VA1200 jne.). Pienemmät osakokoonpanot numeroitiin kymmenysten välein (esim. VA1060, VA1070 jne.). Liitteessä 2 on esimerkki pääkokoonpanon työpiirustuksesta osaluettelon kanssa. Työ-, levy- ja DWG-kuvien pohjalta luotiin projektikansio, johon kaikki projektin piirustukset laitettiin piirustusnumerojärjestykseen. Kappaleista tehtiin myös lista kappaleen valmistusmateriaalin mukaan nopeuttamaan valmistustyötä.

Työkuvien laatimisessa käytin pääsääntöisesti koordinaatistomitoitusta, joka mahdollistaa CNC-työstökoneelle nopean työkappaleen asetusten tekemisen. Liitteessä 3 on esimerkki työpiirustuksesta, jossa on käytetty koordinaatistomitoitusta. CNC-konetta ja koordinaattimitoitusta käyttäessä tulee huomioida se, että kappaleiden kulmien pyöristykset mitoitetaan pyöristyksen terävään kulmaan ja kulmalle ilmoitetaan lisäksi säde. Näin CNC-koneelle pystytään syöttämään oikeat arvot suoraan.

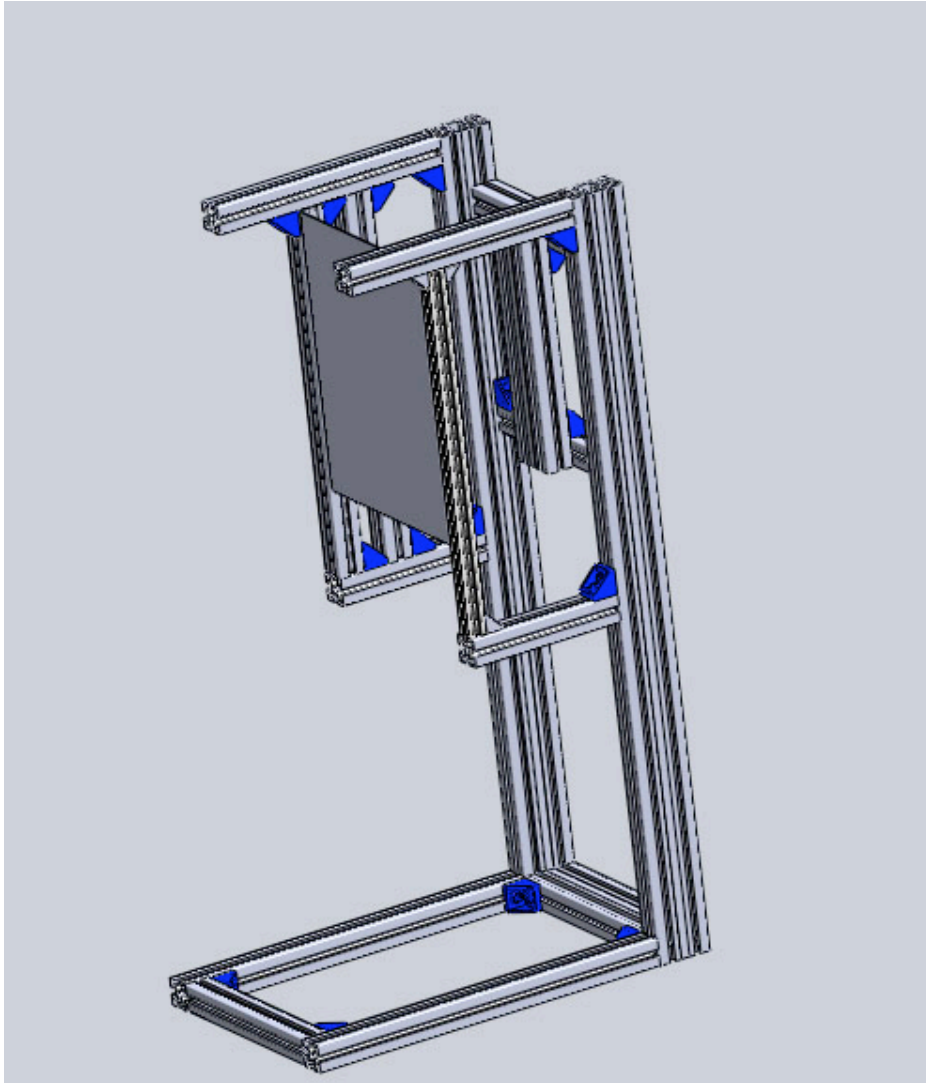
5 Suunnitteluprosessin tulosten esittely

Tässä luvussa esitän suunnitteluprosessin tulokset eli muutokset, jotka tehtiin vaahdotuskoneeseen. Tulokset esitetään muutoskohta kerrallaan. Jokaisesta kohteesta esitetään muutoksen sisältö ja syy, miksi kyseiseen muutokseen on päädytty tässä projektissa. Luvun loppuun on koottu taulukko vaahdotuskoneen suunnittelussa huomioon otettavista standardeista.

5.1 Runko

Rungon muutokseen päädyttiin sen takia, että vältettäisiin hitsaustyön tekeminen ja nopeutettaisiin rungon valmistusprosessia. Normaalisti AMT Systems Oy käyttää valmistamissaan koneissa runkomateriaalinaan siihen suunniteltua alumiiniprofiilia, koska se tulee taloudellisesti edullisemmaksi. Profiili on yksinkertaista koota, koska se tarvitsee vain leikata määrämittaansa ja asentaa. Sen valmistajalla on laaja valikoima erilaisia profiilirakenteita ja kiinnitystapoja profiilien välisiin liitoksiin.

Tässä projektissa päädyin käyttämään kolmea eri profiilimallia. Vaahdotuskoneen runko on koottu 90 x 45 mm ja 45 x 45 mm profiileista (kuvio 5). Moottorin korkeuden säädinkahvan lukituslevyn asentamisen helpottamiseksi käytin 30 x 30 mm profiilia edestä päin katsottuna rungon oikealla sivulla. Jokainen profiililiitos tehdään 90 asteen kulmapaloilla profiilien uriin asennettavilla pulttimutteriliitoksilla. Isoimmat profiilit kiinnitetään toisiinsa päätyliitoksilla M12-pulteilla.



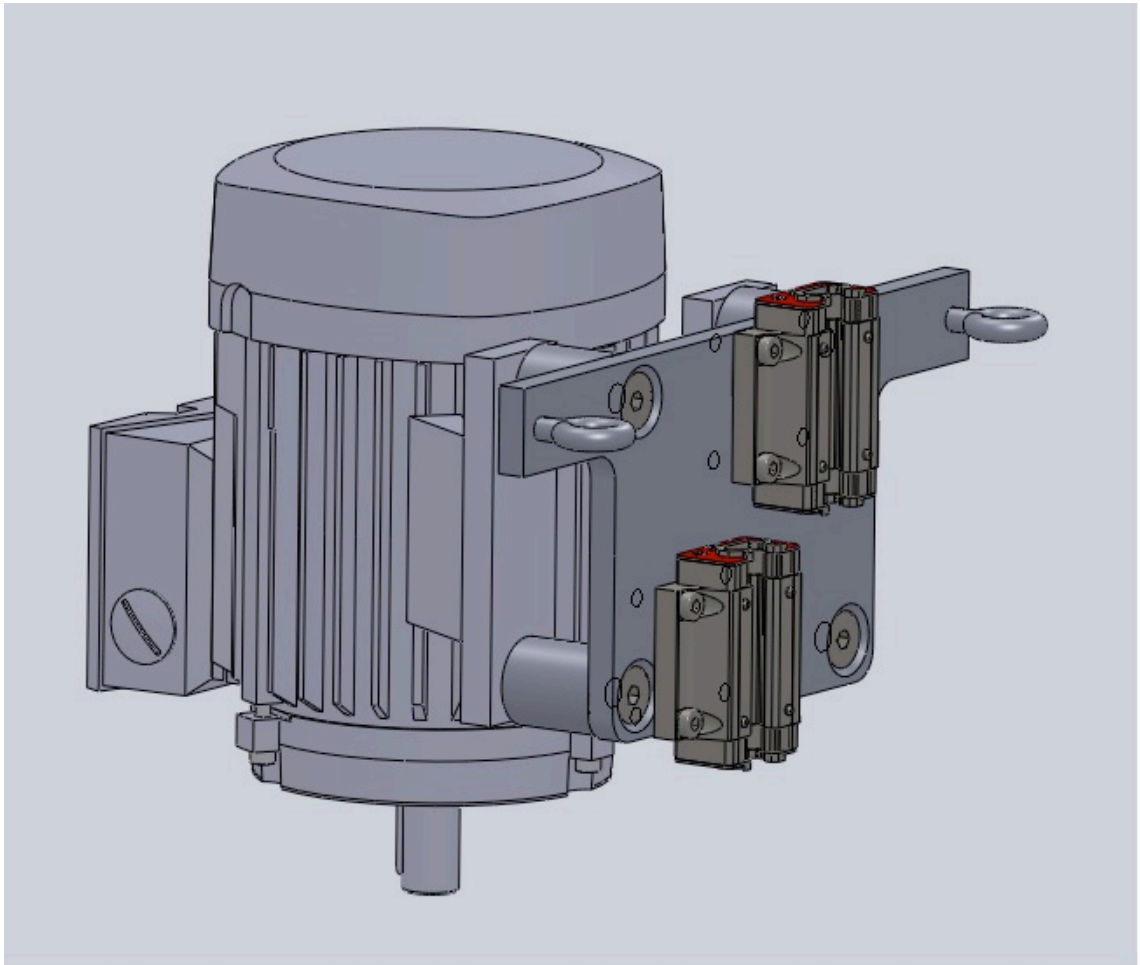
Kuvio 5. Alumiiniprofilirunko.

Profiilirakennetusta rungosta tulee myös ulkonäöllisesti parempi ja rungon paino vähenee verrattuna teräsrakenteiseen hitsattuun runkoon. Runkoon kiinnitettävät komponentit on helpompi kiinnittää profiilin kiinnitysuriin mutterikiinnityksellä kuin tasaseinäiseen teräspalkkiin, johon jokainen kiinnitys tulisi tehdä poraamalla kiinnitysreiät tai hitsaamalla komponentit kiinteästi runkoon. Ulospäin näkyviin jäävien profiilien uriin laitetaan vielä muoviset koristelistat täydentämään ulkonäköä.

5.2 Moottori

Moottorina oli tarkoitus käyttää aikaisemmissakin koneissa käytettyä VEM:n 0,55 kW sähkömoottoria, johon olisi ainoana muutoksena lisätty vaippakiinnityksen lisäksi jalakiinnitys. Moottori jouduttiin kuitenkin vaihtamaan 0,75 kW alumiiniseen moottoriin, koska VEM:n moottorin kiinnitysjalka on kiinteä eikä sitä voi siirtää, ja näin ollen jalakojen vastapuolella oleva sähköliitäntäkotelo ei mahdu liikkumaan vaahdotuskoneen rungon sisällä. VEM:n moottori olisi pitänyt tilata erikoistilauksena, ja sen toimitusaika ei sopinut projektin valmistusaikatauluun. Moottorin vaihto valetusta rungosta alumiiniseen kevensi koneen moottoriyksikön kokonaismassaa, ja näin myös vastapainojen koko pieneni ja liikeratojen suunnittelu helpottui.

Moottorin jalan ja pystysuunnan liikeradan väliseksi kiinnitystavaksi valittiin takaseinämään rinnakkain kiinnitetyt johteet ja niihin kiinnitetyt kuulalaakerikelkat limittäin (kuvio 6). Kelkat kiinnitettiin hieman limittäin sen takia, että johteet saataisiin kiinnitetyä helposti profiilin kiinnitysuriin. Samalla huomattiin, että limittäinen kiinnitystapa myös tukee moottoria paremmin ottaen vastaan sivuttaismomenttia.



Kuvio 6. Moottori ja moottorin kiinnitysyksikkö.

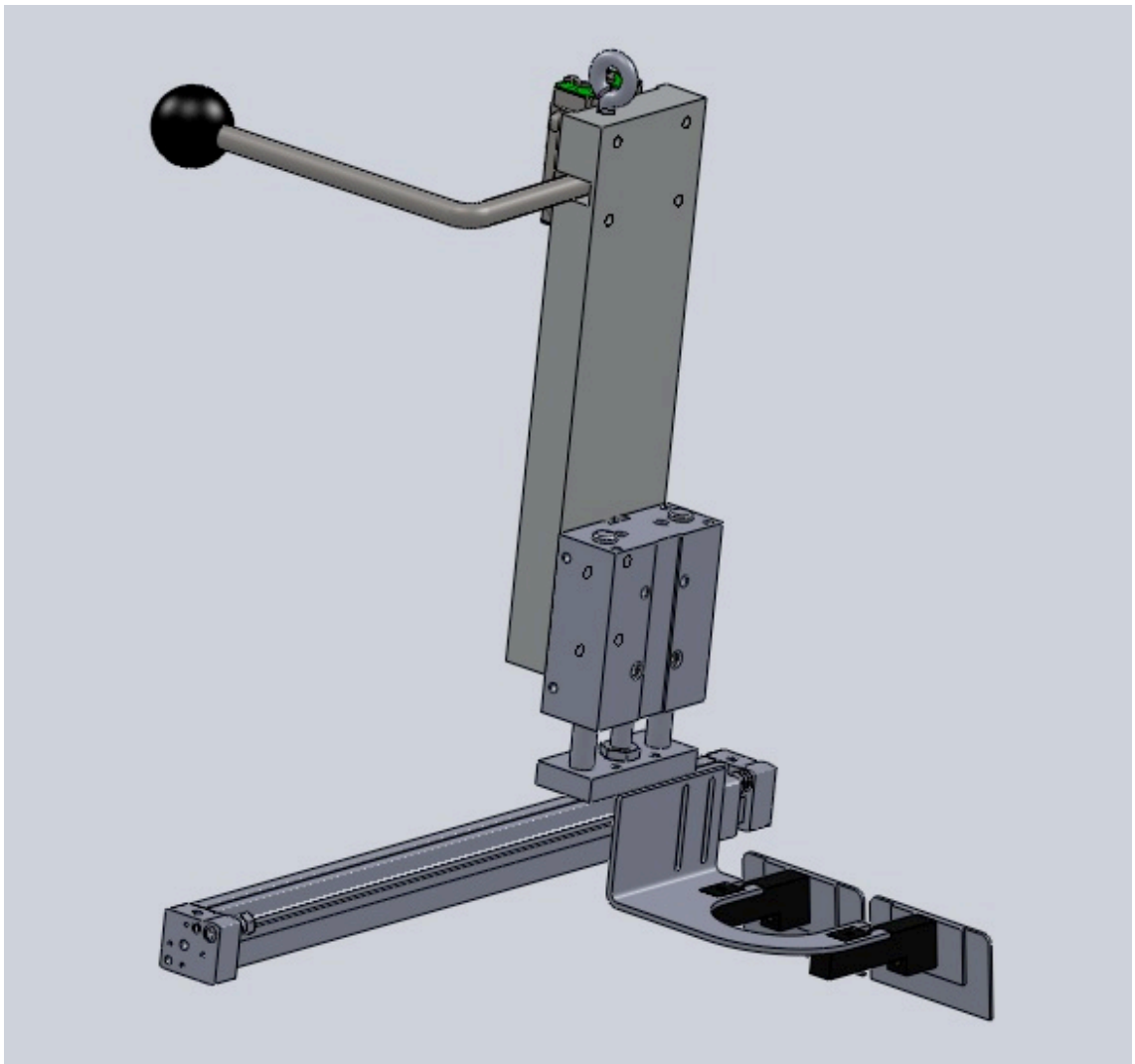
5.3 Kaavinyksikkö

5.3.1 Pystysuunnan sylinteri

Pystysuunnan sylinterin (kuvio 7) kiinnitystä varten runkoon lisättiin yksi ylimääräinen pystysuunnassa oleva profiili. Profiiliin kiinnitettiin johde, johon asennettiin kolmas vaahdotuskoneessa käytetty lineaarikuulalaakerikelkka. Kelkan ja pystysuunnan sylinterin väliin täytyi tehdä kiinnityskappale alumiinista saadakseen kaapimet liikumaan oikealla tasolla. Kiinnityskappaleen paksuudella säädettiin kaavinjalkojen pidike kohdal-

leen niin, ettei se osu moottorin akselin suojaputkeen horisontaalisen liikkeen aikana. Kiinnityskappaleen pituudella säädettiin taas kaavinyksikkö oikealle korkeudelle.

Sijoitin kaavinyksikön korkeuden säädinkahvan kiinnityskappaleen sivuun työstettyyn T-uraan. T-uran vaakatasossa kahvaa painaa jousi, joka pakottaa kahvan pysymään vaahdotuskoneen sivulle asennetun korkeudensäädinlevyn syvennyksiä vasten. Kun vaahdotuskoneen käyttäjä vetää kahvasta itseään päin, niin lukitus aukeaa ja kaavinyksikön korkeuden voi asettaa toiseen lukitusväliin toista kennokokoa varten.



Kuvio 7. Pysty- ja vaakakaavinyksiköt.

5.3.2 Vaakasuunnan sylinteri

Kaavinyksikön sylinterien välinen kiinnitys tuli vaakatason sylinterin toiseen päähän, ainoastaan näin kaavinyksikköä liikuttava kelkka saadaan kiinni vaahdotuskoneen runkoon ja kaavinjalat yltävät kennon reunan yli ja saavat kaavittua näytteestä syntyneen vaahdon kennon ulkopuolelle. Tämän takia pystysylinteri vaihdettiin liukujohteisesta laakerijohteiseen sylinteriin ja samalla ylimitoitettu männän koko pienennettiin 32 millimetrin männän halkaisijan mitasta 20 millimetrin halkaisijaan. Tällä varmistettiin tasaisempi ja pienempi välyksinen liike pystysuunnassa ja vähennettiin turvallisuusriskejä.

Myös vaakatason sylinteri vaihdettiin liukujohteisesta laakerijohteiseen välitykseen, koska valmistajan antama välys liukujohteiselle oli valmiiksi jo 2 astetta sylinterin kelkan molemmin puolin, ja käyttäjäkokemuksien pohjalta sylinterin kelkan tulisi olla vaakaampi.

Kaavinyksikön korkeuden säätö on valmiiksi porrastettu korkeuden säädinlevyyyn ja sen takia kaavinjalcojen pitimeen muutettiin reikien paikoille urat. Näin kaavinläppien korkeuden voi tarvittaessa hienosäätää siirtämällä pidintä urien suunnassa.

5.4 Suojalaitteet

Alkuperäisessä koneessa ei ollut minkäänlaisia suoja. Näin ollen suojien suunnittelu tuotti eniten työtä. Suojattavana olivat pyörivä moottorin akseli, roottori, moottorin pystysuunnan liike ja kaavinyksikön kiertävä liike. Suojausvaihtoehdoista päädyttiin seuraavanlaisiin ratkaisuihin, koska kennon nostomekanismissa itse prosessi olisi jäänyt käyttäjältä näkemättä, kiinteä suoja estäisi prosessin aikana työskentelyä liikaa ja valoverhon toteutus olisi tuonut peilien sijoituksesta työalueelle ylimääräiset kiinteät esteet.

5.4.1 Vastapaino

Moottorin vertikaaliliikkeen aiheuttaman vaaran poistamiseksi päädyttiin vastapainomekanismiin. Moottoriin asennettiin vaijeriliitos, jonka toisessa päässä on moottorin, moottorin kiinnityksen ja kelkkojen yhteispanoa vastaava vastapaino. Näin moottori ”leijuu” kun se ei ole lukitettuna ylä- tai ala-asentoihin. Tällä liitännällä moottorin liikkeet saadaan niin kevyiksi, että käyttäjän poiketessa liikeradalle liike hidastuu ratkaisevasti.

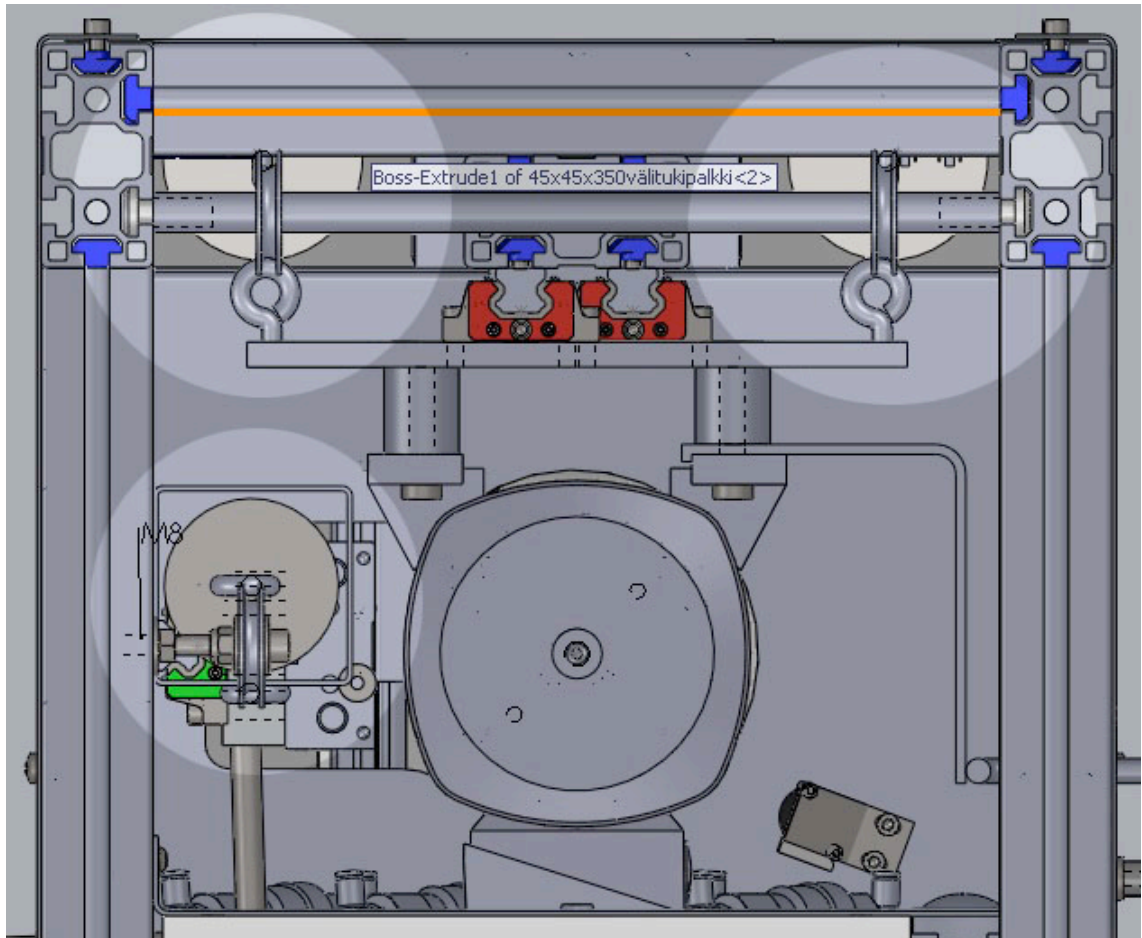
Vastapainoliitos tehtiin myös kaavinyksikön johteeseen. Kyseisellä mekanismilla vähennetään myös käyttäjän työrasitusta keventämällä korkeudensäätöä painoilla. Vastapainosta tehtiin painoltaan hieman suurempi, jotta koneen ollessa lukittamattomassa tilassa se nousisi hiljaa ylös päin eikä liikkuisi alas työtilaan päin.

Vastapainot tehtiin halkasijaltaan 80 mm ja 60 mm pyörötangosta. Niiden massat laskettiin alla olevan taulukon perusteella. Taulukossa 1 olevien osien painot mitattiin vaa’alla tai laskettiin Solid Worksin Mass Properties- toiminnolla. Toiminnolla saa +/- 20 g tarkkuudella mallinnetun kappaleen massan.

Taulukko 1. Vastapainojen määrittäminen.

Pieni vastapaino		Iso vastapaino	
Komponentti/osakokonaisuus	Paino grammaa(g)	Komponentti/osakokoonpano	Paino grammaa (g)
Pysty- ja vaakasuunnan sylinterit, kaavinjalcojen pidin	3300	Moottori ja akseli	10150
Kaavinjalat ja läpät	190	Kelkka 2 kpl	800
Kelkka	400	Kiinnityspala 4kpl	700
Pystysuunnan sylinterin kiinnityspala	1500	Kiinnityslevy	1500
Korkeuden säädinkahva	300	Suojaputki	1000
		Roottori	110
		Staattori	280
		Kork. säädinkahva	400
		Suojaputken laippa	630
YHTEENSÄ	5690	YHTEENSÄ	15570

Moottorin vastapaino jaettiin kokonsa vuoksi kahteen yhtä suureen painoon, jotka sijoitettiin koneen taakse molemmille sivuille kiinteisiin koteloihin. Kotelossa paino ei pääse liikkumaan sivuttaissuunnassa, ja konetta siirrettäessä paino pysyy paikoillaan. Kaavinyksikön vastapainolle taas tehtiin vaahdotuskoneen rungon sisälle oma kotelo. Vastapainon akseli ja kotelo kiinnitettiin samaan kaavinyksikön johdetta varten lisättyyn profiiliin. Vaijerit kiinnitettiin niin painossa kuin myös liikuteltavien yksiköiden päissä silmämutterin läpi kiristettävän nipan väliin (kuvio 8).



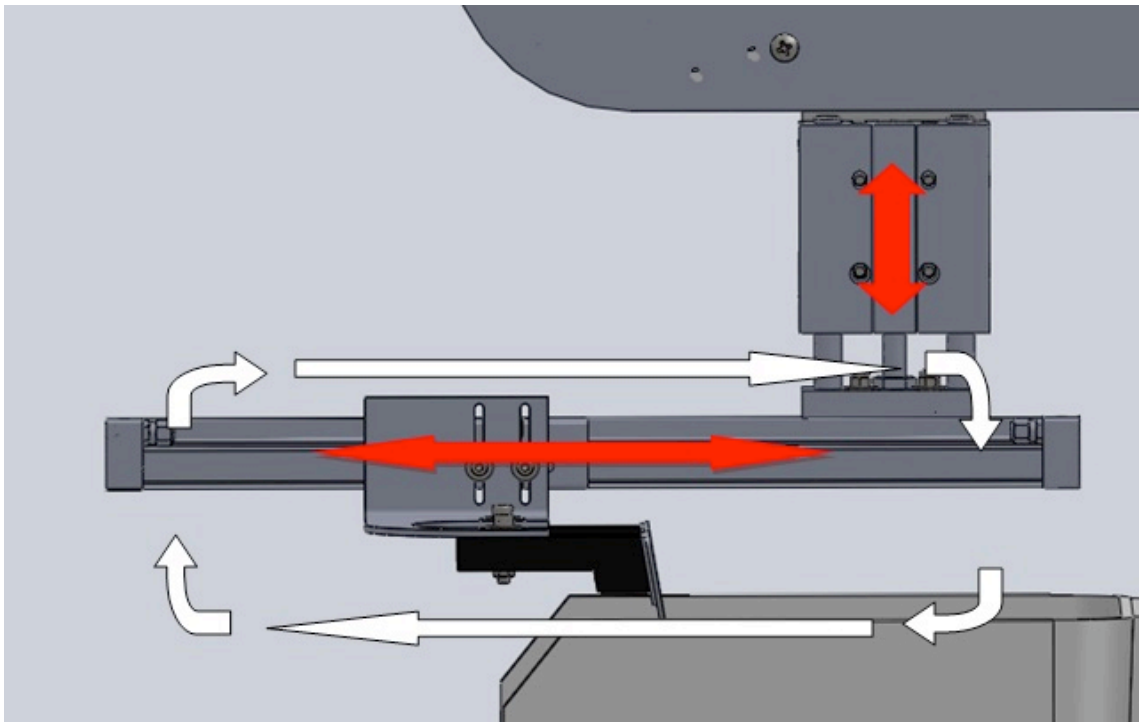
Kuvio 8. Vastapainojen sijoitus vaahdotuskonetta päältäpäin katsoessa.

Vastapainojen lukittamista varten koneen sivuseinien lävitse tuotiin korkeuden säädinkahvat ja kahvoille tehtiin korkeuden säädinlevyt, joiden lovetussa urassa kahvat pääsevät liikkumaan. Moottorin korkeuden säädinlevy tuli profiilin ja oikean sivukotelon väliin kiinni Kipp-vivuilla. Kipp-vipujen avulla lukitaan levyn korkeus eli säädetään moottorille haluttu laskeutumiskorkeus. Moottorin säädinlevyyn on tehty sen takia vain

yksi lukituskohta kahvan varrelle. Kaavinyksikön säädinlevyn korkeutta ei voi siirtää vaan siihen on lovettu valmiiksi kennokokojen mukaan oikeat kohdat, ja tarvittava hienosäätö tapahtuu kaavinjalkojen pidikkeestä.

5.4.2 Kaavinsylinterin tehojen laskeminen

Kaapimen suorakaiteen muotoisen liikeradan (kuvio 9) aiheuttaman vaaran poistamiseksi päädyttiin laskemaan sylintereiden käyttämät ilmanpaineet niin pieneksi, että kaavinnan aikana liikeradalle tuleva este pysäyttää sylintereiden liikkeen. Lisäksi kaavinyksikön vaakasyliinteriin asennettiin induktiiviset anturit, jotka sulkevat koko ohjelman, jos sylinteri ei saavuta anturipisteitä tietyssä ajassa.



Kuvio 9. Kaavinyksikön kierto.

5.4.3 Käynnistyksen esto

Vaahdotuskoneeseen lisättiin käynnistyksen estomekanismi moottorin olessa ylös nostettuna. Silloin roottori on vaahdotuskoneen käyttäjän työalueella paljaana ja voisi aiheuttaa pyöriessään vaaratilanteen. Käynnistyksen estämiseksi asennettiin induktiivinen anturi koneen takaseinämään tunnistamaan moottorin laskeutuminen. Kun moottoria kiinni pitävät kelkat ovat anturin tunnistusalueella, saa vaahdotuskoneen moottorin käynnistymään vaahdotusprosessia varten. Tällöin roottori on kennon sisällä eikä siitä aiheudu vaaraa.

5.4.4 Valaistus

Vaahdotusprosessin tarkkailemisen parantamiseksi koneen alalevyyn asennettiin led-valaisin. Valaisin osoittaa vaahdotuskoneen oikealta sivulta näytekennoa kohti. Tältä sivulta valonlähde ei jää kaavinyksikön taakse piiloon ja antaa näin yhtäjaksoisen valaistuksen näytteen pinnalle. Valolle lisättiin oma kytkin ohjauspaneeliin, jotta sen saa tarvittaessa pois päältä vaahdotusprosessin aikana.

5.5 Ohjauspaneeli

Ohjauspaneelin kytkimien sijoittamisessa pyrittiin saamaan kaikki kytkimet mahdollisimman alas kaapin oven alareunaan. Kun kaappikoko muuttui pienemmäksi, vaikutti taajuusmuuntajan asettelu kytkimien lopullisiin paikkoihin ratkaisevasti.

Ohjauspaneelistä saatiin kokonaan poistettua kaksi nokkakytkintä vastapainomekanismin ansiosta. Lisäksi paneeliin tuotiin erillinen näyttö roottorin kierroslukemaa varten.

5.6 Sähkökomponentit

Sähkökaapin valinnassa päädyttiin 500 mm korkeaan, 300 mm leveään ja 150 mm syvään kaappikokoon. Kyseinen kaappi valittiin sen takia, että sen sisälle mahtuivat tarvittavat sähkökomponentit ja sen rinnalle samalle koneen sivulle saatiin sijoitettua läpivirtausmittarit.

Sähkökomponenteista vaihdettiin virtalähde, tajuusmuuntaja ja logiikka. Alkuperäinen virtalähde oli liian suuri käytettävään kokoonpanoon. Logiikka vaihdettiin toisen valmistajan tuotteeseen, jotta tulevaisuudessa valmistettavien vaahdotuskoneiden ohjaus voitaisiin muuttaa erilliselle kosketusnäytölle. Tajuusmuuntaja oli myös ylimitoitettu käytettäviä komponentteja varten.

5.7 Pneumatiikka

Pneumatiikkaosista saatiin karsittua pois vastapainomekaniikkaa käyttämällä kahta sylinteriä. Näin pneumatiikan liitännät saatiin puolittumaan, ja pneumatiikka päätettiin sijoittaa koneen takaosaan moottorin johteiden taakse profiiliin.

Käytössä olleet 2/3-pneumatiikkaventtiilit vaihdettiin 5/3-suuntaventtiileihin. Näin saadaan paineilmasyliinterit vapautettua paineesta, kun hätäseis-painiketta painetaan ja sylinterit liikkuvat vapaasti.

Koneessa käytettävien prosessiaineiden kaikki säädöt tuotiin ohjauspaneelin alle käyttäjän eteen. Turvallisuussyistä koneen taakse lisättiin jokaiselle aineelle vielä toiset venttiilit, joista koneen saa täysin suljettua. Takaliitäntöihin lisättiin myös takaiskuventtiilit mahdollisen letkutukkeutuman varalta.

5.8 Vaahdotuskonetta koskevat standardit

Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on lueteltu vaahdotuskoneen suunnittelussa huomioitavat standardit. Standardien lähtökohtana on EU:n nykyinen koneturvallisuuden konedirektiivi 2006/42/EY, joka on saatettu voimaan Suomessa valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008 koneasetus (SFS, 2008).

Taulukko 2. Vaahdotuskonetta koskevat ja suunnittelussa käytetyt standardit.

Standardikoodi	Standardikuvaus	Standardin kohde
SFS-EN 953+A1	Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet, 2009.	Suojakotelo
SFS-EN 954-1	Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet, 1997 (Huom. SFS-standardi on kumottu 30.11.2009, mutta se on yhdenmukaistettu standardi 31.12.2011 asti; standardin uusi painos on SFS-EN ISO 13849-1)	Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat (mm. hätäseis, käynnistyksen esto, jne.)
SFS-EN 983+A1	Koneturvallisuus. Hydraulisten ja pneumaattisten järjestelmien sekä niiden komponenttien turvallisuusvaatimukset. Pneumatiikka, 2009.	Pneumatiikkaosat (mm. sylinterit, venttiilit, jne.)
SFS-EN 1037+A1	Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistymisen estäminen, 2008.	Käynnistyksen esto
SFS-EN 1837	Koneturvallisuus. Koneiden valaistus, 1999 (julk 2001)	Valaistus
SFS-EN 62061	Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus, 2005.	Sähköinen ohjausjärjestelmä
SFS-EN ISO 12100-1+A1	Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät, 2009.	Suunnittelu
SFS-EN ISO 12100-2+A1	Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet. Osa 2: Tekniset periaatteet, 2009.	Suunnittelu
SFS-EN ISO 13849-1	Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet, 2008. (Huom: julkaistu korjaus SFS-EN ISO 13849-1/AC:2009)	Suunnittelu
SFS-EN ISO 13849-2	Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 2: Kelpuutus, 2008.	Suunnittelu
SFS-EN ISO 13850	Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet, 2008.	Suunnittelu
SFS-EN ISO 14121-1	Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 1: Periaatteet, 2007.	Riskien arviointi
SFS-ISO/TR 14121-2	Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä, 2010 (Huom: Vastaa sisällöltään aikaisemmin myynnissä ollutta julkaisua ISO/TR 14121-2:fi)	Riskien arviointi
SFS-EN 614-1+A1	Koneturvallisuus. Ergonomiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: Terminologia ja yleiset periaatteet, 2009.	Suunnittelu
SFS-EN 614-2+A1	Koneturvallisuus. Ergonomiset suunnitteluperiaatteet. Osa 2: Työtehtävien ja koneen suunnittelun väliset vuorovaikutukset, 2009.	Suunnittelu
SFS-EN ISO 7250	Ihmisen perusmitat teknistä suunnittelua varten, 1998 (julk 2004).	Suunnittelu
SFS-EN 60204-1/AC	Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset, 2010.	Sähkölaitteet

6 Yhteenveto ja oman työn arviointia

6.1 Työn tavoitteet ja toteutuminen

Tutkintotyöni tarkoituksena oli suunnitella myyntivalmis ja CE-hyväksyttävä vaahdotuskone, jossa olisi vaadittavat suojalaitteet turvallisen käyttämisen takaamiseksi. Turvallisuutta suunniteltaessa arvioitiin vaahdotuskoneen käytöstä aiheutuvia mahdollisia riskejä ja huomioitiin vaahdotuskonetta käyttäneiden laboranttien palaute, ja tämän pohjalta koneeseen kehitettiin mahdollisimman esteettömästi toimivat suojaratkaisut. Samalla koneen rakennetta muutettiin, jotta kone olisi nopeampi, yksinkertaisempi ja halvempi valmistaa. Työssä laadittiin myös myyntiin sekä valmistukseen tarvittavat koneen osia määrittävät osa-, osakokoonpano- sekä levytyöstöpiirustukset ja tekniset rakennetiedot.

Työni tavoitteisiin päästiin erinomaisesti. AMT Systems Oy:n toimitusjohtajan Juha Turusen mielestä opin työni aikana hyvin 3D-mallinnusohjelman avulla tapahtuvan suunnitteluprosessin ja sain työstä hyvän näkemyksen suunnittelijan arkeen. Suunniteltu aikataulu pysyi projektissa minun osaltani kohdallaan. Minulla kului noin kaksi ja puoli kuukautta 3D-mallien luomiseen ja sen jälkeen puoli kuukautta työpiirustusten tekemiseen. Valmistuksen aloitus myöhästyi kuitenkin hieman komponenttihankinnoissa ilmenneiden ongelmien takia.

Koneesta saatiin ulkonäöltään kompaktimpi ja käyttäjän kannalta huomattavasti turvallisempi ja mukavampi käyttää. Koneen valmistaminen on tulevaisuudessa nopeampaa ja sen toteutus on AMT Systems Oy:n tiloissa mahdollista. Lopullisen koneen toimivuuden näkee ensimmäisen koneen valmistuttua.

Suunnitteluprosessi ei ollut niin helppo kuin kuvittelin. Haasteita oli niin mallinnuksessa kuin myös työkuvioiden laatimisessa. Mallinnuksen loppupäässä tehtävien muutosten tuomat lisätyöt olivat puuduttavia. Mitä pidemmälle lopullinen kokoonpano oli saatu tehtyä, sitä enemmän uusi muutos kokoonpanossa toi muutoksia. Viime hetken toimi-

tusajoista johtuvien komponenttimuutoksien takia näiden lisätyötä tuovien muutoksien paljous oli suuri.

Työkuvien osalta minulle hankalinta oli ymmärtää kuvissa tarvittavat mitoitukset ja mitoitustavat. Tarkempi perehdytys työstökoneiden toimintaperiaatteisiin ja AMT Systems Oy:ssa totuttuihin työpiirustusmalleihin olisi voinut nopeuttaa työkuvien luontia.

AMT Systems Oy:lla käytössä olevan SolidWorks 2010 –mallinnusohjelman käytön oppiminen on minulle erittäin tarpeellista tulevaisuutta ajatellen. SolidWorks 2010 –mallinnusohjelma on mallinnusohjelmista yksi monipuolisimpia, mutta samalla kevyt käyttää eikä näin vaadi suuritehoista tietokonetta toimiakseen. Sen takia se on käytössä todella monessa yrityksessä, jotka tarjoavat suunnittelu- ja mallinnuspalveluja.

6.2 Opinnäytetyöni asema vaahdotuskoneen valmistusprosessissa

Tekemäni työsuorituksen merkityksen tajuaa vasta näin jälkikäteen. Työn alkuvaiheessa en osannut hahmottaa miten merkittävän osan koko prosessia työni on. Kappaleessa 3.2.1 esittämäni valmistusprosessin vaiheita katsomalla ymmärtää, että kaikki listan alkupään vaiheet sisältyvät työhöni. On mielenkiintoista nähdä kone valmiina ja käytössä.

Opinnäytetyöni osottautui erittäin tarpeelliseksi, koska Geologian tutkimuskeskuksen tuli saada vaahdotuskone myyntiin. Olin edeltävän kesän rakentamassa ja piirtämässä kyseistä vaahdotuskonetta Geologian tutkimuskeskuksella, ja AMT Systems Oy:lle olisi tuottanut ylimääräistä työtä tutustua koneen toimintaperiaateeseen ja sen käyttökokeuksiin. Toimintani Geologian tutkimuskeskuksen ja AMT Systems Oy:n välillä oli merkittävä valmistusprosessin toteutumiselle. Koska tunsin GTK:n puolelta konetta käyttävät henkilöt ja tein työtä AMT Systems Oy:n tiloissa, kommunikaatio oli huomattavasti helpompaa.

6.3 Kehittämisideat

Myynnin edistämiseksi voisi koneen ulkonäköä vieläkin parantaa. Nyt kun koneen runko on suunniteltuna, niin sen ulkonäköä voisi suunnitella oikea teollisuusmuotoilija. Normaalisti koneen suunnittelijan ja teollisuusmuotoilijan suunnitteluperiaatteet poikkeavat toisistaan huomattavasti.

Tulevaisuudessa koneeseen suunniteltavan kosketusnäytön toteutus tulee olemaan edistysaskel koneen käytettävyyden suhteen. Silloin vaahdotuskoneen käyttäjä saa hallittua koko vaahdotusprosessia kosketusnäytön kautta. Hän voi ohjata vaahdotuskonetta ja kirjata samalla näytteestä saatuja arvoja. Näin kaikki data saadaan siirtymään vaahdotuskoneelta suoraan tietokoneelle eikä niitä tarvitse kirjoittaa enää erikseen käsin.

Yhdistämällä uuden virtaviivaisen muotoilun ja kosketusnäytön koneesta saisi todella myyvän näköisen kokonaisuuden, mutta näiden tekijöiden tärkeyttä kannattaa punnita vaahdotuskoneen kustannuksia ja asiakaskuntaa ajatellen.

Lähteet

AMT Systems Oy, [online] [viitattu 14.02.2010]. www.amt-systems.com/

Geologian tutkimuskeskus, [online] [viitattu 23.02.2010]. www.gtk.fi/

SFS, Koneturvallisuuden standardit. Verkkoesite [pdf]
www.sfs.fi/julkaisut/koneturvallisuus/

Siirilä, Tapio & Kerttula, Tuiro. 2007. Koneturvallisuuden perusteet. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy

Siirilä, Tapio. 2008. Koneturvallisuus: EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Tuhola, Esa & Viitanen, Kristiina. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.